ภาคผนวก

การทดสอบโดยใช้วิธี Cointegration and Error Correction Mechanism

1. การทดสอบความนิ่งของข้อมูล

การทดสอบ ความนิ่งของข้อมูลถือเป็นขั้นตอนแรกในการศึกษาภายใต้วิธี cointegration and error correction mechanism ขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบตัวแปรทางเศรษฐกิจต่างๆ ที่จะใช้ในสมการเพื่อดูความเป็น stationary [I(0); integrated of order 0] หรือ non-stationary [I(d); d > 0, integrated of order d] การศึกษาส่วนใหญ่ที่ผ่านมาจะนิยมการทดสอบ ความนิ่งของข้อมูลที่เสนอโดย David Dickey และ Wayne Fuller (Pindyck and Rubinfeld, 1998) ซึ่งรู้จักกันดีในชื่อของ Dickey-Fuller test สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

1) Dickey-Fuller Test (DF) ทำการทดสอบตัวแปรที่เคลื่อนไหวไปตามช่วงเวลามีลักษณะเป็น autoregressive model โดยสามารถเขียนรูปแบบของสมการได้ออกเป็น 3 รูปแบบคือ

$$X_t = \rho X_{t-1} + \varepsilon_t \qquad (1)$$

$$X_t = \alpha_0 + \rho X_{t-1} + \varepsilon_t \qquad (2)$$

$$X_t = \alpha_0 + \alpha_2 t + \rho X_{t-1} + \varepsilon_t \qquad (3)$$

โดยที่ X_t คือตัวแปรที่เราทำการศึกษา α_0 , ρ คือ ค่าคงที่ t คือ แนวโน้มเวลา และ ε_t คือ ตัวแปรสุ่ม มีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระต่อกันและเหมือนกัน (independent and identical distribution) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนคงที่ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\varepsilon_t \sim iid\ (0, \sigma_\varepsilon^2)$

สมการแรกจะเป็นสมการที่แสดงถึงกรณีรูปแบบของตัวแปรที่ไม่มีค่าคงที่ ขณะที่สมการที่สองจะเป็นรูปแบบของสมการที่ปรากฏค่าคงที่ และสมการสุดท้ายแสดงถึงรูปแบบของสมการที่มีทั้ง ค่าคงที่ และ แนวโน้มเวลา

ในการทดสอบว่า X_t มีลักษณะเป็น stationary process [$X_t \sim I(0)$] หรือไม่ ทำการทดสอบโดยการแปลงสมการทั้งสามรูปแบบให้อยู่ในรูปของ first differencing (ΔX_t) ได้ดังนี้

$$\Delta X_t = X_t - X_{t-1} = \gamma X_{t-1} + \varepsilon_t \qquad (4)$$

$$\Delta X_t = X_t - X_{t-1} = \alpha_0 + \gamma X_{t-1} + \varepsilon_t \qquad (5)$$

$$\Delta X_t = X_t - X_{t-1} = \alpha_0 + \alpha_2 t + \gamma X_{t-1} + \varepsilon_t \qquad (6)$$

โดยที่ $\gamma = (\rho - 1)$

2) Augmented Dickey-Fuller Test (ADF) เป็นการทดสอบ ความนิ่งของข้อมูลอีกวิธีหนึ่งที่พัฒนามาจาก DF Test เนื่องจากวิธี DF ไม่สามารถทำการทดสอบตัวแปรในกรณีที่เป็น serial correlation ในค่า error term (ε_t) ที่มีลักษณะความสัมพันธ์กันเองในระดับสูง ซึ่งจะมีการเพิ่ม lagged change $\left[\sum_{j=1}^{p} \lambda_j \Delta X_{t-j}\right]$ เข้าไปในสมการทางด้านขวามือ จะได้ว่า

$$\Delta X_t = X_t - X_{t-1} = \gamma X_{t-1} + \sum_{j=1}^{p} \lambda_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t \qquad (7)$$

$$\Delta X_t = X_t - X_{t-1} = \alpha_0 + \gamma X_{t-1} + \sum_{j=1}^{p} \lambda_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t \qquad (8)$$

$$\Delta X_t = X_t - X_{t-1} = \alpha_0 + \alpha_2 t + \gamma X_{t-1} + \sum_{j=1}^{p} \lambda_j \Delta X_{t-j} + \varepsilon_t \qquad (9)$$

ซึ่งพจน์ที่ใส่เข้าไปนั้น จำนวน lagged term (p) ก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละงานวิจัย (Pindyck and Rubinfeld, 1998) หรือสามารถใส่จำนวน lag ไปกระทั่งไม่เกิดปัญหา autocorrelation ในส่วนของ error term (พิเชษฐ์ พรหมผุย, 2540)

โดยในการทดสอบสมมติฐานทั้งวิธี Dickey-Fuller test และวิธี Augmented Dickey-Fuller test ทดสอบว่าตัวแปรที่เราสนใจ (X_t) นั้นมี ความนิ่งของข้อมูลหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากค่า γ ถ้าค่า γ มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่า X_t นั้นมี ความนิ่งของข้อมูลซึ่งสามารถเขียนสมมติฐานในการทดสอบได้ดังนี้

$$\mathbf{H_0} \quad : \quad \gamma = 0$$
$$\mathbf{H_1} \quad : \quad |\gamma| < 1$$

ทดสอบสมมติฐาน โดยเปรียบเทียบค่า t-statistic ที่คำนวณได้กับค่าที่ในตาราง Dickey-Fuller (แสดงในท้ายบท) ซึ่งค่า t-statistic ที่จะนำมาทำการทดสอบสมมติฐานในแต่ละรูปแบบนั้นจะต้องนำไปเปรียบเทียบกับตาราง Dickey-Fuller ที่ต่างกัน กล่าวคือใช้ค่า τ ในรูปแบบของสมการที่ (4) และ (7) τ_μ ในรูปแบบของสมการที่ (5) และ (8) และ τ_τ ในรูปแบบของสมการที่ (6) และ (9) ถ้าสามารถปฏิเสธสมมติฐานได้ แสดงว่า ตัวแปรที่นำมาทดสอบเป็น integrated of order 0 แทนได้ด้วย $X_t \sim I(0)$ ถ้าต้องการทดสอบกรณีที่ γ ร่วมกับ drift term หรือร่วมกับ time trend coefficient

หรือ ทดสอบ γ ร่วมกับ drift term และ time trend coefficient ในขณะเดียวกัน สามารถทดสอบโดยใช้ค่า F-statistic ซึ่งเป็น joint hypothesis (Φ_1 , Φ_2 และ Φ_3) เป็นสถิติทดสอบทำการเปรียบเทียบกับค่า Dickey-Fuller tables (Enders, 1995) ซึ่งในการทดสอบสมการที่ (5) และ (8) ทดสอบภายใต้สมมติฐานที่ว่า $\gamma = \alpha_0 = 0$ จะใช้ Φ_1 statistic

ขณะที่สมการที่ (6) และ (9) ทดสอบภายใต้สมมติฐาน $\alpha_2 = \gamma = \alpha_0 = 0$ ใช้ Φ_2 statistic สำหรับการทดสอบภายใต้สมมติฐาน $\alpha_2 = \gamma = 0$ ใช้ Φ_3 statistic ในการทดสอบ ซึ่งค่าสถิติดังกล่าวสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\Phi_i = \frac{(N-k)(SSR_R - SSR_{UR})}{r(SSR_{UR})}$$

โดยที่ SSR_R = the sum of square of residuals from the restricted model

SSR_{UR} = the sum of square of residuals from the unrestricted model

N = number of observations

k = number of parameters estimated in the unrestricted model

r = number of restrictions

กรณีที่ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า X_t มี ความนิ่งของข้อมูลนั้นต้องนำค่า ΔX_t มาทำ differencing ไปเรื่อยๆ จนสามารถปฏิเสธสมมติฐานที่ว่า X_t เป็น non-stationary process ได้ เพื่อทราบ order of integration (d) ว่าอยู่ในระดับใด [$X_t \sim I(d); d > 0$]

ถ้าหากพบว่าข้อมูลดังกล่าวเป็น non-stationary process และมีอันดับความสัมพันธ์ของข้อมูล (order of integration) ที่มากกว่า 0 [ทดสอบว่า $X_t \sim I(d)$] หรือไม่ จะทำการทดสอบตามรูปแบบสมการดังต่อไปนี้ (วิโชติ ตั้งศักดาพร, 2540)

$$\Delta^{d+1} X_t = \alpha_0 + \alpha_2 t + (\rho - 1)\Delta^d X_{t-1} + \sum_{j=1}^{p} \lambda_j \Delta^{d+1} X_{t-j} + \varepsilon_t \qquad (10)$$

ภายหลังจากทราบค่า d (order of integration) แล้วต้องทำการ differencing ตัวแปร (เท่ากับ d+1 ครั้ง) ตามกระบวนการของ Box-Jenkin's method (1970) ก่อนที่จะนำตัวแปรดังกล่าวมาทำการ regression เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา spurious regression ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะได้รับความนิยมใช้กัน

อย่างแพร่หลาย แต่การกระทำดังกล่าวจะทำให้แบบจำลองที่ได้จากการประมาณขาดข้อมูลในส่วนของการปรับตัวของตัวแปรต่างๆ เพื่อเข้าสู่ดุลยภาพระยะยาว (รังสรรค์ หทัยเสรี, 2535) และ (Hataiseree, 1996)

หลังจากนั้น ในปี 1987 Robert F. Engle และ Clive W. J. Granger ได้เสนอบทความทางวิชาการเรื่อง Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing ซึ่ง cointegration และ error correction เป็นเศรษฐมิติแนวใหม่ที่ใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลาในการหาดุลยภาพระยะยาวจากข้อมูล โดยไม่ต้องผ่านการทำ differencing ในการแก้ปัญหาข้อมูลอนุกรมเวลาที่เป็น non-stationary ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2. Cointegration and Error Correction Mechanism

ขั้นตอนการศึกษานี้เป็นการทดสอบตัวแปรต่างๆ ที่นำมาใช้ ว่ามีความสัมพันธ์ในระยะยาวตามที่ระบุไว้ในทฤษฎีหรือไม่ และพบว่าจะมีอยู่ 2 วิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบตัวแปร คือ วิธีของ Johansen and Juselius (1990) และวิธี two-step approach ของ Engle-Granger (1987)

การทดสอบดุลยภาพระยะยาวนั้น วิธีของ Johansen-Juselius และวิธีของ Engle-Granger มีแนวการทดสอบที่แตกต่างกัน กล่าวคือตามกระบวนการของ Engle-Granger จะทำการทดสอบดุลยภาพระยะยาวจากค่า error term ว่า stationary หรือไม่ ขณะที่การทดสอบของ Johansen จะพิจารณาจากค่า rank ของ π (ดูเพิ่มเติมในขั้นที่ 2 การประมาณแบบจำลองและหาจำนวน cointegrating vectors) แม้ว่าวิธีการของ Engle-Granger จะเป็นที่นิยม แต่ยังมีความไม่เหมาะสมในกรณีที่ตัวแปรมากกว่า 2 ตัวแปรขึ้นไป (Gülen, 1996) คือ

วิธีของ Engle-Granger จะทำการระบุว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรตามและตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระซึ่งไม่สามารถแสดง multiple cointegrating vector ได้ กรณีมีรูปแบบของความสัมพันธ์มากกว่า 1 รูปแบบ

แม้ว่าวิธี Johansen จะไม่ระบุว่า ตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม เราก็ยังสามารถจะทดสอบว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระ ตัวแปรใดเป็นตัวแปรตามได้ตามวิธีของ Granger รวมทั้งพิจารณาให้สอดคล้องกับทฤษฎีและหลักการทางเศรษฐศาสตร์

วิธีของ Johansen มีพื้นฐานการวิเคราะห์บนรูปแบบของ vector autoregressive model (VAR) และเป็นกระบวนการทดสอบ cointegration ที่มีตัวแปรหลายตัว (Wolter, 1998) ในการทดสอบหาดุลยภาพระยะยาวซึ่งมีวิธีการทดสอบหาความสัมพันธ์ระยะยาว ตามลำดับดังนี้

ขั้นที่ 1 ทดสอบหา order of integration และความยาวของ lag ของตัวแปร

เริ่มต้นจากการทดสอบหา order of integration ของตัวแปรทุกตัวและหากพบว่าตัวแปรแต่ละตัวมี order of integration ต่างกัน Johansen จะไม่รวมตัวแปรเหล่านั้นไว้ด้วยกัน[1] จากนั้นทำการทดสอบหาความยาวของ lag ของตัวแปร ซึ่งมี 3 วิธีที่นิยมนำมาพิจารณา ได้แก่ Akaike information criterion (AIC) (Johnston and DiNardo, 1997) likelihood ratio test (LR) และ Schwartz Bayesian criterion (SBC) (Enders, 1995) สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$AIC = T\log|\Sigma| + 2N \tag{11}$$

$$LR = (T-c)\left(\log\left|\Sigma_r\right| - \log\left|\Sigma_u\right|\right) \tag{12}$$

$$SBC = T\log|\Sigma| + N\log(T) \tag{13}$$

โดยที่

T	=	number of observations
c	=	number of parameters in the unrestricted system
$\lvert\Sigma\rvert$	=	determinant of variance/covariance matrices of the residuals
$\lvert\Sigma_r\rvert$	=	determinant of variance/covariance matrices of the restricted system
$\lvert\Sigma_u\rvert$	=	determinant of variance/covariance matrices of the unrestricted system
N	=	total number of parameters estimated in all equations

ทดสอบสมมติฐานหลัก(H_o) โดยกำหนดจำนวน lagged term เท่ากับ r ในกรณีที่มีข้อจำกัด ส่วนกรณีที่ไม่มีข้อจำกัดจำนวน lagged term เท่ากับ u (ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะและระยะเวลาของข้อมูลจากงานวิจัยแต่ละชิ้น) แล้วใช้การแจกแจงแบบ Chi-square (χ^2) ทดสอบสมมติฐานว่ามีจำนวน lagged term เท่ากับ r โดยมีจำนวนระดับความเป็นอิสระเท่ากับจำนวนสัมประสิทธิ์ที่เป็นข้อจำกัด (coefficient restrictions) ถ้าค่า χ^2 ที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าวิกฤต แสดงว่า ยอมรับสมมติฐานหลักหรือสามารถทำการทดสอบโดยใช้ F-test ในแต่ละสมการก็จะได้ผลการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบโดยใช้ χ^2 เช่นกัน และหากพบว่าตัวแปรสามารถใช้ lagged term ได้หลายจำนวน

[1] ถ้าตัวแปรอิสระมี order of integration สูงกว่าตัวแปรตาม ควรจะมีตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไปจึงจะมีความสัมพันธ์ระยะยาว

ควรเลือกใช้เทอมที่ยาวที่สุด อย่างไรก็ตามก็ควรคำนึงถึงระดับความเป็นอิสระด้วย เนื่องจากถ้าจำนวน lagged term มากจนเกินความจำเป็นจะทำให้สูญเสียระดับความเป็นอิสระ (Enders, 1995) ส่งผลถึงค่าวิกฤต ทำให้การยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานบิดเบือนไป ส่วนกรณีสมการที่เพิ่มตัวแปรหุ่นเข้ามา จะทำให้ค่า c = np + 1 + dummy variables กล่าวคือ ในแต่ละสมการจะมีตัวแปรทั้งหมดเท่ากับ จำนวน lagged term (p) ของตัวแปร (n) รวมกับค่าคงที่และตัวแปรหุ่น

อย่างไรก็ดีความยาวของ lag length เปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม เนื่องจากการเพิ่มหรือลดความยาวของ lag length อาจจะมีผลกระทบต่อเครื่องหมายของตัวแปรต่างๆ (เปลี่ยนจากเครื่องหมายบวก เป็นเครื่องหมายลบ หรือในทางกลับกันเปลี่ยนจากเครื่องหมายลบเป็นเครื่องหมายบวก) ซึ่งส่งผลต่อการอธิบายตามหลักการทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์

ขั้นที่ 2 ประมาณแบบจำลองและหาจำนวน cointegrating vector

สร้างรูปแบบของแบบจำลองซึ่งสามารถพิจารณาได้เป็น 5 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 VAR model ไม่ปรากฏทั้งค่าคงที่และแนวโน้มเวลา

$$X_t = \sum_{i=1}^{p} A_i X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{14}$$

ดังนั้น

$$\Delta X_t = \pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{15}$$

โดยที่มีค่า π , π_i ดังนี้

$$\pi = \sum_{i=1}^{p} A_i - I$$

$$\pi_i = \sum_{j=i+1}^{p} A_j$$

X_t = the (n x 1) vectors of variables $(x_{1t}, x_{2t}, \ldots , x_{nt})'$

A_I = the (n x n) matrix of parameters

i = the (n x n) identity matrix

ε_t = the (n x 1) vectors of error term with multivariate white noise

รูปแบบที่ 2 VAR model ไม่มีแนวโน้มเวลา แต่จำกัดค่าคงที่ใน cointegrating vector

$$\Delta X_t = \pi^* X^*_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{16}$$

โดยที่ $$\pi^* = \begin{bmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \dots & \pi_{1n} & a_{01} \\ \pi_{21} & \pi_{22} & \dots & \pi_{2n} & a_{02} \\ \vdots & & & & \vdots \\ \pi_{n1} & \pi_{n2} & \dots & \pi_{nn} & a_{0n} \end{bmatrix}$$

$$X^*_{t-1} = \left(X_{1t-1}, X_{2t-1}, \dots, X_{nt-1}, 1\right)'$$

รูปแบบที่ 3 VAR model มีเฉพาะค่าคงที่

$$X_t = A_0 + \sum_{i=1}^{p} A_i X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{17}$$

ดังนั้น $$\Delta X_t = A_0 + \pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{18}$$

โดยที่ A_0 = the (n x 1) vectors of constants $(a_{01}, a_{02}, \dots, a_{0n})'$

รูปแบบที่ 4 VAR model มีค่าคงที่ และจำกัดแนวโน้มเวลาใน cointegrating vector

$$\Delta X_t = A_0 + \pi^{**} X^{**}_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{19}$$

โดยที่ $$\pi^{**} = \begin{bmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \dots & \pi_{1n} & t_{01} \\ \pi_{21} & \pi_{22} & \dots & \pi_{2n} & t_{02} \\ \vdots & & & & \vdots \\ \pi_{n1} & \pi_{n2} & \dots & \pi_{nn} & t_{0n} \end{bmatrix}$$

$$X^{**}_{t-1} = \left(X_{1t-1}, X_{2t-1}, \dots, X_{nt-1}, T\right)'$$

$T = 1,2,3,\ldots,n$

รูปแบบที่ 5 VAR model ประกอบไปด้วย ค่าคงที่และแนวโน้มเวลา

$$\Delta X_t = A_0 + A_1 T + \pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{20}$$

โดยที่ A_1 = the (n x 1) vectors of time trend coefficient $(t_{01}, t_{02}, \ldots, t_{0n})'$

จากนั้นทำการคำนวณหาค่า characteristic roots ของ π Matrix (λ ij) ของแบบจำลองทั้ง 5 รูปแบบ (กรณีรูปแบบที่ 2 คือ π^* และกรณีรูปแบบที่ 4 คือ π^{**}) สามารถหาได้จาก $|\pi - \lambda I| = 0$ (Johnston and DiNardo, 1997) หรือ

$$\left|\lambda S_{11} - S_{10} S_{00}^{-1} S_{01}\right| = 0 \tag{21}$$

ขณะที่ S_{00}, S_{01}, S_{10}, S_{11} คือ product moment metrics of the residuals โดย

$$S_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T} R_{it} R'_{jt}}{T} \quad ; \quad \forall\, i, j = 0, 1 \tag{22}$$

R_{0t} คือ residuals จากการประมาณสมการ $\Delta X_t = \sum_{i=1}^{p-1} \pi \Delta X_{t-i} + R_{0t}$

R_{1t} คือ residuals จากการประมาณสมการ $X_{t-1} = \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + R_{1t}$

แล้วทำการทดสอบว่าแบบจำลองควรจะมีรูปแบบใดโดยกรณีของการทดสอบว่าแบบจำลองจะมี drift term หรือมีค่าคงที่ใน cointegrating vector นั้นทำการทดสอบ โดยตั้งสมมติฐานหลัก (H_0) ว่าแบบจำลองมีค่าคงที่ใน cointegrating vector แล้วพิจารณาผลจากค่าสถิติ

$$-T \sum_{i=r+1}^{n} \left[\ln\left(1-\lambda_i^*\right) - \left(1-\lambda_i\right)\right] \quad (23)$$

โดยที่ T = number of observations

n = number of variables

r = rank of π

λ_i^* = characteristic roots of restricted model (model with intercept term in the cointegrating vector)

λ_i = characteristic roots of unrestricted model(model with drift term)

ใช้การแจกแจงแบบ χ^2 โดยมีระดับความเป็นอิสระ เท่ากับ n-r หากค่าสถิติที่คำนวณได้มากกว่าค่าในตาราง χ^2 แสดงว่ารูปแบบของแบบจำลองจะไม่มีค่าคงที่ใน cointegrating vector แต่จะ ปรากฏอยู่ในรูปแบบของ drift term

เมื่อทราบรูปแบบของแบบจำลองที่จะใช้แล้วให้คำนวณหาจำนวน cointegrating vector ซึ่งมีค่าเท่ากับ rank (r) ของ π matrix โดยใช้ likelihood ratio test ประกอบด้วย eigenvalue trace statistic[2](λ_{trace}) และ maximal eigenvalue statistic[3] (λ_{max}) ซึ่งมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\lambda_{trace}(r) = -T \sum_{i=r+1}^{n} \ln\left(1-\hat{\lambda}_i\right) \quad (24)$$

$$\lambda_{max}(r, r+1) = -T \ln\left(1-\hat{\lambda}_{r+1}\right) \quad (25)$$

โดยที่ T = the number of usable observations

r = rank of π

[2] eigenvalue trace statistic = trace statistic = trace test

[3] maximal eigenvalue statistic = max. statistic = max. test

n	=	number of variables
$\hat{\lambda}_i$	=	the estimated value of characteristic roots (eigenvalues) obtained from the estimated π matrix

วิธีการของ trace statistic จะเริ่มต้นจากการทำการทดสอบสมมติฐานหลัก (H_0) โดยเปรียบเทียบค่า λ_{trace} ที่คำนวณได้ ว่ามากกว่าค่าวิกฤตหรือไม่ เปรียบเทียบค่าสถิติในตาราง distribution of λ_{max} and λ_{trace} statistics (Enders, 1995) ถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่าก็จะปฏิเสธ H_0 โดยเริ่มจาก $H_0: r = 0$ และ $H_1: r > 0$ ถ้าปฏิเสธ H_0 ก็ทำการเพิ่มค่า r ในสมมติฐานครั้งละ 1 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งยอมรับ H_0 ลักษณะการตั้งสมมติฐานแสดงได้ดังตาราง ส่วนวิธี max statistic นั้นจะทำการทดสอบโดยเริ่มจาก $H_0: r = 0$ และ $H_1: r = 1$ ถ้าปฏิเสธ H_0 ก็แสดงว่า $r = 1$ และทำการทดสอบต่อไปโดยให้ $H_0: r = 1$ และ $H_1: r = 2$ ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบว่าไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้

ตาราง การทดสอบสมมติฐานการหาจำนวน cointegrating vectors

eigenvalue trace statistic hypothesis testing		maximal eigenvalue statistic hypothesis testing	
H_0	H_1	H_0	H_1
$r = 0$	$r > 0$	$r = 0$	$r = 1$
$r \leq 1$	$r > 1$	$r = 1$	$r = 2$
$r \leq 2$	$r > 2$	$r = 2$	$r = 3$
$r \leq 3$	$r > 3$	$r = 3$	$r = 4$
⋮	⋮	⋮	⋮

ที่มา : Walter Enders,1995

ซึ่งค่า r ที่ได้ก็คือจำนวน cointegrating vector โดยพิจารณาได้ 2 กรณี คือ กรณีที่ $r = 0$ จะได้ว่า สมการที่นำมาทดสอบนั้นเป็น VAR ในรูป first difference คือตัวแปรที่นำมาทดสอบไม่มีความสัมพันธ์ระยะยาวกัน และกรณี $0 < r \leq n$ แสดงว่ามีจำนวน cointegrating vectors เท่ากับ r (Enders, 1995) และ (Haug et al, 1999) เมื่อทราบว่าจำนวน cointegration relations ว่ามีค่าเท่ากับ r (จำนวน common trends เท่ากับ r) ก็จะทราบจำนวน common stochastic trends ว่ามีค่าเท่ากับ n - r เช่นกัน (Wolters, 1998) และ (Clarida and Taylor, 1997)

ขั้นที่ 3 ทำการ normalized cointegrating vector(s) และ speed of adjustment coefficients

ทำการ normalized cointegrating vector(s) และ speed of adjustment coefficients เพื่อปรับ β และ α ให้สอดคล้องกับรูปแบบสมการที่ต้องการโดยที่

$$\pi = \alpha\beta' \tag{26}$$

(กรณีรูปแบบที่ 2 คือ π^* และกรณีรูปแบบที่ 4 คือ π^{**})

โดยที่ β' = the (n x r) matrix of cointegrating parameters

α = the (n x r) matrix of speed of adjustment parameters in ΔX_t

จากนั้นจึงทดสอบความถูกต้องของสมการว่าควรจะมีค่าคงที่และเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ตรงตามทฤษฎีหรือไม่ ทดสอบโดย χ^2 ซึ่งมีระดับความเป็นอิสระ เท่ากับจำนวนข้อจำกัดในการทดสอบ ให้เริ่มทดสอบจากค่าคงที่ก่อนแล้วจึงทดสอบ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอื่นๆ จนครบทุกตัว โดย cointegrating vectors จะมีคุณสมบัติในการปรับค่าข้อมูลที่เป็น non-stationary process ให้เป็น stationary process ได้ เมื่ออยู่ในรูปแบบของ linear combination $\beta' X_t \sim I(0)$; $X_t \sim I(1)$ (Charemza and Deadman, 1992) แต่ในกรณีทั่วไป ถ้า $X_t \sim I(d)$ และ X_t cointegrated of order d และ b ($X_t \sim CI(d, b)$) จะมี linear combination ของตัวแปร ที่ทำให้ $\beta' X_t \sim I(d\text{-}b)$ โดยที่ $d \geq b > 0$ เมื่อ β คือ cointegrating vector

ตัวอย่างการทำการ normalized โดยสมมติว่ามี lag length เท่ากับ 1 และ rank =1 จะได้รูปแบบดังนี้

$$\Delta X_{1t} = \pi_{11} X_{1t-1} + \pi_{12} X_{2t-1} + \ldots + \pi_{1n} X_{nt-1} + \varepsilon_{1t} \tag{27}$$

ถ้าทำการ normalized โดยคำนึงถึงตัวแปร X_{1t-1} จะได้ว่า

$$\alpha_1 = \pi_{11} \text{ และ } \beta_{ij} = \frac{\pi_{ij}}{\pi_{11}} \tag{28}$$

$$\Delta X_{1t} = \alpha_1 (X_{1t-1} + \beta_{12} X_{2t-1} + \ldots + \beta_{1n} X_{nt-1}) + \varepsilon_{1t} \tag{29}$$

ฉะนั้น $X_{1t-1} + \beta_{12} X_{2t-1} + \ldots + \beta_{1n} X_{nt-1} = 0$ คือ long-run relationship

$\beta = \left(1 \beta_{12} \quad \ldots \quad \beta_{1n}\right)$ คือ cointegrating vector

α_1 คือ speed of adjustment coefficient

โดยค่าความเร็วในการปรับตัว หรือ speed of adjustment coefficient นั้น ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ –2 (Maddala and In-Moo, 1998) แต่มีการศึกษาแบบจำลองเศรษฐกิจมหภาคของ Federal Reserve Bank of ST. Louis เรื่อง A Vector Error-Correction Forecasting Model of the U.S. Economy ได้ทำการศึกษาโดยอาศัยวิธี Joahansen พบว่าผลของค่าความเร็วในการปรับตัวนั้นไม่ได้อยู่ในช่วงดังที่กล่าวมา โดยบางส่วนนั้นมีค่าติดลบที่มากกว่า –2 และบางส่วนก็พบว่าสามารถเป็นค่าที่มากกว่าศูนย์ได้ (Hoffman and Rasche, 1997)

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบสมการ

พิจารณา error correction model โดยใช้วิธี causality tests และให้เหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ ตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม ตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระ ซึ่งรูปแบบของสมการ error correction model จากสมการที่ (14), (15), (16), (17) และ (18) คือ

$$\Delta X_t = \pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{30}$$

$$\Delta X_t = \pi^* X_{t-1}^* + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{31}$$

$$\Delta X_t = A_0 + \pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{32}$$

$$\Delta X_t = A_0 + \pi^{**} X_{t-1}^{**} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{33}$$

$$\Delta X_t = A_0 + A_1 T + \pi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t \tag{34}$$

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวกฤติยา ทุนอินทร์
วัน เดือน ปีเกิด	2 กันยายน พ.ศ.2522
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนส่วนบุญโญปถัมภ์ ลำพูน ปี 2539 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาอัญมณีวิทยา ปี พ.ศ. 2543 ประกาศนียบัตร การออกแบบเครื่องประดับ สถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งเอเซีย ปี พ.ศ. 2544
ประวัติการทำงาน	ปี พ.ศ. 2544 บริษัท เวิลด์คริสเติล จำกัด ตำแหน่ง ออกแบบเครื่องประดับ 2545 บริษัท เอส.เอ็ม.วี. (ประเทศไทย) จำกัด ตำแหน่ง ออกแบบเครื่องประดับ 2546 บริษัท อี.เอฟ.ดี. จิวเวลรี่ จำกัด ตำแหน่ง ออกแบบเครื่องประดับ