บทที่ 4
ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิแบบพาแนล (Panel data) เป็นรายปีย้อนหลัง 20 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 ถึงปี พ.ศ. 2552 จำนวน 22 ประเทศโดยมีการใช้การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น รวมทั้งสิ้น 440 ตัวอย่างมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศต่อประชากร ณ ราคาคงที่ปี พ.ศ. 2548 (GDP per capita at constant price) โดยมีหน่วยเป็น International Dollar จากฐานข้อมูลดัชนีการพัฒนาโลก (World Development Indicator: WDI)

4.1.2 ข้อมูลความยาวรวมของเครือข่ายถนนโดยมีหน่วยเป็นกิโลเมตรจากฐานข้อมูลดัชนีการพัฒนาโลก (World Development Indicator: WDI)

4.1.3 ข้อมูลความยาวรวมของทางรถไฟโดยมีหน่วยเป็นกิโลเมตรจากฐานข้อมูลดัชนีการพัฒนาโลก (World Development Indicator: WDI)

4.1.4 ข้อมูลจำนวนประชากรจากฐานข้อมูลดัชนีการพัฒนาโลก (World Development Indicator: WDI)

4.2 วิธีการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลพาแนล ที่มีลักษณะของข้อมูลภาคตัดขวางและอนุกรมเวลาร่วมกัน โดยกำหนดให้ $\ln(GDP)_{it}$ แทนข้อมูลพาแนลของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศต่อประชากร ณ ราคาคงที่ปี 2005 ในรูปลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm) $\ln(road)_{it}$ แทนความยาวเครือข่ายถนนในรูปลอการิทึมธรรมชาติ $\ln(rail)_{it}$ เป็นข้อมูลความยาวของทางรถไฟ ในรูปลอการิทึมธรรมชาติ $\ln(roadper)_{it}$ แทนความยาวเครือข่ายถนนต่อประชากรในรูปลอการิทึมธรรมชาติและ $\ln(railper)_{it}$ เป็นข้อมูลความยาวของทางรถไฟต่อประชากรในรูปลอการิทึมธรรมชาติ โดยมีข้อมูลภาคตัดขวางจำนวน 22 ประเทศ และข้อมูลอนุกรมเวลาจำนวน 20 ปี ตั้งแต่ปี 1990 ถึงปี 2009 ดังนั้น $i=1,2,\ldots,22$ และ$t=1,2,\ldots,20$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1 การทดสอบพาแนลยูนิทรูท (Panel unit root tests)

เนื่องจากข้อมูลพาแนลมีลักษณะของข้อมูลภาคตัดขวางและข้อมูลอนุกรมเวลาร่วมกัน จึงทำการทดสอบความนิ่งตัวแปร $\ln(GDP)_{it}$, $\ln(road)_{it}$ $\ln(rail)_{it}$ $\ln(roadper)_{it}$ และ $\ln(railper)_{it}$ ก่อนโดยใช้วิธีของ Levin, Lin and Chu (LLC), Breitung, Im, Pesaran and Shin (IPS), Fisher type โดยใช้ ADF และ PP-test และ Hadri ที่กำหนดให้มีค่าคงที่ (Intercept) และแนวโน้มเวลา (Trend) แตกต่างกันไป

1. วิธีการทดสอบของ Levin, Lin and Chu (LLC) (2000)

สมมติฐานในการทดสอบคือ

$H_0 : \rho_i = 0$ (ข้อมูลพาแนลมียูนิทรูท)

$H_a : \rho_i < 0$ (ข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท)

มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

$$\Delta \ln(GDP) = \rho \ln(GDP)_{i,t-j} + \sum_{L=1}^{p_i} \theta_{iL} \Delta \ln(GDP)_{it-L} + \alpha_{mi} d_{mi} + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

$$\Delta \ln(road) = \rho \ln(road)_{i,t-j} + \sum_{L=1}^{p_i} \theta_{iL} \Delta \ln(road)_{it-L} + \alpha_{mi} d_{mi} + \varepsilon_{it} \quad (4.2)$$

$$\Delta \ln(rail) = \rho \ln(rail)_{i,t-j} + \sum_{L=1}^{p_i} \theta_{iL} \Delta \ln(rail)_{it-L} + \alpha_{mi} d_{mi} + \varepsilon_{it} \quad (4.3)$$

$$\Delta \ln(roadper) = \rho \ln(roadper)_{i,t-j} + \sum_{L=1}^{p_i} \theta_{iL} \Delta \ln(roadper)_{it-L} + \alpha_{mi} d_{mi} + \varepsilon_{it} \quad (4.4)$$

$$\Delta \ln(railper) = \rho \ln(railper)_{i,t-j} + \sum_{L=1}^{p_i} \theta_{iL} \Delta \ln(railper)_{it-L} + \alpha_{mi} d_{mi} + \varepsilon_{it} \quad (4.5)$$

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

$\Delta \ln(road)$ คือ ผลต่างของ $\ln(road)_{i,t-j}$

$\Delta \ln(rail)$ คือ ผลต่างของ $\ln(rail)_{i,t-j}$

$\Delta \ln(roadper)$ คือ ผลต่างของ $\ln(roadper)_{i,t-j}$

$\Delta \ln(railper)$ คือ ผลต่างของ $\ln(railper)_{i,t-j}$

p_i คือ จำนวน Lag order ของ $\Delta \ln(\text{GDP})_{it}$, $\Delta \ln(road)_{it}$, $\Delta \ln(rail)_{it}$, $\Delta \ln(roadper)_{it}$ และ $\Delta \ln(railper)_{it}$

α_{mi} คือ เวกเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์

d_{mt} คือ จำนวนของตัวแปรภายนอก

ε_{it} คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนที่ 1 ถดถอยสมการ Augmented Dickey-Fuller (ADF) ตามสมการ (3.50) ในแต่ละหน่วยภาคตัดขวาง จากนั้นปรับส่วนที่เหลือ (Residual) เพื่อควบคุมความแปรปรวนระหว่างข้อมูลภาคตัดขวาง

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณอัตราส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาวกับระยะสั้น และในแต่ละหน่วยภาคตัดขวาง โดยอัตราส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาวคำนวณจาก $\hat{s}_i = \hat{\sigma}_{yi} / \hat{\sigma}_{\varepsilon i}$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบข้อมูลพาแนล ตามสมการ (3.54) โดยการถดถอยแบบ Pooled regression

การพิจารณาค่าสถิติ ถ้าค่าสถิติ t_ρ^* ที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ (Critical) แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท แต่ถ้าค่าสถิติ t_ρ^* ที่ได้น้อยกว่าค่าวิกฤติแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลมียูนิทรูท

2. วิธีการทดสอบของ Im, Pesaran and Shin (IPS) (2003)

เป็นการทดสอบโดยใช้ Augmented Dickey-Fuller (ADF) โดยสมมติฐานในการทดสอบคือ

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

$$H_a : \begin{cases} \rho_i < 0 & for \quad i = 1,2,\ldots,N_1 \\ \rho_i = 0 & for \quad i = N_1+1,\ldots N \end{cases} \qquad \text{(ข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท)}$$

จากข้อสมมติของ IPS ค่าสถิติที่ t_{IPS} ที่ใช้ทดสอบเป็นไปตามสมการ (3.62) คือ

$$t_{IPS} = \frac{\sqrt{N}\left(\bar{t} - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} E\left[t_{iT} \middle| \rho_i = 0\right]\right)}{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \mathrm{var}\left[t_{iT} \middle| \rho_i = 0\right]}} \Rightarrow N(0,1) \qquad (3.62)$$

การพิจารณาค่าสถิติ ถ้าค่าสถิติ t_{IPS} ที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ (Critical) แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท แต่ถ้าค่าสถิติ t_{IPS} ที่ได้น้อยกว่าค่าวิกฤติแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลมียูนิทรูท

3. วิธีการทดสอบของ Breitung

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ

$H_0 : \rho = 0$ (ข้อมูลพาแนลมียูนิทรูท)

$H_a : \rho < 0$ (ข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยมีขั้นตอนการทดสอบเหมือนกับการทดสอบของ LLC แต่ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบแตกต่างกัน โดยค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบของ Breitung ตามสมการ (3.65) คือ

$$B_{nT} = \left[\left(\frac{\hat{\sigma}^2}{nT^2}\right)\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=2}^{T-1}(v^*_{it-1})^2\right]^{-1/2}\left[\left(\frac{1}{\sqrt{nT}}\right)\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{i=2}^{T-1}(e^*_{it})(v^*_{it-1})\right)\right] \qquad (3.65)$$

การพิจารณาค่าสถิติถ้าค่าสถิติ B_{nT} ที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ (Critical) แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลักนั่นคือข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูทแต่ถ้าค่าสถิติ B_{nT} ที่ได้น้อยกว่าค่าวิกฤติแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลมียูนิทรูท

4. วิธีการทดสอบของ Fisher-type test

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลพาแนลมียูนิทรูท

H_a : ข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท

ทดสอบโดยรวมค่า p-value ของค่าสถิติที่ใช้ทดสอบความนิ่งของแต่ละหน่วยภาคตัดขวาง จากสมการ ADF ตามสมการ (4.1)-(4.5) นั้นจะได้ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบตามสมการ (3.67) และ (3.68) ดังนี้

$$P = -2\sum_{i=1}^{N}\ln p_i \rightarrow \chi^2_{2N} \qquad (3.67)$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{N}}\sum_{i=1}^{N}\Phi^{-1}(p_i) \qquad (3.68)$$

การพิจารณาค่าสถิติ ถ้าค่า P-statistic และ Z-statistic ที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ (Critical) แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท แต่ถ้าทั้ง P-statistic และ Z-statistic ที่ได้น้อยกว่าค่าวิกฤติแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลมียูนิทรูท

5. วิธีการทดสอบของ Hadri

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท

H_a : ข้อมูลพาแนลมียูนิทรูท

เป็นทดสอบโดยการประมาณค่าส่วนที่เหลือ (Residual) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ประมาณค่าตัวแปร $\ln(GDP)_{it}$, $\ln(road)_{it}$ $\ln(rail)_{it}$ $\ln(roadper)_{it}$ และ $\ln(railper)_{it}$ ที่มี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าคงที่ (Constant) หรือมีทั้งค่าคงที่ (Constant) และแนวโน้ม (Trend) ดังนั้นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบเป็นไปตามสมการ (3.76) คือ

$$Z = \sqrt{N}\left(LM - \xi_1\right)/\zeta \rightarrow N(0,1) \qquad (3.76)$$

ถ้าค่าส่วนที่เหลือจากการถดถอยเป็น Heteroskedasticity จะใช้ค่าสถิติ LM_1 ตามสมการที่ (3.74) แต่ถ้าส่วนที่เหลือจากการถดถอยเป็น Homoskedasticity จะใช้ค่าสถิติ LM_2 ตามสมการที่ (3.75) ดังนี้

$$LM_1 = \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{T^2}\sum_{t=1}^{T}S_{it}^2\right)\Big/\hat{\sigma}_{\varepsilon}^2 \qquad (3.74)$$

$$LM_2 = \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{T^2}\sum_{t=1}^{T}S_{it}^2/\hat{\sigma}_{\varepsilon i}^2\right)\right) \qquad (3.75)$$

การพิจารณาค่าสถิติ ถ้า Z-statistic ที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ (Critical) แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลมียูนิทรูท แต่ถ้าค่าสถิติ Z-statistic ที่ได้น้อยกว่าค่าวิกฤติแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลไม่มียูนิทรูท

เมื่อทำการทดสอบพาแนลยูนิทรูทของตัวแปร ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศต่อประชากร ณ ราคาคงที่ ($\ln(GDP)$) ความยาวของเครือข่ายถนน ($\ln(road)$) ความยาวของทางรถไฟ ($\ln(rail)$) ความยาวของเครือข่ายถนนต่อประชากร ($\ln(roadper)$) และความยาวของรถไฟต่อประชากร ($\ln(railper)$) โดยใช้วิธีการทดสอบทั้ง 5 วิธีดังกล่าวแล้ว จากนั้นทำการพิจารณาเปรียบเทียบผลการทดสอบดังกล่าว ถ้าข้อมูลที่ได้มีลักษณะ $I(1)$ (Order of integration One) ที่ระดับเดียวกันสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทดสอบความสัมพันธ์ในระยาวโดยใช้วิธีพาแนลโคอินทิเกรชัน

4.2.2 การทดสอบพาแนลโคอินทิเกรชัน (Panel cointegration tests)

การทดสอบพาแนลโคอินทิเกรชันในการศึกษานี้ เป็นการทดสอบความสัมพันธ์ในระยะยาวระหว่างตัวแปร $\ln(GDP)_{it}$ กับ $\ln(road)_{it}$, $\ln(rail)_{it}$, $\ln(roadper)_{it}$ และ $\ln(railper)_{it}$ ว่าตัวแปรที่ทำการทดสอบนั้นมีอิทธิพลต่อกันหรือไม่ ด้วยวิธีการทดสอบ 3 วิธี ได้แก่ วิธีทดสอบแบบ Kao, การทดสอบแบบ Pedroni และ การทดสอบแบบ Fisher ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การทดสอบพาแนลโคอินทิเกรชันแบบ Kao (Kao test)

Kao (1999) ได้เสนอการทดสอบยูนิทรูทด้วยวิธี DF และADF สำหรับส่วนตกค้าง (e_{it}) เพื่อทดสอบการร่วมกันไปด้วยกัน (cointegration) พิจารณาแบบจำลอง (panel regression model) ของแต่ละตัวแปร ดังนี้

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln(road)_{it} + e_{it} \quad (4.6)$$

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln(rail)_{it} + e_{it} \quad (4.7)$$

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln(roadper)_{it} + e_{it} \quad (4.8)$$

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln(railper)_{it} + e_{it} \quad (4.9)$$

โดยที่ตัวแปรทุกตัวมีลักษณะเป็น $I(1)$ และค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบแบบ ADF ตามสมการ (3.119) คือ

$$ADF = \frac{t_{ADF} + \frac{\sqrt{6N}\hat{\sigma}_v}{2\hat{\sigma}_{0v}}}{\sqrt{\frac{\hat{\sigma}_{0v}^2}{2\hat{\sigma}_v^2} + \frac{3\hat{\sigma}_v^2}{10\hat{\sigma}_{0v}^2}}} \quad (3.119)$$

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

ถ้าค่าสถิติที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติแสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลไม่มีโคอินทิเกรชัน แต่ถ้าค่าสถิติที่ได้จากการประมาณมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลมีโคอินทิเกรชัน

2. การทดสอบพาแนลโคอินทิเกรชันแบบ Pedroni (Engle-Granger based)

สมมติฐานในการทดสอบคือกรณีที่ข้อมูลภาคตัดขวางทุกหน่วยมีลักษณะเหมือนกัน (Homogeneous)

$H_0 : \rho_i = 1$ (ไม่มีโคอินทิเกรชัน)

$H_a : (\rho_i = \rho) < 1$ (มีโคอินทิเกรชัน)

กรณีที่ข้อมูลภาคตัดขวางแต่ละหน่วยมีลักษณะแตกต่างกัน (Heterogeneous)

$H_0 : \rho_i = 1$ (ไม่มีโคอินทิเกรชัน)

$H_a : \rho_i < 1$ (มีโคอินทิเกรชัน)

โดยสมมติให้ค่าคงที่ (Intercept) และค่าแนวโน้ม (Trend) มีความแตกต่างกันระหว่างข้อมูลแต่ละหน่วย จากสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln(road)_{it} + e_{it} \quad (4.6)$$

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln(rail)_{it} + e_{it} \quad (4.7)$$

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln(roadper)_{it} + e_{it} \quad (4.8)$$

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_i + \beta_i \ln(railper)_{it} + e_{it} \quad (4.9)$$

โดยที่ t คือ เวลา (ปี) ; i คือ หน่วยภาคตัดขวาง (ประเทศ)

α_i คือ พจน์ส่วนตัด (Intercept) อาจถูกเซตให้เท่ากับศูนย์ก็ได้

δ_i คือ สัมประสิทธิ์ของค่าแนวโน้ม(Trend coefficient) อาจถูกเซตให้เท่ากับศูนย์ก็ได้

จากนั้นทำการทดสอบส่วนที่เหลือดังกล่าวว่าเป็น $I(1)$ หรือไม่ ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบพาแนลโคอินทิเกรชันแบบ Pedroni ตามสมการ (3.123)

$$\frac{\aleph_{N,T} - \mu\sqrt{N}}{\sqrt{\upsilon}} \Rightarrow N(0,1) \quad (3.123)$$

การพิจารณาคือ ถ้าค่าสถิติที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติแสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลไม่มีโคอินทิเกรชัน แต่ถ้าค่าสถิติที่ได้จากการประมาณมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลมีโคอินทิเกรชัน

3. การทดสอบพาแนลโคอินทิเกรชันแบบ Fisher (Fisher test)

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ

H_0 : ไม่มีโคอินทิเกรชัน

H_a : มีโคอินทิเกรชัน

ค่าสถิติที่ใช้ทดสอบตามสมการ (3.124) คือ

$$2\sum_{i=1}^{N} \log(\pi_i) \rightarrow \chi^2_{2n} \quad (3.124)$$

โดยที่ π_i คือ $p-value$ จากการทดสอบโคอินทิเกรชันแต่ละตัว สำหรับข้อมูลตัดขวาง i ภายใต้สมมติฐานหลักการทดสอบพาแนลโคอินทิเกรชัน

การพิจารณาคือ ถ้าค่าสถิติที่ได้จากการประมาณมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติแสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลไม่มีโคอินทิเกรชัน แต่ถ้าค่าสถิติที่ได้จากการประมาณมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตแสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือข้อมูลพาแนลมีโคอินทิเกรชัน

เมื่อทำการทดสอบพาแนลโคอินทิเกรชันแล้วหากผลที่ได้ระบุว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันก็จะสามารถประมาณค่าความสัมพันธ์ในแบบต่าง ๆ ได้ต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 การประมาณค่าแบบจำลองพาแนล (Panel estimation)

การประมาณค่าแบบจำลองเป็นการศึกษาเพื่อดูขนาดอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ในที่นี้คือ เครือข่ายถนน($\ln(road)_{it}$) ทางรถไฟ($\ln(rail)_{it}$) เครือข่ายถนนต่อประชากร($\ln(roadper)_{it}$) ทางรถไฟต่อประชากร($\ln(railper)_{it}$) ว่าส่งผลต่อตัวแปรผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศต่อประชากร ณ ราคาคงที่ ($\ln(GDP)_{it}$) ขนาดเท่าใดโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary least square: OLS

1. วิธีการประมาณค่าแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Square: OLS)

ทำการประมาณค่าตัวแปร $\ln(GDP)_{it}$ กับตัวแปร $\ln(road)_{it}$, $\ln(rail)_{it}$, $\ln(roadper)_{it}$ และ $\ln(railper)_{it}$ ด้วยวิธี OLS จะได้ตัวประมาณ $\hat{\beta}_{OLS}$ จากสมการ OLS ดังนี้

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

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

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

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

โดยที่ i คือ ข้อมูลภาคตัดขวาง $i = 1, ..., N$

t คือ ข้อมูลอนุกรมเวลา $t = 1, ..., T$

$\ln(GDP)_{it}$ คือ ตัวแปรตาม

$\ln(road)_{it}$ คือ ตัวแปรอธิบาย

$\ln(rail)_{it}$ คือ ตัวแปรอธิบาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$\ln(roadper)_{it}$ คือ ตัวแปรอธิบาย

$\ln(railper)_{it}$ คือ ตัวแปรอธิบาย

$\overline{\ln(GDP)}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ $\ln(GDP)_{it}$

$\overline{\ln(road)}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ $\ln(road)_{it}$

$\overline{\ln(rail)}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ $\ln(rail)_{it}$

$\overline{\ln(roadper)}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ $\ln(roadper)_{it}$

$\overline{\ln(railper)}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ $\ln(railper)_{it}$

ซึ่งการประมาณค่าแบบจำลองที่มีสมมติฐานของค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกัน จึงต้องทดสอบว่าจะประมาณค่าแบบจำลองในรูปแบบใดระหว่างแบบจำลอง Fixed effects, แบบจำลอง Random effects หรือ แบบจำลอง Pooled estimator

1.1 แบบจำลอง Fixed effects

ทำการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่กำหนดให้ค่าคงที่ (Intercept term) มีการผันแปรตามแต่ละหน่วยภาคตัดขวาง จากสมการ (3.77) จะได้แบบจำลอง Fixed effects ของตัวแปร $\ln(GDP)_{it}$ และ $\ln(road)_{it}$, $\ln(rail)_{it}$, $\ln(roadper)_{it}$ และ $\ln(railper)_{it}$ ดังนี้

$$\Delta \ln(\mathrm{GDP})_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(road)'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\mathrm{GDP})_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(rail)'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\mathrm{GDP})_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(roadper)'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\mathrm{GDP})_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(railper)'_{it}\beta + \varepsilon_{it} \qquad \varepsilon_{it} \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2)$$

โดยมีข้อสมมติคือ $\ln(road)_{it}$, $\ln(rail)_{it}$, $\ln(roadper)_{it}$ และ $\ln(railper)_{it}$ กับ ε_{it} เป็นอิสระกันทุกค่า สามารถเขียนรูปแบบการถดถอยที่รวมเอาตัวแปรหุ่น (Dummy variable) สำหรับแต่ละหน่วยภาคตัดขวาง i ในแบบจำลองได้ดังนี้

$$\Delta \ln(\mathrm{GDP})_{it} = \sum_{j=1}^{N} \alpha_i d_{ij} + \Delta \ln(road)'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\mathrm{GDP})_{it} = \sum_{j=1}^{N} \alpha_i d_{ij} + \Delta \ln(rail)'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\mathrm{GDP})_{it} = \sum_{j=1}^{N} \alpha_i d_{ij} + \Delta \ln(roadper)'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\mathrm{GDP})_{it} = \sum_{j=1}^{N} \alpha_i d_{ij} + \Delta \ln(railper)'_{it}\beta + \varepsilon_{it}$$

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 แบบจำลอง Random effects

ถ้ากำหนดให้ α_i เป็นตัวแปรสุ่ม (Random Factors) ที่เป็นอิสระและมีการแจกแจงในแต่ละหน่วย ดังนั้นจะได้แบบจำลอง Random effects ดังนี้

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \mu + \beta \Delta \ln(road)'_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \mu + \beta \Delta \ln(rail)'_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \mu + \beta \Delta \ln(roadper)'_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \mu + \beta \Delta \ln(railper)'_{it} + \alpha_i + \varepsilon_{it}, \quad \varepsilon_{it} \sim IID(0, \sigma_\varepsilon^2); \alpha_i \sim IID(0, \sigma_\alpha^2)$$

โดยที่ $\alpha_i + \varepsilon_{it}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error Term) ที่ประกอบด้วยส่วนประกอบเฉพาะแต่ละหน่วยภาคตัดขวางที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและส่วนที่เหลือ ซึ่งสมมติให้ไม่มีความสัมพันธ์กันตลอดช่วงเวลา

1.3 การประมาณแบบ Pooled estimator

เป็นการวิเคราะห์ที่สมมติให้ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการมีค่าเท่ากันทุกหน่วยภาคตัดขวาง (Individual) และช่วงเวลา (Time) ที่พิจารณา จะได้แบบจำลองของ Pooled estimator จากสมการ (3.99) คือ

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(road)'_{it} \beta_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(rail)'_{it} \beta_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(roadper)'_{it} \beta_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$\Delta \ln(\text{GDP})_{it} = \alpha_i + \Delta \ln(railper)'_{it} \beta_{it} + \varepsilon_{it}$$

โดยที่ i	คือ	จำนวนประเทศที่ทำการศึกษา $i = 1,...,22$
t	คือ	จำนวนปีที่ทำการศึกษา $t = 1,...,20$
$\Delta \ln(\text{GDP})_{it}$	คือ	เวกเตอร์ 1×1 ของตัวแปร $\ln(\text{GDP})_{it}$
$\Delta \ln(road)_{it}$	คือ	เวกเตอร์ $k \times 1$ ของตัวแปร $\ln(\text{road})_{it}$
$\Delta \ln(rail)_{it}$	คือ	เวกเตอร์ $k \times 1$ ของตัวแปร $\ln(\text{road})_{it}$
$\Delta \ln(roadper)_{it}$	คือ	เวกเตอร์ $k \times 1$ ของตัวแปร $\ln(\text{road})_{it}$
$\Delta \ln(railper)_{it}$	คือ	เวกเตอร์ $k \times 1$ ของตัวแปร $\ln(\text{road})_{it}$
β_{it}	คือ	เวกเตอร์ $k \times 1$ ของค่าสัมประสิทธิ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

α_i คือ จำนวนจริง (ค่าคงที่)

ε_{it} คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

4.2.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพในระยะสั้น (Error Correction Model)

เมื่อได้ความสัมพันธ์ดุลยภาพในระยะยาวแล้วเราจะสามารถหาการปรับตัวในระยะสั้นได้โดยใช้ Error Correction Model (ECM)

ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง Error Correlation Model (ECM) เพื่อศึกษากลไกการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพในระยะสั้นของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (GDP) กับตัวแปรเครือข่ายถนน ทางรถไฟ เครือข่ายถนนต่อประชากร และทางรถไฟต่อประชากรโดยมีรายละเอียด ดังนี้

การวิเคราะห์การปรับตัวระยะสั้นของตัวแปร จะใช้วิธีการ 2 ขั้นตอน ดังนั้น วิธีการ Panel ECM นั้นพิจารณาได้จากขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ถดถอยสมการพาแนลโดยการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมจาก 3 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง Pooled Model แบบจำลอง Fixed–effect Model และแบบจำลอง Random-effect Model โดยใช้การทดสอบ Redundant Fixed Effects Tests และใช้การทดสอบ Hausman test เพื่อตัดสินใจเลือกระหว่างแบบจำลอง

ขั้นตอนที่ 2 ประมาณการแบบจำลอง Error Correction Model (ECM) พิจารณาได้จากแบบจำลอง Panel ECM ดังต่อไปนี้

พิจารณาการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพในระยะสั้นของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและเครือข่ายถนน

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_0 \Delta \ln(road)_{it} + \sum_{k=1}^{m} \alpha_k \Delta \ln(road)_{it-k} + \sum_{k=1}^{m} \beta_k \Delta(GDP)_{it-m} + \gamma ECM_{it-1} + \nu_{it}$$

พิจารณาการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพในระยะสั้นของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและทางรถไฟ

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_0 \Delta \ln(rail)_{it} + \sum_{k=1}^{m} \alpha_k \Delta \ln(rail)_{it-k} + \sum_{k=1}^{m} \beta_k \Delta(GDP)_{it-m} + \gamma ECM_{it-1} + \nu_{it}$$

พิจารณาการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพในระยะสั้นของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและเครือข่ายถนนต่อประชากร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_0 \Delta \ln(roadper)_{it} + \sum_{k=1}^{m} \alpha_k \Delta \ln(roadper)_{it-k} + \sum_{k=1}^{m} \beta_k \Delta(GDP)_{it-m} + \gamma ECM_{it-1} + \nu_{it}$$

พิจารณาการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพในระยะสั้นของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและทางรถไฟต่อประชากร

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_0 \Delta \ln(railper)_{it} + \sum_{k=1}^{m} \alpha_k \Delta \ln(railper)_{it-k} + \sum_{k=1}^{m} \beta_k \Delta(GDP)_{it-m} + \gamma ECM_{it-1} + \nu_{it}$$

โดยที่ Δ คือ อนุพันธ์ลำดับที่ 1(first-order difference)

ECM คือ Error Correction Term ได้มาจากส่วนตกค้าง (residual) จากการถดถอยสมการในขั้นตอนแรก

γ คือ ความเร็วในการปรับตัวการออกนอกดุลยภาพกลับเข้าสู่ดุลยภาพ (Speed of adjust) โดยที่ $-1 \leq \gamma < 0$

4.2.5 การทดสอบความเป็นเหตุเป็นผล (Granger causality test)

เมื่อทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ของตัวแปรระยะยาวและระยะสั้นแล้ว จากนั้นจะนำข้อมูลมาทดสอบว่าตัวแปรใดที่เป็นเหตุและตัวแปรใดเป็นผล และ/หรือตัวแปรทั้งสองเป็นเหตุผลซึ่งกันและกัน

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบความเป็นเหตุเป็นผลระหว่างตัวแปรการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจกับเครือข่ายถนนและทางรถไฟ โดย ใช้วิธี Granger's causality Test ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ประมาณค่าส่วนที่เหลือจากการหาความสัมพันธ์ระยะยาว (Cointegrated Model) โดยสมมติให้ ECT_{it} คือ ค่าส่วนที่เหลือ (Error Correction Term : ε_{it}) จากการประมาณค่าแบบจำลองการหาความสัมพันธ์ระยะยาว

ขั้นที่ 2 ประมาณการแบบจำลอง Granger Causality Model ดังต่อไปนี้

พิจารณาความเป็นเหตุเป็นผลระหว่างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและเครือข่ายถนน

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_{yi} + \Psi_{yi} ECT_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \delta_i^j \Delta \ln(GDP)_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \beta_i^j \Delta(road)_{it-j} + \varepsilon_{it}$$

$$\ln(road)_{it} = \alpha_{yi} + \Psi_{yi} ECT_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \delta_i^j \Delta \ln(road)_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \beta_i^j \Delta(GDP)_{it-j} + \varepsilon_{it}$$

พิจารณาความความเป็นเหตุเป็นผลระหว่างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและทางรถไฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_{yi} + \Psi_{yi} ECT_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \delta_i^j \Delta \ln(GDP)_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \beta_i^j \Delta(rail)_{it-j} + \varepsilon_{it}$$

$$\ln(rail)_{it} = \alpha_{yi} + \Psi_{yi} ECT_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \delta_i^j \Delta \ln(rail)_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \beta_i^j \Delta(GDP)_{it-j} + \varepsilon_{it}$$

พิจารณาความเป็นเหตุเป็นผลระหว่างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและเครือข่ายถนนต่อประชากร

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_{yi} + \Psi_{yi} ECT_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \delta_i^j \Delta \ln(GDP)_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \beta_i^j \Delta(roadper)_{it-j} + \varepsilon_{it}$$

$$\ln(roadper)_{it} = \alpha_{yi} + \Psi_{yi} ECT_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \delta_i^j \Delta \ln(roadper)_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \beta_i^j \Delta(GDP)_{it-j} + \varepsilon_{it}$$

พิจารณาความความเป็นเหตุเป็นผลระหว่างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและทางรถไฟต่อประชากร

$$\ln(GDP)_{it} = \alpha_{yi} + \Psi_{yi} ECT_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \delta_i^j \Delta \ln(GDP)_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \beta_i^j \Delta(railper)_{it-j} + \varepsilon_{it}$$

$$\ln(railper)_{it} = \alpha_{yi} + \Psi_{yi} ECT_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \delta_i^j \Delta \ln(railper)_{it-1} + \sum_{j=1}^{J} \beta_i^j \Delta(GDP)_{it-j} + \varepsilon_{it}$$

โดยที่ Δ คือ อนุพันธ์ลำดับที่ 1(first-order difference)

ECT คือ Error Correction Term ซึ่งได้จากการประมาณค่าแบบจำลองการหาความสัมพันธ์ระยะยาว

ψ_{it} คือ Adjust Coefficients

สมมติฐานในการทดสอบ คือ สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรทดสอบ (β_i^j) มีค่าแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้ค่า F -statistic ในการตัดสินใจหรือพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์หน้า Error Correction Term (ψ_{it}) ว่ามีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ซึ่งแสดงถึงการมีความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลในระยะยาว

4.3 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้พิจารณาจากทฤษฎีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจตามแบบจำลองของ Ramsey โดยฟังก์ชันความพอใจของครัวเรือนขึ้นอยู่กับการบริโภค โดยสมมติให้ครัวเรือนมีการเจริญเติบโตของประชากรที่อัตรา n และครัวเรือนจะมีการบริโภคและได้รับผลตอบแทนเป็นสินทรัพย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$Max \int_0^{\infty} u\left(c(t)\right) e^{-\rho t} e^{nt} dt \qquad (4.6)$$

โดยที่ $c(t)$ คือ การบริโภคของครัวเรือน ณ เวลา t

ρ คือ อัตราคิดลด (Discount rate)

n คือ อัตราการเจริญเติบโตของประชากร

การศึกษานี้จะกำหนดให้ฟังก์ชันความพอใจอยู่ในรูปของความยืดหยุ่นของการทดแทนกันข้ามห้วงเวลาคงที่ (Constant Intertemporal Elasticity of Substitution: CIES) ดังนี้

$$u\left(c(t)\right) = \frac{c^{(1-\theta)} - 1}{1-\theta} \qquad (4.7)$$

โดยที่ θ คือความยืดหยุ่นของความพอใจส่วนเพิ่มที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ $(\theta \geq 0)$ แต่ไม่เท่ากับหนึ่ง $(\theta \neq 1)$ และความยืดหยุ่นของการทดแทนกันในฟังก์ชันความพอใจนี้จะเท่ากับ $\sigma = 1/\theta$

กิจกรรมต่างๆของรัฐบาลในการสร้างสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐาน เช่น การสร้างทางหลวง ระบบน้ำประปา ตำรวจ ต่างเกี่ยวข้องกับความแออัด (Congestion) หากสมมติให้เป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจของรัฐแบบมวลรวมใดๆ (G) ปริมาณที่แต่ละบุคคลได้รับจะลดลงเมื่อมีบุคคลอื่นมาใช้บริการจากกิจกรรมของรัฐ กิจกรรมต่างๆของรัฐถือเป็นปัจจัยใส่เข้าในกระบวนการผลิตภาคเอกชน เราจะสามารถสร้างแบบจำลองความแออัดนี้โดยเขียนฟังก์ชั่นการผลิตสำหรับผู้ผลิต i ได้เป็น

$$Y_i = AK_i \cdot f\left(G/Y\right) \qquad (4.8)$$

ฟังก์ชันการผลิตจะขึ้นอยู่กับทุน (Capital: K), เทคโนโลยี (Technology: A) และการใช้จ่ายภาครัฐ โดยที่ $f' > 0$ และ $f'' < 0$ และสมการการผลิตเป็นรูปแบบ AK และมีบริการสาธารณะเข้ามาเกี่ยวข้องในแบบจำลอง การเพิ่มขึ้นของ G จะส่งผลต่อผลผลิตมวลรวม(Y) ให้เพิ่มสูงขึ้น ณ ระดับทุน(K) ใดๆ เนื่องจากมีความแออัด(Congestion) หากผลผลิตมวลรวม(Y) เพิ่มสูงขึ้นแต่ G คงที่ ก็จะทำให้บริการสาธารณะที่ผู้ผลิตแต่ละรายสามารถเข้าถึงได้ลดลง แบบจำลองสมมติให้ G ต้องเพิ่มเพื่อให้ Y เพิ่มสูงขึ้นและบริการสาธารณะต่อคนเพิ่มขึ้นด้วย

ที่ ณ ระดับ G และ ผลผลิตมวลรวม(Y) ใดๆ การผลิตแต่ละหน่วยธุรกิจจะมีผลได้ต่อขนาดคงที่ต่อปัจจัยนำเข้าเอกชน (K) ถ้า G เติบโตในอัตราเดียวกับ Y แล้ว อัตราส่วน G/Y จะคงที่ และมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลได้ต่อขนาดคงที่ใน K ด้วย ซึ่งแสดงว่าระบบเศรษฐกิจจะเติบโตจากภายในเช่นเดียวกับแบบจำลอง AK

จากเงื่อนไขกำไรสูงสุดผลผลิตส่วนเพิ่มของทุนจะเท่ากับค่าเช่าบวกค่าเสื่อม

$$r+\delta = A\cdot f(G/Y) \qquad (4.9)$$

ผลผลิตส่วนเพิ่มจะไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรแรงงานแต่อัตราการเจริญเติบโตของ c k และ y จะเท่ากับค่าคงที่ค่าเดียวกัน จากสมการที่ (44) จะสามารถดัดแปลงและเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\dot{c}/c = (1/\theta)\cdot[A\cdot f(G/Y)-\delta-\rho] \qquad (4.10)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นใน G/Y และถ้าสมมติให้ระบบเศรษฐกิจเป็นแบบวางแผนจากส่วนกลาง และแสวงหาอรรถประโยชน์สูงสุด จากสมการอรรถประโยชน์ภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร (แสดงในรูปต่อประชากร)

$$\dot{k} = Ak\cdot f(\frac{G}{Y})-c-\delta k-G/L \qquad (4.11)$$

สมมติให้อัตราการเจริญเติบโตของประชากรเท่ากับศูนย์ จะเขียนสมการ Hamiltonian ได้ดังนี้

$$J = e^{-\rho t}\cdot\frac{c^{1-\theta}-1}{1-\theta}+\nu\cdot[Ak\cdot f(G/Y)-c-\delta k-G/L] \qquad (4.12)$$

หาอนุพันธ์ของสมการ(4.8) เทียบกับ k

$$\frac{\partial y}{\partial k} = A\cdot f(G/Y)+Ak\cdot f'(G/Y)\cdot\left(\frac{-G/L}{y^2}\right)\cdot\frac{\partial y}{\partial k} \qquad (4.13)$$

จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{\partial y}{\partial k} = \frac{A\cdot f(G/Y)}{1+(G/Y)\cdot\dfrac{f'(G/Y)}{f(G/Y)}} \qquad (4.14)$$

อนุพันธ์ของ y เมื่อเทียบกับ G

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\frac{\partial y}{\partial G} = L \cdot \frac{\frac{f'(G/Y)}{f(G/Y)}}{1+(G/Y)\cdot\frac{f'(G/Y)}{f(G/Y)}} \qquad (4.15)$$

เงื่อนไขอันดับแรก(FOC) เทียบกับการบริโภคจะได้สมการการเจริญเติบโตเช่นกรณีทั่วไป

$$\frac{\dot{c}}{c} = \frac{1}{\theta}(-\frac{\dot{\nu}}{\nu} - \rho)$$

เงื่อนไขอันดับแรกเทียบกับ G นั้นจำเป็นที่ $\partial y / \partial G = 1$ จากสมการ (4.15) เงื่อนไขประสิทธิภาพ (efficiency condition) สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{f'(G/Y)}{f(G/Y)} = \frac{1}{1-(G/Y)} \qquad (4.16)$$

กำหนดให้ $(G/Y)^*$ เป็นค่าที่สอดคล้องกับเงื่อนไขนี้ เงื่อนไขอันดับแรกเทียบกับทุนต้องการ

$$-\dot{\nu} = \nu \cdot (\frac{\partial y}{\partial k} - \delta) \qquad (4.17)$$

นำสมการ (4.17), (4.14) และ (4.15)แทนค่าในสมการการเจริญเติบโตของการบริโภคจะได้

$$\dot{c}/c(\text{social planner}) = (1/\theta)\cdot\{[1-(G/Y)^*]\cdot A\cdot f[(G/Y)^*] - \delta - \rho \qquad (4.18)$$

การตัดสินใจของผู้ผลิตแต่ละรายในการเพิ่มทุน (K_i) ผลผลิต (Y_i) และเพิ่มความแออัดสำหรับบริการสาธารณะมวลรวม (G) ณ ระดับใดๆด้วยภาษีแบบเหมาจ่าย ผู้ผลิตจะเพิกเฉยผลกระทบด้านลบภายนอกแต่จะมีแรงจูงใจมากในการเพิ่มทุนและผลผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved