

## Discussion Paper Series

ผลกระทบของคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว (growth accounting) : ศึกษากรณีประเทศไทย กลุ่มประเทศอาเซียน (AEC) และกลุ่มประเทศ OECD

ดมิศา มุกด์มณี

Discussion Paper No.33

May 30, 2014

Faculty of economic Thammasat University

[ertc@econ.tu.ac.th](mailto:ertc@econ.tu.ac.th)

ผลกระทบของคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว (growth accounting) :ศึกษากรณีประเทศไทย กลุ่มประเทศอาเซียน (AEC) และกลุ่มประเทศ OECD

ดมิศา มุกต์มณี

## Abstract

This paper is an empirical study on the impact of environmental quality on output (via production function) based on Ramsey-Cass-Koopmans model with environmental pollution and the Solow model with environmental pollution. It finds that pollution share of output is 0.52 and pollution contribution to long-run output growth is 13.4% , and the optimal environmental taxes from 1990 to 2008 gradually reduce for Thailand because of the reduction of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). Whereas the pollution shared of output for the AEC countries is 0.29 but there is no evidence of pollution contribution to long-run output growth. Lastly, there is no evidence of the pollution share of output in the OECD countries but there is pollution contribution to long-run output growth is 2.91%. In addition, the optimal environmental taxes are different in the OECD countries depending on country's CO<sub>2</sub> emission.

## บทคัดย่อ

งานศึกษานี้ทำการศึกษาผลกระทบของคุณภาพของสิ่งแวดล้อมต่อฟังก์ชันการผลิตหรือผลผลิตและทำการทดสอบผลของคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตในระยะยาว (growth accounting) โดยอ้างอิงทฤษฎีแบบจำลอง Ramsey-Cass-Koopmans model with environmental pollution และแบบจำลอง Solow model with environmental pollution และศึกษาเชิงประจักษ์กรณีประเทศไทย กลุ่มประเทศอาเซียน (AEC) และกลุ่มประเทศ OECD พบว่า ประเทศไทยมีส่วนมลพิษในฟังก์ชันการผลิตหรือผลผลิต (pollution share of output) เท่ากับ 0.52 และส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของผลผลิตเท่ากับ 13.4% และจากการประมาณค่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมตั้งแต่ปี 1990-2008 พบว่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes) มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณการปล่อย CO<sub>2</sub> ของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง ส่วนกรณีกลุ่มประเทศอาเซียน (AEC) พบว่าสัดส่วนของมลพิษในปัจจุบันการผลิตต่อผลผลิต (pollution share of output) เท่ากับ 0.29 ขณะที่การเติบโตของมลพิษไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว ส่วนการศึกษาในกลุ่มประเทศ OECD พบว่า สัดส่วนของมลพิษที่เป็นหนึ่งในปัจจุบันการผลิตต่อผลผลิต (pollution share of output) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่การเติบโตของมลพิษมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (contribution of pollution growth to output growth) เท่ากับ 2.91% และประมาณค่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes) ของประเทศในกลุ่ม OECD ได้แตกต่างกันในแต่ละประเทศ ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อย

## 1.ความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติและคุณภาพของสิ่งแวดล้อมได้นำมาสู่การวิเคราะห์ในทฤษฎีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเพื่อศึกษาผลกระทบต่อรายได้ดุลยภาพและเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว โดยมีแนวคิดที่ว่าทรัพยากรธรรมชาติที่จำกัดและคุณภาพของสิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อรายได้ดุลยภาพและอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างกันในหลายงานศึกษาขึ้นอยู่กับข้อสมมติฐานของแบบจำลอง โดยงานศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของทรัพยากรธรรมชาติ (natural resources) ต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาวได้แก่ Dasgupta and Heal(1974), Solow (1974), Aghion and Howitt (1998), Scholz and Ziemes (1999), Schou (2000) และ Grimaud(1999) โดยตั้งคำถามว่าภายใต้เงื่อนไขเทคโนโลยีที่มีอยู่ อัตราการเจริญเติบโตในระยะยาวที่เป็นบวก (positive long run growth) เกิดขึ้นได้หรือไม่ภายใต้การมีทรัพยากรธรรมชาติที่จำกัด (non-renewable natural resources) โดยศึกษาเปรียบเทียบดุลยภาพที่เหมาะสม (optimal path) และดุลยภาพที่เกิดขึ้น (equilibrium paths) ได้ข้อสรุปว่าดุลยภาพที่เหมาะสม (optimum path) ไม่เท่ากับดุลยภาพที่เกิดขึ้น (equilibrium path) เนื่องจากเกิดผลกระทบภายนอกข้ามช่วงเวลา (intertemporal externality) ได้แก่ public goods

นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มตัวแปรที่สำคัญเช่น การวิจัยและพัฒนา ได้แก่ งานศึกษาของ Grimaud and Rouge (2003,2005) โดยเพิ่มตัวแปรภาคสินค้าขั้นกลาง (intermediate sector) ซึ่งประกอบด้วยการวิจัยและพัฒนา และภาคสินค้าขั้นสุดท้าย (final sector) พบว่า การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาวมีค่าเป็นบวก ถ้าภาควิจัยและพัฒนา มีประสิทธิภาพ และให้ข้อสรุปเหมือนกันคือ พบว่าดุลยภาพที่เกิดขึ้น (equilibrium path) ไม่เท่ากับดุลยภาพที่เหมาะสม (optimal path) และ อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาวเมื่ออยู่ ณ ดุลยภาพที่เหมาะสม (optimal path) และเมื่ออยู่ ณ ดุลยภาพที่เกิดขึ้น (equilibrium growth

paths) อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนลด (discount rate) เทียบกับค่าพารามิเตอร์ของเทคโนโลยี ในการวิจัยและพัฒนา และพบว่าอัตราผลตอบแทนระหว่างวัตถุดิบที่สะอาดหรือไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และ วัตถุดิบสกปรกหรือก่อให้เกิดมลพิษ และกระบวนการผลิตในภาคการผลิต ขึ้นอยู่กับปริมาณทรัพยากรเริ่มต้น พร้อมเสนอว่าควรเก็บภาษีตามความต้องการใช้ทรัพยากร และควรเลือกอัตราดอกเบี้ยของภาษีที่ทำให้ได้ ดุลยภาพที่เหมาะสม (optimal path)

นอกจากนี้ ยังมีงานศึกษาเกี่ยวกับนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม โดยศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจกับคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้แก่ งานศึกษาของ Acemoglu et al. (2012) ที่มีข้อสมมติว่าผลผลิตขั้นสุดท้ายถูกผลิตจากวัตถุดิบ 2 ชนิดคือ สะอาด (clean input) และสกปรก (dirty input) พบว่าระบบเศรษฐกิจจะมีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาวที่เป็นบวกถ้าวัตถุดิบทั้งสอง ทดแทนกันได้มาก และมีนโยบายชั่วคราวที่เหมาะสมได้แก่ การเก็บภาษีคาร์บอนและให้เงินช่วยเหลือในการ วิจัยวัตถุดิบที่สะอาด ขณะที่ยานศึกษาของ Stern (2004) สรุปว่าวัตถุดิบทดแทนกันแต่ไม่มาก และจำเป็นต้อง ใช้การแทรกแซงอย่างถาวร ส่วนงานศึกษาของ Smulders and Gradus (1996) ใช้ตัวแปรการบำบัดมลพิษ (abatement) แทนการเก็บภาษี ทำการวิเคราะห์การเชื่อมโยงกันในทางทฤษฎีของความเจริญเติบโตทาง เศรษฐกิจกับปัญหาสิ่งแวดล้อมในรูปแบบของมลพิษ สรุปได้ว่ามลพิษสามารถถูกทำให้ลดลงได้จากการจัดสรร ผลผลิตบางส่วนไปใช้ในกระบวนการบำบัดมลพิษ ข้อสรุปที่ได้จากแบบจำลองคือ ถ้าผลิตภาพของกิจกรรมการ บำบัดสูงเพียงพอ จะสามารถทำให้เศรษฐกิจมีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และสามารถคงไว้ซึ่งระดับของ คุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ นอกจากนี้ จากการที่ปัญหาสิ่งแวดล้อมไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาในปัญหาตลาด อัตรา การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ณ ดุลยภาพตลาดอาจสูงกว่า เท่ากัน หรือ ต่ำกว่าอัตราเจริญเติบโตทาง เศรษฐกิจที่เหมาะสม (Optimal) ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลอง และสรุปว่านโยบาย

สิ่งแวดล้อมอาจกระตุ้นการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจหรือชะลอการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจก็ได้ ขณะที่ Bovenberg and Smulders (1995) เสนอว่าการมีสิ่งจูงใจทางเศรษฐกิจเพื่อเพิ่มมูลค่าของนวัตกรรมสะอาด เช่น ภาษีมลพิษจะกระตุ้นการใช้และคุณค่าของเทคโนโลยีสะอาด และทำให้เทคโนโลยีสะอาดจะได้รับการพัฒนาเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีสกปรก ซึ่งสอดคล้องกับ Byrne (1997) ที่สรุปว่าการขยายตัวของมลพิษ (pollution growth) ในกรณีที่ตลาดถูกดำเนินการไปโดยปราศจากการแทรกแซงโดยภาครัฐบาลจะสูงกว่ากรณีที่มีการแทรกแซงเสมอ และการดำเนินนโยบายสิ่งแวดล้อมจะสามารถบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ โดยงานศึกษาของ John and Pecchenino (1994) และ Prieur (2009) ให้ข้อสรุปว่าผู้บริโภคจะทำการตัดสินใจในการเลือกการสะสมทุนกายภาพ และระดับของคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยที่ดุลยภาพของแบบจำลองที่จะมีมากกว่าหนึ่งจุด (multiple equilibria) โดยในบางกรณี ผู้บริโภคอาจตัดสินใจรักษาระดับของคุณภาพสิ่งแวดล้อมในระดับที่สูงมากเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้ ดุลยภาพที่เกิดขึ้นอาจไม่ใช่ดุลยภาพที่สังคมได้รับสวัสดิการสูงสุด นอกจากนี้ การที่มลพิษไม่สามารถถูกดูดซับได้อย่างสมบูรณ์ จะเป็นสาเหตุทำให้ระบบเศรษฐกิจอาจจะติดอยู่ ณ ดุลยภาพความเจริญเติบโต (equilibrium growth) ที่มีการปล่อยมลพิษระดับสูงและอัตราการขยายตัวของผลผลิตอยู่ในระดับต่ำแม้ว่ากิจกรรมการลดมลพิษ (pollution abatement) ยังคงดำเนินการอยู่

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาแนวคิดแบบจำลองการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจกับคุณภาพของสิ่งแวดล้อม โดยใช้ทฤษฎีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและคุณภาพสิ่งแวดล้อมหรือมลพิษ ได้แก่ แบบจำลอง Ramsey-Cass-Koopmans model with environmental pollution และแบบจำลอง Solow model with environmental pollution และทำการทดสอบและประมาณค่าสัดส่วนของมลพิษในปัจจุบันการผลิต (pollution share) และผลของคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตในระยะยาว (growth accounting) โดยการศึกษาเชิงประจักษ์กรณีประเทศไทย กลุ่มประเทศ

อาเซียน (AEC) และกลุ่มประเทศ OECD วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง Time series analysis และ Panel Data analysis นอกจากนี้ ผลจากการศึกษาสัดส่วนของมลพิษต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (pollution shares to output growth) จะสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม และประมาณค่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes) ต่อไป

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ใช้แบบจำลอง Solow model และอ้างอิงงานศึกษาของ Xepapadeas (2005) และ Dasgupta and Maler (2000) โดยกำหนดให้ ฟังก์ชันการผลิต (Aggregate production function) โดยมี exogenous labor-augmenting technical progress คือ

$$Y = F(K, AL) \tag{1}$$

โดยที่  $A$  = ระดับของเทคโนโลยี ,  $AL$  = effective labor ,

และกำหนดให้อัตราความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเท่ากับ  $g$  และอัตราการเติบโตของประชากรเท่ากับ  $n$

จะได้สมการการสะสมทุน (per effective worker of capital accumulation function) คือ

$$\dot{k} = sf(k) - (\delta + n + g)k \tag{2}$$

โดยที่  $k = K/AL$

กำหนดให้ Pollution/ambient environment:  $\dot{P} = \phi Y - mP$

เขียนสมการการสะสมมลพิษ (pollution accumulation equation) ได้คือ

$$\dot{p} = \phi f(k) - (m + g + n)p \tag{3} \quad \text{โดยที่ } p = P/AL$$

ณ ดุลยภาพจะได้ steady state capital stock per efficiency units จากสมการ  $sf(k^*) = (\delta + n + g)k^*$

และ rate of growth of k คือ  $\gamma_k = sf(k) / k - (n + \delta + g)$  (3)

และ steady state stock of pollution in efficiency units เท่ากับ

$$p^* = \phi f(k^*) / (m + g + n) \quad (4)$$

โดย P มีอัตราการเติบโตเท่ากับ n+g และอัตราการเติบโตของมลพิษที่เป็นบวก ทำให้มีความคิดเกี่ยวกับการป้องกันมลพิษ โดยมีเทคโนโลยีที่สะอาดในการผลิต (clean production technology ) โดยที่  $\phi =$  unit emission coefficient in terms of capital intensity ,  $\phi = \phi(k), \phi'(k) < 0$

จะได้อัตราการเติบโตของมลพิษ  $\gamma_p = \dot{p} / p = \phi(k^*)f(k^*) / p - (m + n + g)$  (5)

โดย  $k^* =$  long run equilibrium value of capital stock in efficiency units

จากสมการข้างต้นพบว่าในการจะทำให้มลพิษลดลง ต้องมีสมมติฐานว่า k มีการเติบโตเป็นบวก และผลผลิตเฉลี่ยของทุนและผลผลิตส่วนเพิ่มของทุน (average and marginal product of capital) เท่ากับ  $\delta + n + g$  ซึ่งขัดแย้งกับเงื่อนไข Inada condition จะได้ว่า  $\lim_{k \rightarrow \infty} \phi(k)f(k) = 0$  และ  $\gamma_p = -(m + n + g)$

และเมื่อเทียบกับแบบจำลอง Solow model with pollution กำหนดให้มีปัจจัยทุน 2 ชนิดคือ ปัจจัยทุนที่ก่อให้เกิดผลผลิต (productive/output generating capital,  $K_y$ ) และปัจจัยทุนที่ใช้ในการลดมลพิษแต่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิต (abatement capital,  $K_a$ ) แต่สามารถลดการปล่อยมลพิษต่อหน่วยผลผลิตที่ผลิตได้ (emissions per unit of output)

เขียนฟังก์ชันการผลิตได้เป็น

$$Y = F(K_y, K_a, AL) , \quad (6)$$

โดยที่ทุน (Stock of capital) แบ่งเป็นทุนที่ก่อให้เกิดผลผลิต (productive capital) ซึ่งเป็นทุนที่ก่อให้เกิดมลพิษ (pollution generating capital,  $K_y$ ) และทุนที่ใช้ในการลดมลพิษ (abatement capital,  $K_a$ ) และ  $AL =$  effective labor หรือแรงงานที่มีประสิทธิภาพ

กำหนดให้ อัตราการออมแบ่งออกจากปัจจัยทุนทั้งสองชนิด,  $s_y, s_a$  จะเขียนสมการ capital & pollution accumulation equations ได้เป็น

$$\dot{k}_y = s_y f(k_y) - (n + \delta + g)k_y \quad (7)$$

$$\dot{k}_a = s_a f(k_y) - (n + \delta + g)k_a \quad (8)$$

$$\dot{p} = \phi(k_a) f(k_y) - (m + n + g)p \quad (9)$$

$$\lim_{k_a \rightarrow \infty} \phi(k_a) \rightarrow 0, \lim_{k_a \rightarrow \infty} \phi(k_a) f(k_y) \rightarrow 0$$

และสมมติให้ผลผลิตเฉลี่ยของทุนและผลผลิตส่วนเพิ่มของทุน (average & marginal product of capital) จะเข้าใกล้  $n + \delta + g$  เมื่อ  $k \rightarrow \infty$

แบบจำลองนี้สามารถอธิบาย transitional dynamics ของมลพิษ เมื่อทุน (stocks of capital) ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Kuznets curve ซึ่งเมื่อ  $k \rightarrow \infty$  จะได้  $\dot{p}/p \rightarrow -(m + \delta + g)$  และ  $\dot{P}/P = \dot{p}/p + (n + g) \rightarrow -m$  และจะมีค่า critical value  $k^{cr}$  ที่ทำให้  $\dot{p}/p = -(n + g)$  และ  $\dot{P}/P = 0$  สำหรับ  $k = k^{cr}$  แต่เมื่อเศรษฐกิจเติบโตมากกว่าระดับ critical value จะได้ว่ามลพิษจะลดลงและเท่ากับศูนย์ เราจะได้  $\dot{P}/P < 0$  เมื่อ  $k > k^{cr}$

อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง Solow model มีข้อจำกัดที่ไม่ได้นำอรรถประโยชน์ที่ลดลง (disutility) ของมลพิษมาพิจารณา นอกจากนี้การเติบโตของมลพิษจะเท่ากับตัวแปรอื่นในระบบเศรษฐกิจ ซึ่งผลที่ได้แสดงว่า คุณภาพในระยะยาวของมลพิษ (equilibrium steady state pollution) อาจไม่มีในแบบจำลอง Solow model และคุณภาพระยะยาวของมลพิษ อาจมีจริงถ้ามีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการผลิตหรือมีปริมาณของการปล่อยมลพิษ (flow of emission) เป็นปัจจัยการผลิตใน production function ด้วย

ดังนั้นจึงปรับแบบจำลอง Solow model โดยมีมลพิษอยู่ในฟังก์ชันการผลิตโดยกำหนดให้เทคโนโลยีเป็นแบบ exogenous input augmenting technical progress และ emissions,  $B$ , มีอัตราการเติบโตเท่ากับ  $b$  ( $\dot{B}/B = b$ ) ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมีอัตราการเติบโตเท่ากับ  $g$  ( $\dot{A}/A = g$ ) เขียนฟังก์ชันการผลิตได้ดังนี้

$$Y = F(K, AL, BZ), \frac{\partial F}{\partial Z} > 0, \quad (10)$$

โดยที่  $\frac{Y}{L} = F\left(\frac{K}{L}, A, \frac{BZ}{L}\right)$  และ  $Z = \text{flow of emissions or emission standard}$

เขียนฟังก์ชันการผลิตเป็นหน่วยต่อประชากร (Production in per capita terms) ได้เป็น

$$y = k^{a_1} (e^{gt})^{a_2} (e^{(b-n)t} Z)^{a_3} = e^{\lambda t} k^{a_1} Z^{a_3}, \quad \lambda = a_2 g + a_3 (b - n) \quad (11)$$

จะได้  $\gamma = \gamma_k = \gamma_y = \gamma_c = \xi = \frac{a_2 g + a_3 (b - n)}{1 - a_1}$

ถ้า  $a_3=0$  จะได้ว่า flow of emission ไม่มีผลต่ออัตราการเติบโตของรายได้และภายใต้เงื่อนไขผลตอบแทนคงที่ (constant return to scale) จะได้อัตราการเจริญเติบโตของรายได้ต่อหัวเท่ากับความเร็วก้าวหน้าของเทคโนโลยี ( $\gamma = g$ ) สามารถเขียน steady state of flow emission  $Z^*$  ได้ และเลือกค่า  $Z^*$  ที่ทำให้  $\dot{P} = 0$  ได้

$$0 = Z^* - mP + h(P) \quad (12)$$

และใช้สมการนี้หาดุลยภาพของ stock of pollution ที่เป็นฟังก์ชันของ steady state of economy และเนื่องจากดุลยภาพระยะยาวของทุนต่อประชากร (steady state of  $\hat{k}^*$ ) ขึ้นอยู่กับ emission of flow ( $Z$ ) จึงมีความเชื่อมโยงโดยตรงกับนโยบายสิ่งแวดล้อม แม้บรรดaprโยชน์ที่ลดลงจากมลพิษไม่ได้นำมาพิจารณาในแบบจำลอง Solow model นี้ แต่ระดับของ emission ( $Z$ ) ที่สูงสุด จะถูกกำหนดจากข้อจำกัดของเทคโนโลยี (technological constraint) และส่งผลสะท้อนกลับต่อการกำหนดอัตราการเจริญเติบโต ณ ดุลยภาพ (steady state growth rates) ของตัวแปรที่สำคัญ

นอกจากนี้ Xepapadeas (2005) ได้เสนอแนวคิด growth accounting กับสิ่งแวดล้อม จากแบบจำลอง Solow growth model โดยกำหนดให้ฟังก์ชันการผลิตประกอบด้วยทุน แรงงานและเทคโนโลยี และสมมติให้ฟังก์ชันการผลิตเป็น Neoclassical production function และอัตราการเจริญเติบโตของเทคโนโลยี (rate of technological progress) เท่ากับ  $g$  สามารถเขียนสมการ growth accounting ได้ดังสมการที่ (13)

$$Y = f(A, K, L) \quad (13)$$

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \left(\frac{F_A A}{Y}\right) \left(\frac{\dot{A}}{A}\right) + \left(\frac{F_K K}{Y}\right) \left(\frac{\dot{K}}{K}\right) + \left(\frac{F_L L}{Y}\right) \left(\frac{\dot{L}}{L}\right) \quad (14)$$

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = g + \left(\frac{F_K K}{Y}\right)\left(\frac{\dot{K}}{K}\right) + \left(\frac{F_L L}{Y}\right)\left(\frac{\dot{L}}{L}\right) \quad (15)$$

การเจริญเติบโตที่สังเกตเห็นได้คือ ผลผลิต ทุนและแรงงาน ดังนั้น ส่วนต่างของอัตราการเจริญเติบโต  
 ผลิตกับอัตราการเจริญเติบโตที่มาจากปัจจัยการผลิตทุนและแรงงาน คืออัตราการเจริญเติบโตของ  
 เทคโนโลยี (rate of technological progress) จะเขียนได้เป็น

$$g = \left(\frac{F_A A}{Y}\right)\left(\frac{\dot{A}}{A}\right) = \frac{\dot{Y}}{Y} - \left(\frac{F_K K}{Y}\right)\left(\frac{\dot{K}}{K}\right) - \left(\frac{F_L L}{Y}\right)\left(\frac{\dot{L}}{L}\right) \quad (16)$$

หรือถ้าฟังก์ชันการผลิตเป็น  $Y = AK^\alpha L^{1-\alpha}$  จะแสดงอัตราการเจริญเติบโตของเทคโนโลยีคือ

$$g = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \alpha\left(\frac{\dot{K}}{K}\right) - (1-\alpha)\left(\frac{\dot{L}}{L}\right) \quad (17)$$

และภายใต้ตลาดแข่งขันสมบูรณ์จะได้ว่า  $F_K = r$  และ  $F_L = w$  ในการประมาณค่าความก้าวหน้า  
 ของเทคโนโลยี หรือ Solow residual หรือผลิตภาพการผลิตรวม (Total factor productivity growth, TFP) เป็น  
 ดังสมการ

$$\hat{g} = \frac{\dot{Y}}{Y} - s_K\left(\frac{\dot{K}}{K}\right) - s_L\left(\frac{\dot{L}}{L}\right) = \frac{\dot{Y}}{Y} - \alpha\left(\frac{\dot{K}}{K}\right) - (1-\alpha)\left(\frac{\dot{L}}{L}\right) \quad (18)$$

โดย  $s_K$  และ  $s_L$  คือ factor shares of capital factor shares of labor และเมื่อนำสิ่งแวดล้อมหรือมลพิษ  
 เข้ามาใน growth accounting โดย Dasgupta and Maler (2000) ซึ่งมีแนวคิดว่ามีปริมาณของสิ่งแวดล้อมหรือ  
 มลพิษ เป็นปัจจัยการผลิตในฟังก์ชันการผลิตด้วย นั่นคือสะท้อนผลของ growth accounting ด้วย โดยมีข้อ  
 สมมติฐานว่าถ้าไม่มีการบันทึกหรือนำคุณภาพสิ่งแวดล้อมหรือมลพิษเข้ามาพิจารณา และถ้ามีการใช้

ทรัพยากรมากขึ้น การประมาณการอัตราการเจริญเติบโตในระยะยาวจะสูงเกินจริง โดยแนวคิดนี้ฟังก์ชันการผลิตจึงมี pollution augmenting technical change หรือความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่รวมการเพิ่มขึ้นของมลพิษด้วยเขียนสมการได้เป็น

$$Y = F(K, AL, Z) \quad (19)$$

สามารถจัดรูปเป็น growth accounting equation เป็น

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \left(\frac{F_K K}{Y}\right)\left(\frac{\dot{K}}{K}\right) + \left(\frac{F_A A}{Y}\right)\left(\frac{\dot{A}}{A}\right) + \left(\frac{F_L L}{Y}\right)\left(\frac{\dot{L}}{L}\right) + \left(\frac{F_Z Z}{Y}\right)\left(\frac{\dot{Z}}{Z}\right) \quad (20)$$

$$g_z = \left(\frac{F_A A}{Y}\right)\left(\frac{\dot{A}}{A}\right) = \frac{\dot{Y}}{Y} - \left(\frac{F_K K}{Y}\right)\left(\frac{\dot{K}}{K}\right) - \left(\frac{F_L L}{Y}\right)\left(\frac{\dot{L}}{L}\right) - \left(\frac{F_Z Z}{Y}\right)\left(\frac{\dot{Z}}{Z}\right) \quad (21)$$

นั่นคือ อัตราความก้าวหน้าของเทคโนโลยีกรณีที่รวมผลของมลพิษในการผลิตจะต่ำกว่าจะได้ optimal emission tax เท่ากับ  $\tau(t) = \frac{-\lambda(t)}{U_c(c, P)}$  โดยที่  $\lambda(t)$  คือ shadow cost of pollution stock ดังนั้น การประมาณค่าความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่รวมมลพิษในปัจจุบันการผลิต หรือ Solow residual หรือ Total factor productivity growth (TFP) ใหม่เป็นดังสมการ

$$\hat{g}_z = \frac{\dot{Y}}{Y} - s_K \left(\frac{\dot{K}}{K}\right) - s_L \left(\frac{\dot{L}}{L}\right) - s_Z \left(\frac{\dot{Z}}{Z}\right) \quad (22)$$

โดยที่  $s_Z$  = share of optimal environmental taxes in total output

สมการข้างต้น จะได้ว่าระบบเศรษฐกิจถูกหักด้วยมลพิษที่เพิ่มขึ้นจากการผลิตผลผลิตมากขึ้น ความเสียหายที่เพิ่มขึ้นนี้เท่ากับ  $-\lambda/q$  โดยที่  $q$  = อัตราประโยชน์ส่วนเพิ่ม (marginal utility) ที่ตระหนักจากการผลิตที่ทำให้

เกิดการสะสมของมลพิษ สมการข้างบนนี้จะใช้ในการประมาณค่าความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความเสียหายของมลพิษ อย่างไรก็ตาม ถ้าระบบเศรษฐกิจไม่มีนโยบายในการลดปริมาณมลพิษหรือนโยบายไม่เหมาะสม (no optimal environmental policy) นั่นคือ อัตราภาษีมลพิษน้อยกว่าอัตราภาษีที่เหมาะสม หรือ  $0 \leq \tilde{\tau} < \tau$  จะทำให้การประมาณค่าผลิตภาพการผลิตรวม (TFP) สูงกว่าค่าที่เหมาะสม ซึ่งเขียนสมการได้เป็น

$$\tilde{g}_Z = \frac{\dot{Y}}{Y} - \tilde{s}_K \left( \frac{\dot{K}}{K} \right) - \tilde{s}_L \left( \frac{\dot{L}}{L} \right) - \tilde{s}_Z \left( \frac{\dot{Z}}{Z} \right), \quad (23)$$

โดยที่  $\tilde{g}_Z > \hat{g}_Z$  และ  $\tilde{s}_Z$  = share of environmental taxes actually paid in total output

ส่วนต่างของ TFP ของกรณีมีนโยบายเหมาะสม (optimal environmental policy) กับกรณีมีนโยบายไม่เหมาะสม (no-optimal environmental policy) เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$\hat{g}_Z - \tilde{g}_Z = -(s_K - \tilde{s}_K) \left( \frac{\dot{K}}{K} \right) - (s_L - \tilde{s}_L) \left( \frac{\dot{L}}{L} \right) - (s_Z - \tilde{s}_Z) \left( \frac{\dot{Z}}{Z} \right) \quad (24)$$

โดยสรุปได้ว่านโยบายสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม จะทำให้การประมาณค่าผลิตภาพการผลิตรวม (TFP) เบี่ยงเบนไปจากผลิตภาพการผลิตรวมค่าจริง โดยการศึกษาเชิงประจักษ์จะทำการประมาณค่าสมการ (23) ส่วน residual จริง  $\hat{g}_Z$  จะได้จาก intercept ของ regression และค่า coefficient ของอัตราการเจริญเติบโตของปัจจัยการผลิตแสดงถึงการเบี่ยงเบนของสัดส่วนการใช้ส่วนผสมของปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม (optimal shares) จากสัดส่วนการใช้ส่วนผสมของปัจจัยการผลิตที่เกิดขึ้นจริง (actual shares) ดังนั้น ในการประมาณค่าสัดส่วนของมลพิษในปัจจัยการผลิต (pollution share) จะใช้การประมาณค่าโดยวิธีทางเศรษฐมิติ ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีในการหา อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดจากวิธีนี้คือ ตัวแปรทั้งทางซ้ายและขวามืออาจมีความสัมพันธ์ในทั้งสองทิศทาง (Barro (1999))

### 3. ผลการศึกษาเชิงประจักษ์ความสัมพันธ์ของมลพิษต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ

ศึกษาสัมพันธระหว่างมลพิษที่เป็นหนึ่งในปัจจัยการผลิต (pollution share of input) ต่อผลผลิต และศึกษาความสัมพันธ์ของการเติบโตของมลพิษ (pollution share of input growth) ต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว (growth accounting) โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ ประเทศไทย กลุ่มประเทศอาเซียน (AEC) ยกเว้นประเทศเมียนมาร์ และกลุ่มประเทศ OECD โดยศึกษาช่วงปี 1990-2008

#### 3.1 กรณีศึกษาประเทศไทย

##### 3.1.1 ทดสอบสัดส่วนของมลพิษในปัจจัยการผลิต

ตัวแปรที่ใช้ศึกษา Gross domestic product, gross fixed capital formation ซึ่งทั้งสองตัวแปรราคาคงที่ปี 2000 และ labor force ส่วนมลพิษใช้ CO<sub>2</sub> emission หน่วยเป็นตันโดยประมาณการ factor shares of output และ factor shares of output growth และประมาณการโดยวิธี OLS ผลที่ได้แสดงดังสมการ

$$LGDP_t = 0.854304 + 0.5345102^{***}LCO2_t + 0.1545718^{***}LGFC_t + 0.8299894^{***}LLF_t \quad (25)$$

$$(2.782384) \quad (.0373375) \quad (.0249931) \quad (.1661772)$$

$$R^2=0.9896 \quad \text{adj } R^2=0.09876 \quad D.W.= 1.039365$$

ค่าในวงเล็บคือ standard error และ \*\*\* หมายถึง มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบพบปัญหา serial correlation ทำให้ต้องใช้ Cochrane-Orcutt regression เพื่อแก้ไขปัญหา serial correlation ได้สมการดังนี้

$$LGDP_t = 1.088951 + 0.5259121^{***}LCO2_t + 0.1349211^{***}LGFC_t + 0.8502332^{***}LLF_t \quad (26)$$

$$(4.277772) \quad (.0361544) \quad (.0274444) \quad (.2548994)$$

$$R^2=0.9999 \text{ D.W. (transformed)}= 1.384421$$

ค่าในวงเล็บคือ standard error และ \*\*\* หมายถึง มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

จากสมการจะเห็นว่าถ้านำมลพิษมาอยู่ในฟังก์ชันการผลิตจะได้ว่าผลรวมของ pollution share of output และ capital share of output เท่ากับ 0.6618 ขณะที่ labor share of output เท่ากับ 0.8502 เมื่อเปรียบเทียบกับการประมาณการของสภาพพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ช่วงปี 1993-2002 มีค่า capital share of output เท่ากับ 0.64 และ labor share เท่ากับ 0.36 และ Chuenchoksan and Nakornthab (2008) ประมาณการค่า capital shares ในช่วงปี 1997-1999 เท่ากับ 0.43 และ labor share เท่ากับ 0.62 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับทุกประเทศในสหประชาชาติ ช่วงปี 1990-1992 มีค่า labor share เท่ากับ 0.472 และในกรณีที่รวมการทำงานด้วยตัวเอง (self-employed) จะมีค่าเท่ากับ 0.654 (Gollin (2002)) และจากผลการศึกษาเมื่อรวมมลพิษหรือทรัพยากรใช้ในการผลิตที่ก่อให้เกิดมลพิษจะพบว่าสัดส่วนของปัจจัยการผลิตที่ก่อให้เกิดมลพิษคิดเป็น 0.53 ของการผลิตทั้งหมด

### 3.1.2 ประมาณค่า factor shares of output growth หรือ growth accounting

โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient) ของอัตราการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการผลิตคือ ทุน แรงงาน และปริมาณ CO<sub>2</sub> ผลการประมาณค่าเป็นดังสมการ

$$DLGDP_t = 0.0386767 + 0.1340396*DLCO2_t + 0.219716^{***}DLGFC_t - 0.4646439^{**}DLLL_t \quad (27)$$

$$(.0053851) \quad (.0630449) \quad (.0240174) \quad (.2169641)$$

$$R^2=0.9544 D.W.= 2.152201$$

ค่าในวงเล็บคือ standard error และ \* หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.1 \*\*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

และทดสอบ Autocorrelation โดยวิธี Durbin's alternative test for autocorrelation และ Breusch-Godfrey LM test for autocorrelation มีค่า chi-squares เท่ากับ 0.475 และ 0.634 ตามลำดับ ซึ่งค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 3.84 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานไม่มี autocorrelation ได้ ซึ่งเมื่อพิจารณา factor shares to output growth จะพบว่าปริมาณ CO<sub>2</sub> และทุนมีผลต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (percent contribution to total growth) เท่ากับ 13.40 % และ 21.97% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามแรงงานกลับส่งผลตรงกันข้ามทำให้การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจลดลง 46.46% ส่วนอัตราการเติบโตของผลิตภาพการผลิตรวม (TFP growth) เท่ากับ 3.86% เปรียบเทียบงานศึกษาของสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติระหว่างปี 1980-2002, Sarel (1997), Tinakorn and Sussangkarn(1998), Bosworth and Collins(2003), Warr(2007) และ Chuenchoksan and Nakornthab (2008) พบว่าผลกระทบของทุนต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจลดลงเรื่อยๆ ขณะที่ผลิตภาพการผลิตรวมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (contribution of TFP to real output growth) มีความแตกต่างกันมากดังแสดงในตารางที่ 1

ผลจากการศึกษาสัดส่วนของมลพิษต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (pollution shares to output growth) จะสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (share of optimal environmental taxes,  $\hat{\tau}_z$ ) และจากความสัมพันธ์ระหว่าง shadow cost of pollution shares ( $\lambda$ ) และอรรถประโยชน์ส่วนเพิ่มจากการผลิตที่ก่อให้เกิดการสะสมของมลพิษ ( $q$ ) จะทำให้สามารถประมาณการค่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes) ได้เท่ากับ  $\tau = -\lambda / q$

เขียนความสัมพันธ์ได้คือ  $\frac{\tau Z}{Y} = s_z$  และจากการประมาณค่าจะได้  $\frac{\tilde{\tau} Z}{Y} = \tilde{s}_z$  และประมาณค่า

ภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes,  $\tilde{\tau}$ ) เท่ากับ 85,198.23 ดอลลาร์สหรัฐ ณ ราคา  
คงที่ ปี 2000 หรือเท่ากับ 0.00137 ดอลลาร์สหรัฐต่อประชากร ณ ราคาคงที่ ปี 2000 ซึ่งจากการประมาณ  
ค่าตั้งแต่ปี 1990-2008 พบว่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes) มีแนวโน้มลดลง  
เนื่องจากปริมาณการปล่อย CO<sub>2</sub> ของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 1 Thailand Aggregate Growth Accounting: Percent contribution to total growth (%)

	ช่วงเวลา	Contribution of capital	Contribution of labor	Contribution of TFP
สภาพัฒน์ฯ	1980-2002	85.9	11.1	2.5
Tinakorn and Sussangkarn(1998)	1980-1995	61.7	22.2	15.6
Sarel (1997)	1991-1996	50.0	15.0	35.0
Warr (2007)	1980-2002	70.6	19.3	10.0
Bosworth and Collins(2003)	1999-2004	52.0	30.0	16.0
Chuenchoksan and Nakornthab (2008)	2000-2007	15.0	32.0	53.0
งานศึกษานี้	1990-2008	35.37	-36.4	3.8

### 3.2 กรณีศึกษากลุ่มประเทศอาเซียน (AEC)

#### 3.2.1 ทดสอบสัดส่วนของมลพิษในปัจจัยการผลิต

กลุ่มประเทศอาเซียน (AEC) จะไม่รวมประเทศเมียนมาร์เนื่องจากข้อมูลไม่ครบถ้วน กรณีแรกทำการประมาณค่า factor shares of output โดยใช้แบบจำลอง Panel data analysis ตัวแปรที่ใช้อยู่ในรูป logarithm โดยจะประมาณการแบบจำลอง Pooled OLS เปรียบเทียบกับวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่มีตัวแปรหุ่น (Least squared dummy variables: LSDV) โดยใช้การทดสอบ LM test หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบ Fixed Effects model กับ Random Effects model และทดสอบแบบจำลองที่เหมาะสมโดยใช้ Hausman test ผลที่ได้เปรียบเทียบการประมาณค่าแบ่งตามลักษณะของแบบจำลองคือ Pooled OLS, LSDV, Fixed Effects และ Random Effects model ดังแสดงในตารางที่ 2

เมื่อทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองระหว่าง Pooled OLS กับ LSDV ได้ค่า F-statistics เท่ากับ 337.56 และค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 1.94 สรุปได้ว่าแบบจำลอง LSDV เหมาะสมกว่า Pooled OLS นั่นคือ แบบจำลองที่แสดงลักษณะความแตกต่างของกลุ่มประเทศเหมาะสมกว่า งานศึกษานี้จะวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองที่เหมาะสมระหว่าง Fixed Effects model และ Random Effects model

ตารางที่ 2:เปรียบเทียบแบบจำลอง factor shares of output ของกลุ่มประเทศอาเซียน (AEC)

ตัวแปรตาม	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง
lnGDP	Pooled OLS <sup>a</sup>	LSDV/Areg	Fixed Effects <sup>a</sup>	Random Effects <sup>a</sup>
Constant	16.74788*** (.6692207)	-8.631206*** (1.179121)	-8.631206* (4.037981)	3.722735 (5.241581)
ln CO2	.8425035*** (.0233497)	.1207324*** (.0230021)	.1207324 (.0659947)	.2997552*** (.1007798)
ln GFC	.0238888 (.0155318)	-.0060517 (.0235314)	-.0060517 (.0615001)	.0760336 (.0480433)
ln LF	-.1096149*** (.0404208)	1.948677*** (.0899787)	1.948677*** (.2935181)	.9791869*** (.3511784)
observation	143	143	143	143
R <sup>2</sup>	0.9521	0.9978	0.9271 <sup>b</sup>	0.8697 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บคือ standard error, <sup>a</sup>Robust standard error, <sup>b</sup>R-square within,

\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.1 \*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 \*\*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

การทดสอบแบบจำลอง Fixed Effects ว่ามีความไม่เป็นอิสระต่อกันระหว่างข้อมูลของแต่ละประเทศหรือไม่ (cross-sectional dependence) โดยวิธี Pesaran CD test ได้ค่า Pesaran's test of cross sectional independence เท่ากับ 4.632 คิดเป็นค่า P-value เท่ากับ 0.00 สรุปได้ว่าเกิดปัญหาความไม่เป็นอิสระต่อกันในกลุ่มประเทศ (cross-sectional dependence) และเมื่อทดสอบ Modified Wald test for Groupwise heteroskedasticity ได้ค่า chi-square(9)= 742.44 โดยค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 16.92 สรุปได้ว่าเกิดปัญหา Groupwise Heteroskedasticity ในแบบจำลอง Fixed Effects

ดังนั้น จึงได้ประมาณค่าแบบจำลอง Random effects และทดสอบ Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects ได้ chi-square(1)= 319.91 โดยค่า critical value ณ ระดับ

นัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 3.84 สรุปได้ว่า แบบจำลอง Random Effects เหมาะสมกว่า Pooled OLS อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการทดสอบ Hausman test พบปัญหาคือ ค่าสถิติค่า chi-square น้อยกว่าศูนย์หรือแบบจำลองไม่ได้เป็นไปตามสมมติฐานของ Hausman test คือ asymptotic assumption อย่างไรก็ตามจากปัญหา Groupwise Heteroskedasticity จึงควรพิจารณาแบบจำลอง Random Effects ที่ error มีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ

และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของ factor shares of output พบว่าผลรวมของสัดส่วนมลพิษในปัจจุบัน การผลิต (pollution shares of output) และสัดส่วนของทุน (capital shares of output) เท่ากับ 0.3757 โดยมีข้อสมมติว่าทรัพยากรที่ก่อให้เกิดมลพิษเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยทุน

### 3.2.2 ประเมินค่า factor shares of output growth หรือ growth accounting

ทำการประเมินค่า factor shares of output growth หรือ growth accounting ซึ่งจะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient) ของอัตราการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการผลิตคือ ทุน แรงงาน และปริมาณ CO<sub>2</sub> ผลการประเมินค่าเป็นดังตาราง 3 แล้วทำการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองระหว่าง Pooled OLS กับ LSDV ได้ค่า F-statistics เท่ากับ 4.37 และค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 1.94 สรุปได้ว่าแบบจำลอง LSDV เหมาะสมกว่า Pooled OLS ต่อมาจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองที่เหมาะสมระหว่าง Fixed Effects model และ Random Effects model

การทดสอบแบบจำลอง Fixed Effects ว่ามีความไม่เป็นอิสระต่อกันระหว่างข้อมูลของแต่ละประเทศหรือไม่ (cross-sectional dependence) โดยวิธี Pesaran CD test ได้ค่า Pesaran's test of cross sectional independence เท่ากับ 8.435 คิดเป็นค่า P-value เท่ากับ 0.00 จึงสรุปได้ว่าเกิดปัญหาความไม่เป็นอิสระต่อกันในกลุ่มประเทศและเมื่อทดสอบ Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity ได้ค่า

chi-square(9)= 713.45 โดยค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 16.92 สรุปได้ว่าเกิดปัญหา Groupwise Heteroskedasticity ในแบบจำลอง Fixed Effects

ดังนั้น จึงได้ประมาณค่าแบบจำลอง Random effects และทดสอบ Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects ได้ค่า chi-square(1) = 10.55 โดยค่า critical value ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 3.84 เปรียบเทียบกับแบบจำลอง Pooled OLS สรุปได้ว่า Random effects model เหมาะสมกว่าและเมื่อทดสอบระหว่างแบบจำลอง Fixed effects และ Random effects โดยวิธี Hausman test ได้ค่า chi-square(3)= 6.36 โดยค่า critical value ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 7.81 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานว่า ความแตกต่างของสัมประสิทธิ์ไม่เป็น systematic สรุปได้ว่าแบบจำลอง Random Effects เหมาะสมกว่า

และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของ factor shares of output growth พบว่า factor shares of output growth ทุกปัจจัยการผลิตไม่มีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตในระยะยาว แต่เมื่อพิจารณาเครื่องหมาย พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณ CO<sub>2</sub> ส่งผลบวกต่ออัตราการเจริญเติบโตในระยะยาว (growth accounting) 4.81 % ขณะที่อัตราการเจริญเติบโตของผลิตภาพการผลิตรวม (TFP growth) มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตในระยะยาว เท่ากับ 5.31%

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบ contribution of factor shares to output growth ของกลุ่มประเทศอาเซียน (AEC)

ตัวแปรตาม	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง
dlnGDP	Pooled OLS <sup>a</sup>	LSDV/Areg	Fixed Effects <sup>a</sup>	Random Effects <sup>a</sup>
Constant	.0496761*** (.0074755)	.0570947*** (.0064092)	.0570947*** (.0044825)	.0531654*** (.0073236)
dln CO2	.0551144 (.0344052)	.0488501** (.0196484)	.0488501 (.0423611)	.0481523 (.0401691)
dln GFC	-.0202258 (.0208789)	-.004169 (.0179743)	-.004169 (.0214069)	-.0081243 (.0214342)
dln LF	.1218015 (.2298662)	-.2098759 (.2367124)	-.2098759 (.1754688)	-.1406119 (.1784519)
observation	134	134	134	134
R <sup>2</sup>	0.0634	0.2732	0.0532 <sup>b</sup>	0.0521 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บคือ standard error, <sup>a</sup>Robust standard error, <sup>b</sup>R-square within,

\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.1 \*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 \*\*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

### 3.3 กรณีศึกษากลุ่มประเทศ OECD

#### 3.3.1 ทดสอบสัดส่วนของมลพิษในปัจจุบันการผลิต

โดยทำการประมาณค่า factor shares of output โดยใช้การวิเคราะห์ Panel data analysis ตัวแปรที่ใช้อยู่ในรูป log โดยจะประมาณการแบบจำลอง Pooled OLS เปรียบเทียบกับวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่มีตัวแปรหุ่น (Least squared dummy variables: LSDV) โดยใช้การทดสอบ LM test หลังจากนั้นจะเปรียบเทียบ Fixed Effects model กับ Random Effects model และทดสอบแบบจำลองที่เหมาะสมโดยใช้ Hausman test โดย

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบการประมาณค่าแบ่งตามลักษณะของแบบจำลองคือ Pooled OLS, LSDV, Fixed Effects และ Random Effects model

เมื่อทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองระหว่าง Pooled OLS กับ LSDV ได้ค่า F-statistics เท่ากับ 177.53 และค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 1.94 สรุปได้ว่าแบบจำลอง LSDV เหมาะสมกว่า Pooled OLS นั่นคือ แบบจำลองที่แสดงลักษณะความแตกต่างของกลุ่มประเทศเหมาะสมกว่า โดยจะวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองที่เหมาะสมระหว่าง Fixed Effects model และ Random Effects model ต่อไป

ต่อมาทดสอบความไม่เป็นอิสระต่อกันระหว่างข้อมูลของแต่ละประเทศ (cross-sectional dependence) โดยวิธี Pesaran CD test ได้ค่า Pesaran's test of cross sectional independence เท่ากับ 12.425 คิดเป็นค่า P-value เท่ากับ 0.00 สรุปได้ว่าเกิดปัญหาความไม่เป็นอิสระต่อกันในกลุ่มประเทศ และเมื่อทดสอบ Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity ได้ค่า chi-square(34) = 3411.24 โดยค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 43.77 สรุปได้ว่าเกิดปัญหา Groupwise Heteroskedasticity ในแบบจำลอง Fixed Effects ดังนั้นจึงได้ประมาณค่าแบบจำลอง Random effects และทดสอบ Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects ได้ค่า chi-square(1) = 1982.61 โดยค่า critical value ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 3.84 เปรียบเทียบกับแบบจำลอง Pooled OLS สรุปได้ว่า Random effects model เหมาะสมกว่า จากนั้นทดสอบ Hausman test พบว่ามีเครื่องหมายเป็นลบ จึงไม่สามารถทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง Fixed Effects และ Random Effects อย่างไรก็ตาม ปัญหา Groupwise Heteroskedasticity แสดงถึง errors ที่ต่างกันในแต่ละประเทศ ซึ่งเหมาะสมกับแบบจำลอง Random Effects

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของ factor shares of output พบว่าผลรวมของ pollution shares of output และ capital shares of output เท่ากับ 0.6163 โดยมีข้อสมมติว่าทรัพยากรที่ก่อให้เกิดมลพิษเป็นส่วนหนึ่งของปัจจัยทุน อย่างไรก็ตาม pollution shares ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติและ labor shares of output เท่ากับ 0.4021 ผลรวมของ factor shares มีค่ามากกว่าหนึ่ง อาจถึงฟังก์ชันการผลิตเป็นลักษณะ increasing return to scale

**ตารางที่ 4: เปรียบเทียบแบบจำลอง factor shares of output ของกลุ่มประเทศ OECD**

ตัวแปรตาม	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง
lnGDP	Pooled OLS <sup>a</sup>	LSDV/Areg	Fixed Effects <sup>a</sup>	Random Effects <sup>a</sup>
Constant	1.335916*** (.2080643)	2.968834*** (.6123606)	2.968834 (1.850033)	5.202799*** (.7083128)
ln CO2	-.0056931 (.0193769)	.0182587 (.0266834)	.0182587 (.0864451)	.0442741 (.0767599)
ln GFC	.9960108*** (.0134782)	.5089148*** (.0135941)	.5089148*** (.0364299)	.5720803 *** (.0275625)
ln LF	.0232607 (.0149127)	.6630738 *** (.0561085)	.6630738 *** (.2935181)	.402185*** (.088764)
observation	619	619	619	619
R <sup>2</sup>	0.9867	0.9988	0.8914 <sup>b</sup>	0.8914 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บคือ standard error, <sup>a</sup>Robust standard error, <sup>b</sup> R-square within,

\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.1 \*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 \*\*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

### 3.3.2 ประมาณค่า factor shares of output growth หรือ growth accounting

ประมาณค่า factor shares of output growth หรือ growth accounting ซึ่งจะพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient) ของอัตราการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยการผลิตคือ ทุน แรงงาน และปริมาณ CO<sub>2</sub> ผลการประมาณค่าเป็นดังตาราง 5 แล้วทำการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองระหว่าง Pooled OLS กับ LSDV ได้ค่า F-statistics เท่ากับ 4.276 และค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 1.94 สรุปได้ว่าแบบจำลอง LSDV เหมาะสมกว่า Pooled OLS ต่อมาจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองที่เหมาะสมระหว่าง Fixed Effects model และ Random Effects model

ตารางที่ 5: เปรียบเทียบ contribution of factor shares to output growth ของกลุ่มประเทศ OECD

ตัวแปรตาม	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง	แบบจำลอง
dlnGDP	Pooled OLS <sup>a</sup>	LSDV/Areg	Fixed Effects <sup>a</sup>	Random Effects <sup>a</sup>
Constant	.0183124*** (.0010614)	.0194828*** (.0008867)	.0194828*** (.0011168)	.0193215 *** (.0016148)
dln CO2	.0339663*** (.0120397)	.0291457*** (.0109208)	.0291457** (.0115769)	.0305296** (.0122509)
dln GFC	.2436805*** (.0122291)	.2306362*** (.0086018)	.2306362*** (.0213417)	.2347752 *** (.0212687)
dln LF	.1829644*** (.0595749)	.1187915** (.0544922)	.1187915 (.0769597)	.1443448* (.0741937)
observation	585	585	585	585
R <sup>2</sup>	0.5845	.6697	.5862 <sup>b</sup>	0.5860 <sup>b</sup>

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บคือ standard error, <sup>a</sup> Robust standard error, <sup>b</sup> R-square within,

\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.1 \*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 \*\*\*หมายถึงมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

การทดสอบแบบจำลอง Fixed Effects ว่ามีความไม่เป็นอิสระต่อกันระหว่างข้อมูลของแต่ละประเทศหรือไม่ (cross-sectional dependence) โดยวิธี Pesaran CD test ได้ค่า Pesaran's test of cross sectional independence เท่ากับ 20.497 คิดเป็นค่า P-value เท่ากับ 0.00 สรุปได้ว่าเกิดปัญหาความไม่เป็นอิสระต่อกันในกลุ่มประเทศ (no cross-sectional dependence) และเมื่อทดสอบ Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity ได้ค่า chi-square(34)= 2229.90 โดยค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 43.77 สรุปได้ว่าเกิดปัญหา Groupwise Heteroskedasticity ในแบบจำลอง Fixed Effects ดังนั้น จึงได้ประมาณค่าแบบจำลอง Random effects และทดสอบ Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects เพื่อเปรียบเทียบ Random effects model กับ Pooled OLS ได้ค่า chi-square(1) เท่ากับ 96.34 โดยค่า critical value ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 3.84 จึงสรุปได้ว่า Random effects model เหมาะสมกว่า และเมื่อทดสอบระหว่างแบบจำลอง Fixed effects และ Random effects โดยวิธี Hausman test ได้ค่า chi-square (3) เท่ากับ 29.20 โดยค่า critical value ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 เท่ากับ 7.81 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักคือ ส่วนต่างของค่าสัมประสิทธิ์ไม่ใช่ systematic (difference in coefficients not systematic) หรือแบบจำลอง Fixed effects มีความเหมาะสมกว่าโดยใช้ robust standard error ในการประมาณค่า ผลที่ได้แสดงดังตาราง 5

จากแบบจำลอง Random Effects เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของ factor shares of output growth พบว่าทุกปัจจัยการผลิตมีนัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตในระยะยาว ปริมาณ CO<sub>2</sub> ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตในระยะยาว (growth accounting) เท่ากับ 2.91% ส่วนทุนและแรงงานส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตในระยะยาวเท่ากับ 23.06% และ 11.87% ตามลำดับ ส่วน TFP growth เท่ากับ 1.94%

จากค่าสัมประสิทธิ์ของสัดส่วนของภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (share of optimal environmental taxes,  $s_z$ ) และความสัมพันธ์ระหว่าง shadow cost of pollution shares ( $\lambda$ ) และอรรถประโยชน์ส่วนเพิ่มจากการผลิตที่ก่อให้เกิดการสะสมของมลพิษ ( $q$ ) จะทำให้สามารถประมาณการค่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes) ได้เท่ากับ  $\tau = -\lambda/q$  เขียนความสัมพันธ์ได้คือ  $\tau Z/Y = s_z$  และจากการประมาณค่าจะได้  $\tilde{\tau} Z/Y = \tilde{s}_z$  และประมาณการค่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes,  $\tilde{\tau}$ ) โดยมีหน่วยดอลลาร์สหรัฐ ณ ราคาคงที่ปี 2000 ระหว่างปี 1990-2008 ของแต่ละประเทศในกลุ่มประเทศ OECD ดังตาราง 6

ตารางที่ 6: ประมาณค่า optimal environmental taxes เฉลี่ยของกลุ่มประเทศ OECD

ประเทศ	Optimal tax (constant 2000US\$)	Optimal tax per capita (constant 2000US\$)	ประเทศ	Optimal tax (constant 2000US\$)	Optimal tax per capita (constant 2000US\$)
ออสเตรเลีย	34,893.58	0.00183	ญี่ปุ่น	115,438.96	0.00091
ออสเตรีย	82,911.57	0.01032	เกาหลีใต้	36,999.95	0.00080
เบลเยียม	58,479.70	0.00568	ลักเซมเบิร์ก	58,025.48	0.13319
แคนาดา	39,665.21	0.00130	เม็กซิโก	41,144.38	0.00042
ชิลี	39,664.91	0.00263	เนเธอร์แลนด์	61,284.19	0.00387
สาธารณรัฐเชค	14,542.17	0.00141	นิวซีแลนด์	48,929.43	0.01274
เดนมาร์ก	83,629.16	0.01569	นอร์เวย์	124,195.85	0.02780
เอสโตเนีย	11,022.05	0.00809	โปแลนด์	14,701.89	0.00038
ฟินแลนด์	58,859.59	0.01139	โปรตุเกส	56,017.80	0.00547
ฝรั่งเศส	96,535.40	0.00158	สโลวาเกีย	22,595.67	0.00420
เยอรมันนี	62,787.18	0.00077	สโลวาเนีย	38,934.25	0.01950
กรีซ	41,811.54	0.00387	สเปน	57,157.32	0.00140
ฮังการี	23,479.84	0.00230	สวีเดน	132,300.98	0.01486
ไอซ์แลนด์	117,494.72	0.41652	สวิสเซอร์แลนด์	175,074.77	0.02434
ไอร์แลนด์	79,747.97	0.01942	ตุรกี	37,421.15	0.00060
อิสราเอล	64,394.24	0.01054	สหราชอาณาจักร	75,286.83	0.00127
อิตาลี	70,258.52	0.00122	สหรัฐอเมริกา	50,677.20	0.00018

#### 4. สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาเชิงประจักษ์ผลกระทบของคุณภาพสิ่งแวดล้อมต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว (growth accounting) โดยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด ศึกษา 3 กรณีคือ ประเทศไทย กลุ่มประเทศอาเซียน(AEC) และกลุ่มประเทศ OECD แบ่งออกเป็น ศึกษาสัมพันธระหว่างมลพิษที่เป็นหนึ่งในปัจจัยการผลิต (pollution share of input) ต่อผลผลิต และศึกษาความสัมพันธ์ของการเติบโตของมลพิษ (pollution share of input growth) ต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาว (growth accounting) กรณีประเทศไทย พบว่า pollution share of output เท่ากับ 0.52 และ contribution of pollution growth to output growth เท่ากับ 13.4% และประมาณค่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes,  $\tau$ ) ได้เท่ากับ 85,198.23 ดอลลาร์สหรัฐ ณ ราคาคงที่ปี 2000 หรือเท่ากับ 0.001374 ดอลลาร์สหรัฐต่อประชากร ณ ราคาคงที่ปี 2000 ซึ่งจากการประมาณค่าตั้งแต่ปี 1990-2008 ภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes) มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณการปล่อย CO<sub>2</sub> ของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง ส่วนกรณีกลุ่มประเทศอาเซียน (AEC) โดยไม่รวมประเทศเมียนมาร์ พบว่าสัดส่วนของมลพิษที่เป็นหนึ่งในปัจจัยการผลิตต่อผลผลิต (pollution share of output เท่ากับ 0.29 ขณะที่การเติบโตของมลพิษไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มประเทศ OECD พบว่า สัดส่วนของมลพิษที่เป็นหนึ่งในปัจจัยการผลิตต่อผลผลิต (pollution share of output) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติในการอธิบายผลผลิต ขณะที่การเติบโตของมลพิษต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (contribution of pollution growth to output growth) เท่ากับ 2.91% และประมาณค่าภาษีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม (optimal environmental taxes,  $\tau$ ) ได้แตกต่างกันในแต่ละประเทศ ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อย อย่างไรก็ตาม การประมาณค่าอัตราภาษีนี้เป็นการประมาณจากฟังก์ชันการผลิตที่มีปัจจัยทุนและแรงงาน

ดังนั้น อัตราภาษีสิ่งแวดล้อมจึงอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ถ้ามีการเพิ่มปัจจัยการผลิตที่สำคัญในฟังก์ชันการผลิต ได้แก่ คุณภาพของแรงงาน การศึกษาของประชากรที่แสดงถึงทุนมนุษย์ (human capital), ที่ดิน หรือ ตัวแปรมลพิษอื่นที่สำคัญ เป็นต้น นอกจากนี้ ถ้ามีการประมาณการฟังก์ชันการผลิตแยกตามภาคการผลิต และปริมาณมลพิษที่ปล่อยแยกตามภาคการผลิต จะยังทำให้ได้สัดส่วนของมลพิษต่อผลผลิต และความสัมพันธ์ของการเติบโตของมลพิษต่ออัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เพื่อใช้ในการประมาณค่าอัตราภาษีที่เหมาะสมที่จะเก็บในแต่ละภาคการผลิตได้

## บรรณานุกรม

- Acemoglu D., P.Aghion, L. Bursztyn and D. Hemous (2012), "The environment and Directed Technical Change," *American Economic Review* 102(1),131-166.
- Aghion P. and P. Howitt (1998), *Endogenous Growth Theory*, MIT Press,Cambridge,MA.
- Andreoni, J.and A.Levinson (2001), "The simple analytics of the environmental Kuznets curve," *Journal of Public Economics* 80,269-286.
- Barro, R. (1999), "Notes on growth accounting," *Journal of Economic Growth* 4,119-137.
- Barro, R. and X. Sala-i-Martin (2004), *Economic Growth*, MIT press, Cambridge, M.A.
- Bosworth, B. and S. M. Collins (2003), "The Empirics of Growth: An Update," *Brookings Papers on Economic Activity*1.
- Bovenberg, A.L. and S. Smulders (1995), "Environmental quality and pollution-augmenting technical change in a two-sector endogenous growth model," *Journal of Public Economics* 57, 369-391.
- Byrne, M. M. (1997), "Is growth a dirty word? Pollution, abatement and endogenous growth," *Journal of Development Economics* 54(2),261-284.
- Chuenchoksan, S. and D. Nakornthab (2008), "Past, present, and prospects for Thailand's growth: a labor market perspective," *Bank of Thailand discussion paperno.6*.
- Dasgupta, P.S. and G.M. Heal(1974), "The optimal depletion of exhaustible resource."In: Symposium on the Economics of Exhaustible, *Resources,Review of Economic Studies*, 3-28.
- Dasgupta, P.S. and K-G.Maler(2000), "Net national product, wealth and social well-being". *Environment and Development Economics* 5,69-93.
- Gollin, D. (2002), "Getting income shares right," *Journal of Political Economy* 110(21), 458-474.
- Greene, W. (2008), *Econometric Analysis*. Pearson Prentice Hall,Upper Saddle River,New Jersey.
- Grimaud, A. (1999), "Pollution permits and sustainable growth in a Schumpeterian model," *Journal of Environmental Economics and Management* 38, 249-266.
- Grimaud A. and L.Rouge (2003), "Non-renewable resources and growth with vertical innovations:

- optimum, equilibrium and economic policies," *Journal of Environmental Economics and Management* 45,433-453.
- Grimaud, A. and L. Rouge (2005), "Polluting non-renewable resources, innovation and growth: welfare and environmental policy," *Resource and Energy Economics* 27,109-129.
- John, A. and R. Pecchenino (1994), "An overlapping generations model of growth and the Environment," *Economic Journal* 104, 1393-1410.
- Jones, C.I. (2002), *Introduction to Economic Growth*, W.W.Norton & Company, New York.
- Prieur, F. (2009), "The environmental Kuznets curve in a world of irreversibility," *Economic Theory* 40(1),57-90.
- Sarel, M. (1997), "Growth and Productivity in ASEAN Countries," *IMF Working Papers* 97/97.
- Scholz, C.M. and G. Ziemes (1999), "Exhaustible resources, monopolistic competition and endogenous growth," *Environmental and Resource Economics* 13, 169-185.
- Schou, P. (2000), "Polluting non-renewable resources and growth," *Environmental and Resource Economics* 16,211-227.
- Smulders, S. and R. Gradus (1996), "Pollution abatement and long-term growth," *European Journal of Political Economy* 12, 505-532.
- Solow, R. (1974), "The economics of resources or the resources of economics," *American Economic Review* 64,1-14.
- Stern, D. I. (2004), "The rise and fall of the environmental Kuznets curve," *World Development* 32(8), 1419-1439.
- Tinakorn, P. and C. Sussangkarn (1996), "Total Factor Productivity Growth in Thailand: 1980-95," research reports submitted to the National Economic and Social Development Board.
- Tinakorn, P. and C. Sussangkarn (1998), "Total Factor Productivity Growth in Thailand: 1980-95," research report submitted to the National Economic and Social Development Board.
- Warr, P. (2007), "Long-term Economic Performance in Thailand," *ASEAN Economic Bulletin* 24(7),138-63.
- Weil, D.N. (2005), *Economic Growth*, Pearson Addison Wesley, New York.
- Wooldridge, J.M. (2006), *Introductory Econometrics: A modern approach*, Thomson South-Western, Mason, OH.

Xepapadeas, A. (2005), "Economic growth and the environment", In: Maler, K-G, Vincent, J.R. (Eds), Handbook of Environmental Economics, vol 3. North-Holland, Amsterdam.