

รายการอ้างอิง

- Amaral, W.,C. and Arruda, L. V. R. (1992). "CAD package for industrial process identification. "
- Journal of Process Control.*, Vol 2, No 3, 155-161.
- Andersen, H. W., Kummel, M., and Jorgensen, S.B. (1989). "Dynamics and Identification of a Binary Distillation Column." *Chem. Eng. Sci.*, Vol 44, 2571-2581.
- _____. Rasmussen, K.H., and Jorgensen, S.B. (1991). "Advances in process identification." *Proceeding Chemical Process Control IV*, Padre Island, TX; AIChE: New York, pp. 237-269.
- Å ström, K. J. and Eykhoff, P. (1971). "System Identification - A Survey." *Automatica.*, vol 7, 123-162.
- _____. and Bohlin, T. "Numerical identification of linear dynamical systems from normal operating records." *IFAC Symposium on Self-adaptive Systems.*, Teddington, U.K.
- _____. Bellman, R. (1970) "On Structural Identifiability." *Mathematical Biosciences*, Vol. 7, pp. 329-339.
- Bailey, J.K. (1995) "Process identification using finite impulse response models." *J. Proc. Cont.*, Vol. 5, No. 2, pp. 77-84.

- Balakrishnan, A. V. and Peterka, V. (1969) "Identification in Automatic Control Systems." *Automatica*, Vol. 5, pp 817-829.
- Banerjee P., Shah S.L., Niu S. and Fisher D.G. (1995) " Identification of dynamic models for the shell benchmark problem." *J Proc. Cont*, Vol. 5, No.2, pp. 85-98.
- Bohlin, T. (1970) "Information Pattern for Linear Discrete-Time Models with Stochastic Coefficient." *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-5, pp. 104-106.
- Brabrand, H. and Jorgensen, S.B. (1991). "Adaptive control with multi output ARX models." *IFAC Advanced Control of Chemical Processes*, Toulouse, France, pp. 77-82
- Correa, G.O. and Glover, K. (1984). "Pseudo-canonical Forms, Identifiable Parametisation and Simple Parameter Estimation for Linear Multivariable Systems Input-Output Models." *Automatica.*, Vol 20, 429-422.
- Eykhoff, P. (1974). *System Identification*. Wiley, New York.
- Graupe, D. (1972). *Identification of Systems.*, New York .
- Gentil, S., Barraud, A.Y. and Szafnicki, K. (1990) "SEXI : An Expert Identification Package." *Automatica*, Vol. 26, No 4., pp 803-809.
- Linkens, D. A. (1993). *CAD for Control system.*, Marcel Dekker, Inc., New York .
- Larsson, J. E. and Persson, P. (1991) "An Expert System Interface for an Identification Program." *Automatica*, Vol. 27, No. 6, pp 919-930.

- Liang, G., Wilkes, M. D., and Cadzow, J. A.. (1993). "ARMA Model Order Estimation Based on the Eigenvalues of Covariance Matrix." *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 41, No. 10, pp. 3003-3009
- Gevers, M. and L. Ljung (1985). "Benefits of Feedback in experiment Design." *IFAC Identification and System Parameter Estimation*, York, UK, 909-914.
- Guidorzi, R. P.; Losito, M.; and Muratori, T. (1982). "The range error test in the structural identification of linear multivariable systems." *IEEE Trans. Autom. Control*, AC-17, 104
- Hansen, F. G., Franklin and Koust, R. (1989). "Closed-Loop Identification via the Fractional Representation: Experiment Design." *American Control Conference*, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 1422-1427.
- Huang, H., Chen, C., and Chao, Y. (1988). "Identification of MIMO continuous-time models by indirect methods," *Int. J. Systems Sci.*, Vol. 19, No. 7, 1281-1297.
- Landau, I. D. (1990). *System Identification and Control Design*, Prentice-Hall, Inc..
- Ljung, L. (1987). *System Identification, Theory for the User*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- _____. "Issues in system identification," *IEEE Control Systems Magazine*, 11, 25-28.

_____. "Identification of Linear Systems." *CAD for Control Systems*, Marcel Dekker, Inc., pp. 147-165.

McFarlane, R.C. and Rivera, D. E. (1992). "Identification of Distillation Systems." *Practical Distillation Control*, Van Nodtrand Reinhold, New York.

Moler, C., Little, J., and Bongert, S. (1991). *MATLAB User's Guide.*, The Math Works, Inc., Concord, MA.

Nagy, P. A. J. and Ljung, L.(1989). "An intelligent tool for system identification." *In Proceeding of the 1989 IEEE Control System Society Workshop on Computer-Aided Control System Design (CACSD).*, pages 58-63, Hyatt Regency, Tampa, Florida.

_____, and Ljung, L. (1991). "Computer-Aided Model Structure Selection." *9th IFAC/IFORS Symposium*, Budapest, Hungary.

Rasmussen, K. H., Nielsen, C.S., and Jorgensen, B.S. (1990). "Identification of Distillation Process Dynamics Comparing Process Knowledge and Black box Based Approaches." *American Control Conference.*, 3116-3121.

Söderström, T. and Stotica, P. (1989). *System Identification.*, Prentice Hall, Hemel Hempstead, U.K.

Tian, X., Li, B., and Zhong, Y. (1988). "The Automating Identification System with Intelligence." *IFAC Identification and System Parameter Estimation*, Beijing, PRC.

Wahlberg, B. "On model reduction in system identification." *Proceeding American Control Conference*.

Wittenmark, B. and Olsson, P. (1988). "Identification Based on Data with Sampling Delays."

Automatica, Vol. 24, No. 2 , pp. 271-273



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวข้องเนื่องในการระบุหากระบวนการ

ก.1 ความรู้ทางสถิติเบื้องต้นที่ใช้ในการระบุหากระบวนการ

จากที่กล่าวถึงในหัวข้อ 3.3 เกี่ยวกับลักษณะปัญหาของการระบุหากระบวนการ สิ่งที่ต้องทราบคือ คุณสมบัติทางสถิติ และความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากการทดลอง ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะพฤติกรรมของข้อมูล คุณสมบัติทางสถิติที่สำคัญคือ

- ค่าเฉลี่ย (mean)

$$\bar{y}(\text{mean}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (\text{ก.1})$$

y_i = ค่าของข้อมูลที่เก็บตัวอย่าง

N = จำนวนข้อมูลในการเก็บตัวอย่าง

- แวเรียนซ์ (variance)

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (\text{ก.2})$$

- โคแวนเรียนซ์ (covariance)

$$r_u(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y(i+\tau) - \bar{y}][y(i) - \bar{y}]^T \quad (\text{ก.3})$$

ในการเขียนสมการของค่าทางสถิติในการระบุหากระบวนการนิยามเขียนในรูปของ
โอเปอเรเตอร์การคาดคะเน (expectation operator, E) ซึ่งใช้

$$E = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \quad (\text{ก.4})$$

ก.2 การคำนวณแบบเลื่อนไป 1 ขั้น (shift-operator calculus)

การคำนวณแบบสมการอนุพันธ์ (Differential-operator calculus) เป็นวิธีการที่เหมาะสม
ที่จะใช้ในสมการเชิงเส้นตรงที่มีค่าพารามิเตอร์เป็นค่าคงที่ แต่การใช้การคำนวณแบบเลื่อนไป 1
ขั้น จะง่ายกว่าการคำนวณแบบสมการอนุพันธ์เนื่องจากสมการอนุพันธ์ไม่มีค่าขอบเขต

ในการอธิบายปัญหาที่เกี่ยวกับสมการคุณลักษณะของระบบ ตัวอย่างเช่น ความเสถียร
และค่าอันดับของระบบ เหมาะสมสำหรับการใช้ โอเปอเรเตอร์เลื่อนไปข้างหน้า (forward-shift
operator) ในการเขียนเป็นสมการอธิบายระบบ โดยความหมายของโอเปอเรเตอร์เลื่อนไปข้างหน้า
หน้า แสดงได้ดังสมการ (ก.5) ซึ่ง q คือ โอเปอเรเตอร์

$$q^1 y(t) = y(t+1) \quad (\text{ก.5})$$

ในการอธิบายปัญหาเกี่ยวกับ ระบบที่ไม่ขึ้นกับเวลา คือ จะไม่มีข้อมูลของเอาต์พุต ถ้า
ไม่มีการป้อนอินพุตเข้าไปในกระบวนการ (causality) เหมาะสมที่จะใช้ โอเปอเรเตอร์เลื่อน
ไปข้างหลัง (backward-shift operator) ในการเขียนเป็นสมการอธิบายระบบ โดยความหมาย
โอเปอเรเตอร์เลื่อนไปข้างหลัง แสดงดังสมการ (ก.6) โดย q^{-1} คือโอเปอเรเตอร์

$$q^{-1} y(t) = y(t-1) \quad (\text{ก.6})$$

ก.3 คุณสมบัติการซ้อนทับกัน (Superposition)

คุณสมบัติบ่งชี้ว่าเป็นคุณสมบัติของแบบจำลองแบบเชิงเส้นตรง (linear system) ซึ่งอธิบายได้ด้วยคุณสมบัติ การซ้อนทับกัน 2 ข้อ คือ

ก.3.1 คุณสมบัติในการรวมกัน (additivity property)

$$T \{x_1[k] + x_2[k]\} = T \{x_1[k]\} + T \{x_2[k]\} = y_1[k] + y_2[k] \quad (\text{ก.7})$$

ก.3.2 คุณสมบัติทางด้านความสม่ำเสมอ หรือการทวีค่า (homogeneity or scaling property)

$$T \{ax[k]\} = aT\{x[k]\} = ay[k] \quad (\text{ก.8})$$

สำหรับระบบที่มีหลายอินพุตก็จะได้ว่า

$$x[k] = \sum_n a_n x_n[k] \quad (\text{ก.9})$$

$$y[k] = \sum_n a_n y_n[k] \quad (\text{ก.10})$$

โดย $y_n[k]$ คือ system response to the input $x_n[k]$

แบบจำลองของระบบเชิงเส้นตรง ลิเนียร์ไทม์อินแวเรียน (Linear Time-Invariant Models) มีคุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา คือ การตอบสนองของระบบต่อสัญญาณอินพุตลักษณะหนึ่งจะเหมือนกันไม่ว่าจะป้อนสัญญาณนั้นเข้าไปที่เวลาใดๆ และจากคุณสมบัติ ที่กล่าวมานี้ ทำให้การสร้างโมเดลเพื่อการวิเคราะห์ และทำนายระบบสามารถทำได้ง่าย ถึงแม้ว่า กระบวนการผลิตจะไม่ใช่ระบบเชิงเส้นและเปลี่ยนไปตามเวลาก็ตาม การสร้างแบบจำลองของระบบ โดยใช้เทคนิคไม่เป็นเชิงเส้น และเปลี่ยนตามเวลา ยังอยู่ในการพัฒนาทาง

ทฤษฎี และยุ่งยากต่อการนำมาใช้งาน ดังนั้น โดยส่วนใหญ่เพื่อความสะดวกและเข้าใจง่ายจึงนิยมใช้รูปแบบของแบบจำลองเชิงเส้นตรงแบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นตัวแทนของระบบ

ก.4 ฟังก์ชันถดถอยเชิงเส้นตรงของโครงสร้างแบบจำลองที่นำมาใช้ในโปรแกรมการระบุพารามิเตอร์

ก.4.1 แบบจำลองแบบ ARX

จากสมการแบบจำลองแบบ ARX ดังแสดงในสมการ (3.27) เมื่อแทนสมการของแบบจำลองแบบ ARX ในรูปของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งมีรูปแบบสมการดังแสดงใน สมการ (3.28) ลงในสมการ การหาค่าประมาณของเอชท์พุท ในสมการ (3.23) ในบทที่ 3 จะได้ สมการการหาค่าประมาณของเอชท์พุทซึ่งแสดงในรูปของพารามิเตอร์ ของ แมทริกซ์ ดังแสดงในสมการ (ก.11)

$$\hat{y}(t \mid \theta) = B(q) u(t) + [1 - A(q)] y(t) \quad (\text{ก.11})$$

ดังนั้นในกรณี สามารถเขียนเวกเตอร์ถดถอย เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้ดังนี้

$$\varphi(t) = [-y(t-1) \dots -y(t-n_a) \quad u(t-1) \dots u(t-n_b)]^T \quad (\text{ก.12})$$

จากที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 พารามิเตอร์ที่ต้องคำนวณหา จะเขียนอยู่ในรูปของเวกเตอร์ θ ดังนั้นสามารถเขียนสมการ (ก.11) ได้ใหม่เป็นสมการ (ก.13)

$$\hat{y}(t \mid \theta) = \theta^T \varphi(t) = \varphi^T(t) \theta \quad (\text{ก.13})$$

ก.4.2 แบบจำลองแบบ ARMAX

การหาค่าประมาณของเอาต์พุตดังสมการ (ก.14) ได้มาจาก การแทนค่าสมการแบบจำลองในรูปแบบทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน ดังสมการ (3.35) ลงในสมการ (3.23) ซึ่งได้แสดงไว้ในสมการข้างล่างนี้

$$\hat{y}(t|\theta) = \frac{B(q)}{C(q)} u(t) + \left[1 - \frac{A(q)}{C(q)} \right] y(t) \quad (\text{ก.14})$$

เขียนสมการ (ก.14) ใหม่ โดยการ เอา $C(q)$ โพลีโนเมียลคูณตลอดสมการ ดังแสดงในสมการ (ก.15)

$$C(q) \hat{y}(t|\theta) = B(q) u(t) + [C(q) - A(q)] y(t) \quad (\text{ก.15})$$

เขียนสมการ (ก.15) อยู่ในรูปแบบสมการเดียวกับ สมการ (ก.13) ได้โดย นำเทอม $[1 - C(q)]$

$\hat{y}(t|\theta)$ คูณสมการ (ก.15) ทั้งสองข้าง จะได้สมการ (ก.16)

$$\hat{y}(t|\theta) = B(q) u(t) + [1 - A(q)] y(t) + [C(q) - 1][y(t) - \hat{y}(t|\theta)] \quad (\text{ก.16})$$

ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า หาได้จากสมการ (ก.17)

$$\varepsilon(t, \theta) = y(t) - \hat{y}(t|\theta) \quad (\text{ก.17})$$

และเวกเตอร์ถดถอย ซึ่งใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ แสดงดังสมการ (ก.18)

$$\varphi(t, \theta) = [-y(t-1) \dots -y(t-n_a) \quad u(t-1) \dots u(t-n_b) \quad \varepsilon(t-1, \theta) \dots \varepsilon(t-n_c, \theta)]^T \quad (\text{ก.18})$$

ดังนั้น

$$\hat{y}(t|\theta) = \varphi^T(t) \theta \quad (\text{ก.19})$$

ซึ่งจะเรียกสมการ (ก.15) ว่า สมการเส้นตรงเชิงถดถอยเทียม (psuedolinear regression)

ก.4.3 แบบจำลองแบบ OE

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ถึงการได้มาซึ่ง เวกเตอร์ถดถอย ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ ในสมการแบบจำลอง แบบ OE ก็เช่นเดียวกัน โดยสมการเวกเตอร์ถดถอยของแบบจำลอง แบบ OE แสดงดังสมการ(ก.20)

$$\varphi(t, \theta) = [u(t-1) \dots u(t-n_b) \quad -w(t-1, \theta) \dots -w(t-n_f, \theta)]^T \quad (\text{ก.20})$$

ซึ่งจากสมการ (ก.20) จะเห็นได้ว่า เทอม $w(t-1, \theta)$ เป็นค่าที่ไม่ได้มาจากการวัดค่าของข้อมูล แต่เทอมของค่านี้ได้จาก สมการ (3.37a) และ สมการ (3.38) ซึ่งจะได้ว่า

$$w(t-k, \theta) = \hat{y}(t-k \mid \theta) \quad , k = 1, 2, \dots, n_f \quad (\text{ก.21})$$

ก.4.4 แบบจำลองแบบ BJ

จากสมการแบบจำลอง แบบ BJ ดังแสดงในสมการ (3.40) สามารถเขียนสมการใหม่ในรูปของเอาต์พุตที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ ดังแสดงในสมการ (ก.22)

$$\hat{y}(t \mid \theta) = \frac{D(q)B(q)}{C(q)F(q)} u(t) + \frac{C(q)-D(q)}{C(q)} y(t) \quad (\text{ก.22})$$

ก.4.5 แบบจำลองแบบ PEM

แบบจำลองแบบ PEM สามารถเขียนสมการของแบบจำลอง ในรูปสมการของการประมาณค่าเอาต์พุตได้ดังสมการ (ก.23)

$$\hat{y}(t \mid \theta) = \frac{D(q)B(q)}{C(q)F(q)} u(t) + \left[1 - \frac{D(q)A(q)}{C(q)} \right] y(t) \quad (\text{ก.23})$$

จัดรูปสมการ (ก.23) ใหม่ แสดงดังสมการ (ก.24)

$$C(q)F(q)\hat{y}(t|\theta) = F(q) [C(q) - D(q)A(q)] y(t) + D(q)B(q) u(t) \quad (\text{ก.24})$$

ดังนั้น สมการความผิดพลาด แสดงได้ดังสมการ (ก.25)

$$\varepsilon(t, \theta) = y(t) - \hat{y}(t|\theta) \quad (\text{ก.25})$$

และ

$$\varepsilon(t, \theta) = \frac{D(q)}{C(q)} \left[A(q)y(t) - \frac{B(q)}{F(q)} u(t) \right] \quad (\text{ก.26})$$

กำหนดตัวแปรช่วย ในการคำนวณ

$$w(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t) \quad (\text{ก.27})$$

และ

$$v(t, \theta) = A(q) y(t) - w(t, \theta) \quad (\text{ก.28})$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\varepsilon(t, \theta) = y(t) - \hat{y}(t|\theta) = \frac{C(q)}{D(q)} v(t, \theta) \quad (\text{ก.29})$$

โดย

$$\varphi(t, \theta) = [-y(t-1) \dots y(t-n_a) \quad u(t-1) \dots u(t-n_b) \quad -w(t-1, \theta) \dots -w(t-n_f, \theta) \\ \varepsilon(t-1, \theta) \dots \varepsilon(t-n_c, \theta) \quad -v(t-1, \theta) \dots -v(t-n_d, \theta)]^T \quad (\text{ก.30})$$

โดยสามารถ คำนวณ ค่า $w(t, \theta)$ $\varepsilon(t, \theta)$ และ $v(t, \theta)$ ได้จากสมการ (ก.31) (ก.32) และ(ก.33) ตาม

ลำดับ

$$w(t, \theta) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) - f_1 w(t-1, \theta) - \dots - f_{n_f} w(t-n_f, \theta) \quad (\text{ก.31})$$

$$e(t, \theta) = v(t, \theta) + d_1 v(t-1, \theta) + \dots + d_{n_d} v(t-n_d) - c_1 e(t-1, \theta) - \dots - c_{n_c} e(t-n_c, \theta) \quad (\text{ก.32})$$

$$v(t, \theta) = y(t-1) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{n_a} y(t-n_a) - w(t, \theta) \quad (\text{ก.33})$$

แทนสมการ (ก.33) ลงในสมการ (ก.32) และ แทนค่า $w(t, \theta)$ ซึ่งแสดงดังสมการ (ก.31) จะ

สามารถหาค่า ความผิดพลาดของแบบจำลองได้ แสดงดังสมการ (ก.34)

$$e(t, \theta) = y(t) - \theta^T \varphi(t, \theta) \quad (\text{ก.34})$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการ การประมาณค่าเอาต์พุต ได้ดังสมการ (ก.35)

$$\hat{y}(t | \theta) = \theta^T \varphi(t) = \varphi^T(t) \theta \quad (\text{ก.35})$$

ก.5 สัญญาณรบกวน (Disturbance)

แหล่งกำเนิดของสัญญาณรบกวน และ สาเหตุของสัญญาณรบกวนมาจาก

- การวัดค่า ซึ่งเกิดจากเครื่องมือวัด ในการเก็บค่าของข้อมูล ต่างๆ ในกระบวนการ
- สัญญาณอินพุตของกระบวนการที่ไม่ได้ควบคุม ซึ่งขึ้นกับลักษณะของสัญญาณอินพุต

ซึ่งไม่ได้ควบคุมโดยผู้ให้

รูปแบบหรือลักษณะของสิ่งรบกวน คือค่าของตัวเลข ซึ่งไม่ทราบค่ามาก่อน ดังนั้น

ข้อมูลเกี่ยวกับ สัญญาณรบกวนในอดีต จึงเป็นฐานข้อมูลอันสำคัญ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ความน่า

จะเป็น ในการอธิบาย สัญญาณรบกวนในอนาคต

การอธิบายลักษณะของสัญญาณรบกวนที่สมบูรณ์ มักจะอธิบายด้วย สภาวะของความหนาแน่นของความน่าจะเป็นร่วม (joint probability density) สำหรับ สัญญาณรบกวน $v(t+k)$ เมื่อ $k \geq 1$ สามารถเขียนเป็นสมการอย่างง่ายได้ดังสมการ (ก.36)

$$v(t) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)e(t-k) \quad (\text{ก.36})$$

โดย $e(t)$ เป็นซีเควชันซ์ของตัวแปรแบบแรนดอมม์ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่แน่นอน

ความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function, PDF) เป็นลักษณะเฉพาะของสัญญาณรบกวน จากตัวแปรแบบแรนดอมม์ของ $e(t)$ การอธิบายความเป็นไปได้ของตัวเลขที่ได้จากการทดลอง ความเป็นไปได้ของตัวเลข มีค่าตกอยู่ในช่วงที่แน่นอน ซึ่งแสดงได้โดย ความหนาแน่นของความน่าจะเป็นนั่นเอง โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (ก.37)

$$P(a \leq e < b) = \int_a^b f_e(x) dx \quad (\text{ก.37})$$

จาก $P(A)$ มีความหมายคือ ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A และ $f_e(x)$ เป็นค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของ e โดย e เป็นเวกเตอร์ของ e_1, \dots, e_n

ค่าการคาดคะเน หรือ ค่าเฉลี่ยของ e สามารถหาได้จากสมการ (ก.38)

$$Ee = \int_{R^n} x f_e(x) dx \quad (\text{ก.38})$$

และค่าโคแวนเรียนซ์ของตัวแปรแรนดอม e แสดงดังสมการ (ก.39)

$$\text{Cov } e = E(e-m)(e-m)^T \quad \text{โดย } m = Ee \quad (\text{ก.39})$$

กรณีที่ การกระจายของตัวแปรแรนดอม e มีการกระจายแบบ เกาส์เซียน (Gaussian หรือ normal distribution) จะได้ว่า

$$f_e(x) = \frac{1}{(2\pi)^{m/2}} \frac{1}{(\det P)^{1/2}} \exp[-1/2(x-m)^T P^{-1}(x-m)] \quad (\text{ก.40})$$

โดย m คือ ค่าเฉลี่ย (mean) P คือ โคเวเรียนซ์แมทริกซ์ (Covariance Matrix)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

โค้ดโปรแกรมที่สำคัญในโปรแกรมการระบุนหากระบวนการ

โค้ดโปรแกรม ในการสร้างโปรแกรมสำเร็จรูป ขึ้นเพื่อใช้ในการระบุนหากระบวนการ ภาษาที่ใช้เขียนเป็นภาษาเฉพาะในโปรแกรมสำเร็จรูปแมทแลบ ซึ่งแต่ละบรรทัดของ โค้ดโปรแกรม จะเป็นลักษณะของคำสั่งที่ใช้ในการทำงาน และ คำสั่งนี้อาจประกอบด้วยฟังก์ชันไฟล์อื่นๆ ส่วนกรณีที่มีการคำนวณเป็นแบบวนรอบ ก็ใช้คำสั่ง “while” “for” และคำสั่ง “If ... else... end ” ในการคำนวณแบบวนรอบ

ในโปรแกรมการระบุนหากระบวนการ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแรก จะเป็นส่วนของการสร้างภาพหน้าจอ และเมนูที่ใช้ในโปรแกรมการระบุนหากระบวนการ ส่วนที่ สองเป็นส่วนของโค้ดโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ ต่างๆ เช่น การประมาณหาค่าพารามิเตอร์ การคำนวณ หาค่าผิดพลาดของการประมาณค่า เป็นต้น

ข.1 โค้ดโปรแกรมในการสร้างภาพหน้าจอ และ เมนูที่ใช้ในโปรแกรมการระบุนหากระบวนการ

ในโปรแกรมการระบุนหากระบวนการนี้ โค้ดโปรแกรมของหน้าต่างหลักในการทำงาน ประกอบด้วย 2 ไฟล์ฟังก์ชัน คือ ไฟล์ฟังก์ชันในการสร้างภาพประกอบ ซึ่งมีคำสั่งในการ

กำหนดขนาดของภาพที่จะปรากฏที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ และอีกไฟล์ฟังก์ชันคือ ฟังก์ชันซึ่งใช้ในการสร้างเมนู ประกอบภาพ โดยชื่อไฟล์ฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมีชื่อว่า ฟังก์ชัน “gen_fig” และ ฟังก์ชัน “gen_menu” ตามลำดับ ซึ่งโค้ดโปรแกรมได้แสดงไว้ดังข้างล่างนี้

โค้ดไฟล์ฟังก์ชัน “gen_fig” ซึ่งไม่มีการรับค่า และส่งค่าของตัวแปร เข้าออกฟังก์ชัน

```
function gen_fig()
% Created Identification Figure
% Input statements
% None
% Output statements
% None
h_genfig = figure;
set_gen('gen_window','Handle',h_genfig)
screen=get(0,'Screensize');
width = screen(3);
height = screen(4);
if height >=600
    left = 3;
    bottom = 3;
    mwwidth = 795;
    mwheight = 538 ;
else
    left = 1;
    bottom = 1;
    mwwidth = width;
    mwheight = height;
end
```



```

rect = [ left bottom mwidth mheight ];
set (0,'DefaultFigurePosition',rect);
set(h_genfig, ...
    'Units','Normal',...
    'Color',[0 0 0], ...
    'NumberTitle','off', ...
    'InvertHardcopy','on',...
    'MenuBar','None',...
    'Interruptible','yes', ...
    'Name','Identification Toolbox');

```

จากโค้ดโปรแกรมของการสร้างภาพหน้าจอ คำสั่งที่ใช้ในการสร้างภาพคือ “Figure” ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้ในภาษาเมทแลบ ส่วนคำสั่ง “set_gen” เป็นไฟล์ฟังก์ชันที่เขียนขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการรับค่า ซึ่งเป็นไฟล์ที่ใช้ในการสร้างตัวแปรที่ซับซ้อนๆ เรียกว่าเป็นตัวแปรแบบโกลบอล (Global variable) ส่วนคำสั่ง “set” เป็นคำสั่งที่ทำหน้าที่คล้ายคลึงกับคำสั่ง “set_gen” แต่คำสั่ง “set” เป็นคำสั่งที่เขียนขึ้นด้วยทีมงานที่สร้างโปรแกรมสำเร็จรูปเมทแลบ ซึ่งไม่ได้แสดงโค้ดโปรแกรมเอาไว้

โค้ดไฟล์ฟังก์ชัน “gen_menu” เป็นชุดของคำสั่งที่ใช้เขียนในการสร้างเมนู ซึ่งเป็นการสร้างจ็อยโอ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้โปรแกรม ซึ่งสามารถใช้เมาส์คลิกในการเลือกตำแหน่ง หรือการป้อนค่าต่างๆ จากผู้ใช้ โดยมีคำอธิบายประกอบในการป้อนค่า

```

function gen_menu()
% Make figure and menubar
% Input statements
%      None

```

```

% Output statements
%      None
h_genfig = get_gen('gen_window','Handle');
%----- File -----
% Create the File uimenu on menu bar
h_menu_file = uimenu(h_genfig,...
    'Label','&File',...
    'Interruptible','yes',...
    'Accelerator','f');
% Create the Sub menus
uimenu(h_menu_file,...
    'Label','&Struct data',...
    'Interruptible','yes',...
    'Accelerator','s',...
    'Callback','funcstd1');
...
uimenu(h_menu_file, ...
    'Label','&Exit', ...
    'Accelerator','e', ...
    'Separator','on', ...
    'Interruptible','yes', ...
    'Callback','close all');
%----- Plot -----
% Create the Plot uimenu on menu bar
...
%----- Help -----
% Create the Help uimenu on menu bar

```

```

h_menu_help = uimenu(h_genfig,...
    'Label','&Help',...
    'Interruptible','yes',...
    'Accelerator','h');
uimenu(h_menu_help,...
    'Label','&Index',...
    'Accelerator','i', ...
    'Callback','eval("!winhelp a:\iden1_H.hlp &");

```

จากโค้ดโปรแกรมในการสร้างเมนู และเมนูย่อยต่างๆ ตัวคำสั่งที่ใช้สร้างจิวโอเมนูคือ “uimenu” ซึ่งในการสร้างเมนูย่อย ทำได้โดยใช้คำสั่ง “uimenu” อีกครั้งภายใต้เมนูที่สร้างขึ้นในครั้งแรก ส่วนสำคัญของแต่ละเมนูคือ ส่วนของการรับคำสั่งที่จะนำไปปฏิบัติ ซึ่ง กำหนดอยู่ภายใต้คุณสมบัติ (property) ที่เรียกว่า “callback” ภายใต้คุณสมบัตินี้ จะประกอบด้วยลักษณะของคำสั่งที่ใช้ในเมทแลบ หรือ ชื่อ ไฟล์ฟังก์ชัน ซึ่งจะถูกรเรียกใช้หลังจากที่ผู้ใช้เลือกใช้เมนู หรือคลิกเมนู

ข.2 โค้ดโปรแกรม ที่ตัวเมทริกซ์

เป็นสคริปไฟล์ที่ใช้ในการคำนวณ หาแบบจำลองของกระบวนการ ซึ่งที่ตัวเมทริกซ์ เป็นเมทริกซ์ที่ประกอบด้วย ค่าพารามิเตอร์ ค่าเวรียนซ์ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ จำนวนอินพุต เอาท์พุตต่างๆ เป็นต้น โดยมี 2 รูปแบบคือ แบบที่หนึ่งใช้สำหรับ กรณีที่มีเอาท์

พหุเท่ากับหนึ่งตัวแปร และอินพุทหลายตัวแปร ส่วนอีกกรณีใช้สำหรับกรณีที่มีอินพุทและเอาต์พุทมากกว่าหนึ่งตัวแปร

กรณีที่มีเอาต์พุท หนึ่งตัว ที่ค่าเมทริกซ์ประกอบด้วย ชื่อสคริปไฟล์ไฟล์คือ "theta.m"

```
% THETA is a matrix containing information about model structure, estimated
% parameters and their estimated accuracy.
% For STATE-SPACE and MULTI-OUTPUT structures, see HELP thss.
% For the general input-output model, the structure is as follows:
%  $A(q) y(t) = [B(q)/F(q)] u(t-nk) + [C(q)/D(q)] e(t)$ 
% A, B, C, D and F are polynomials in the delay operator of orders
%  $n_a, n_b, n_c, n_d$  and  $n_f$ , respectively. If the system has  $n_u$  inputs,  $u$  has
%  $n_u$  columns and  $n_b, n_f$  and  $n_k$  are then row vectors of dimension  $n_u$ , con-
% taining information about the orders and delays associated with each of
% the inputs. In the case of a time series (no  $u$ ) B and F are not defined.
% Let  $n$  be the sum of all the orders (=the number of estimated
% parameters). Let  $r = \max(n, 7, 6 + 3 * n_u)$ . Then THETA is a  $(3+n) \times r$  matrix
% organized as follows:
% Row 1 has entries: Estimated variance of  $e$ , sampling interval,  $n_u, n_a,$ 
%  $n_b, n_c, n_d, n_f, n_k$ . Row 2 has entries, FPE, year, month, date, hour, minute
% and command by which the model was generated. Row 3 is the vector of
% estimated parameters A,B,C,D and F (excluding leading 1's and zeros).
% Rows 4 to  $3+n$  contain the estimated covariance matrix.
%
% THETA-matrices are created by the commands POLY2TH, PEM, IV, IV4, ARX,
% ARMAX, OE, BJ, AR and IVAR. They are transformed to other representa-
% tions by the commands TRF, ZP, TH2POLY, TH2TF, TH2SS, TH2PAR.
```

กรณีที่เราพบว่ามีค่าหนึ่ง ชื่อสคริปไฟล์คือ "thss.m" ลักษณะของที่ตำแหน่งนี้

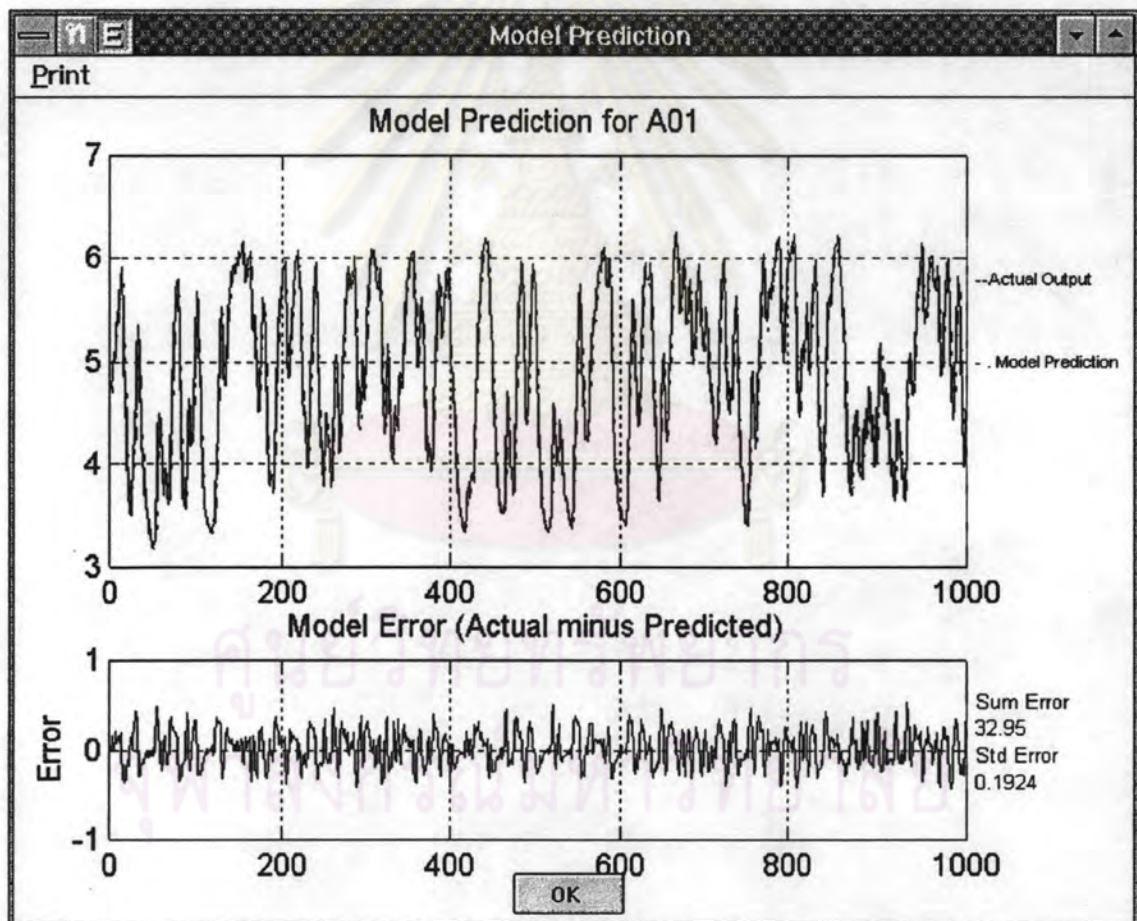
ประกอบด้วย

```
%THETA(SS) A structure for defining general linear state-space models
%TH is a matrix that contains information about a model structure in
%coded form. The THETA(SS)-structure is used by the commands PEM, TH2ARX,
%TH2PAR, TH2SS, IDSIM, PRESENT, THINIT, FIXPAR, UNFIXPAR, TH2TF.
%It is created by the commands MS2TH, MF2TH, ARX, IV4 and ARX2TH, and
%it is modified by the commands PEM, THINIT, FIXPAR and UNFIXPAR
%The first row of THETA(SS) contains in order, [determinant of innovations
%covariance, sampling interval, # of inputs, # of outputs, # of estimated
%parameters, size of auxiliary argument(1|2),name of m-file that
%generates the state space models]
%The second row contains: [Akaike's FPE criterion,date & time when
%generated,command by which generated, coded number for cont/discr model]
%The third row contains the values of the nominal (estimated) parameters.
%The next d rows contains the covariance matrix of the parameters.
%Below this we have the auxiliary arguments, used by the m-file that
%generates the structure, and finally, the bottom left contains the
%covariance matrix of the innovations.
%The THETA-format is unpacked by
%PRESENT: writes the information on the screen
%TH2SS, TH2TF, TRF, ZP: gives the state-space matrices, transfer functions,
%    freq function and zeros/poles
%TH2PAR: returns the nominal parameters and their covariance matrix
%TH2ARX: gives the matrices of an ARX-representation
```

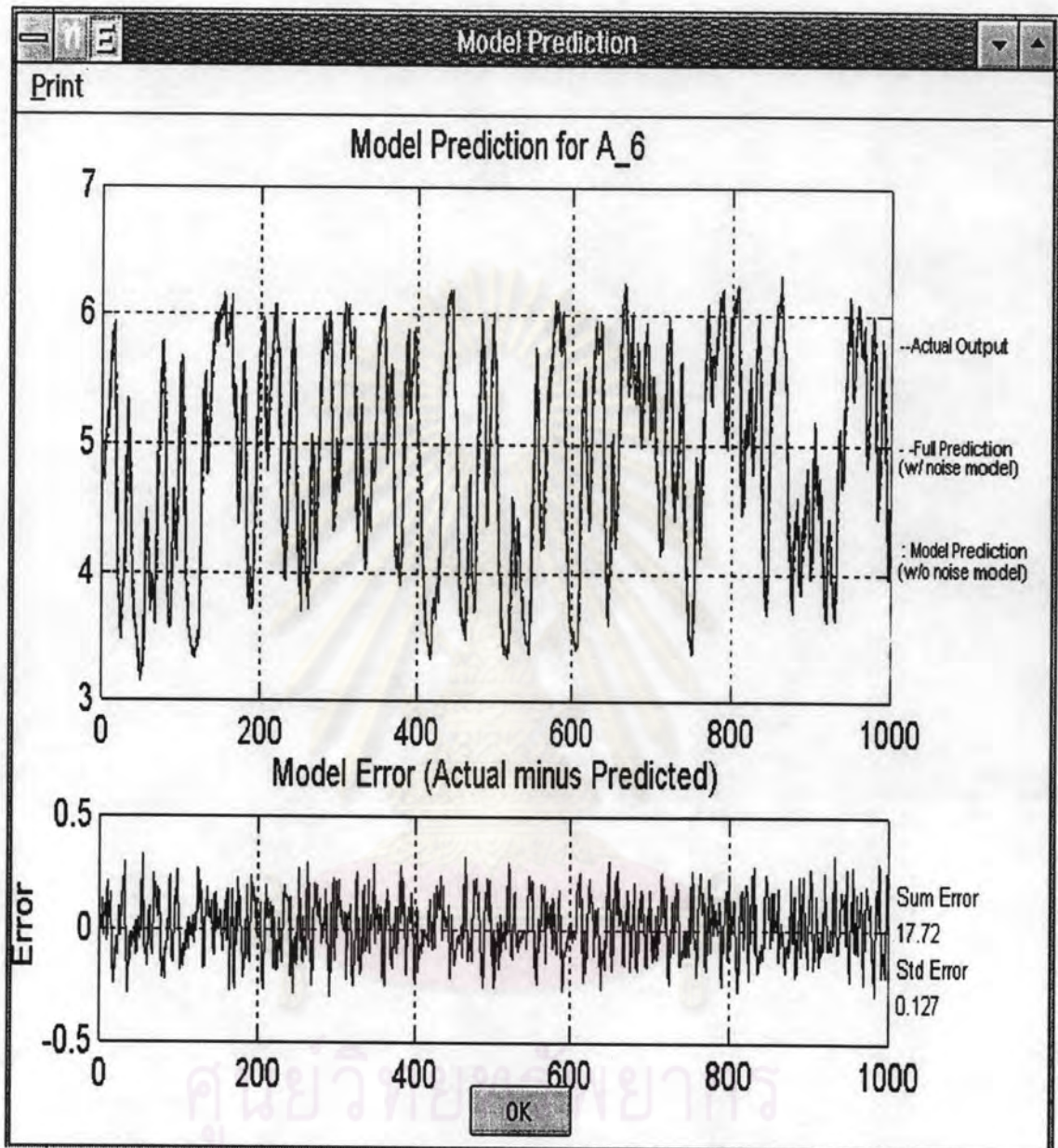

ภาคผนวก ค

ผลการทดลอง ของกรณีตัวอย่าง

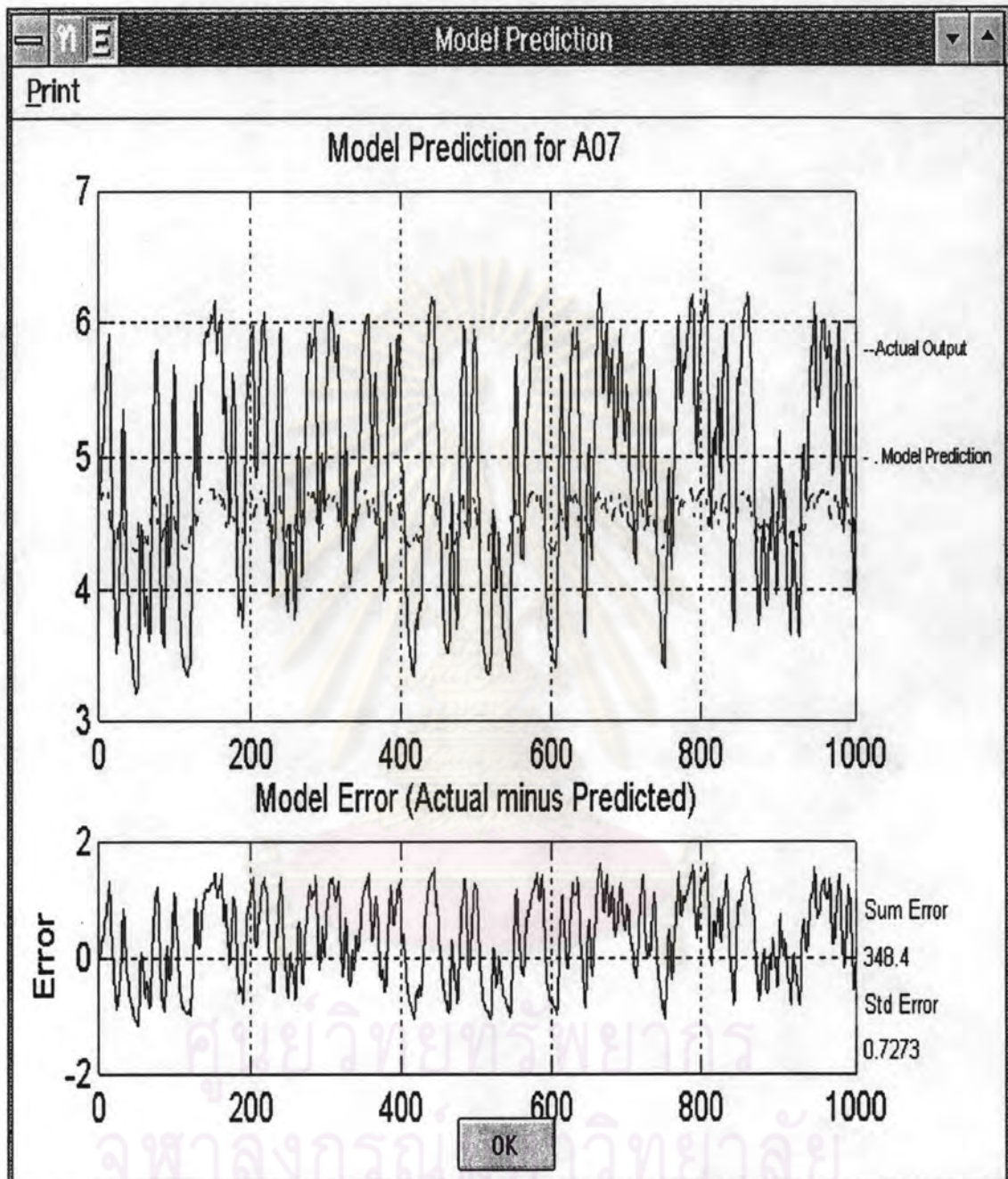
ค.1 กราฟแสดงผลของการระบุหาคะบวนการ ในกรณีตัวอย่างที่ 1



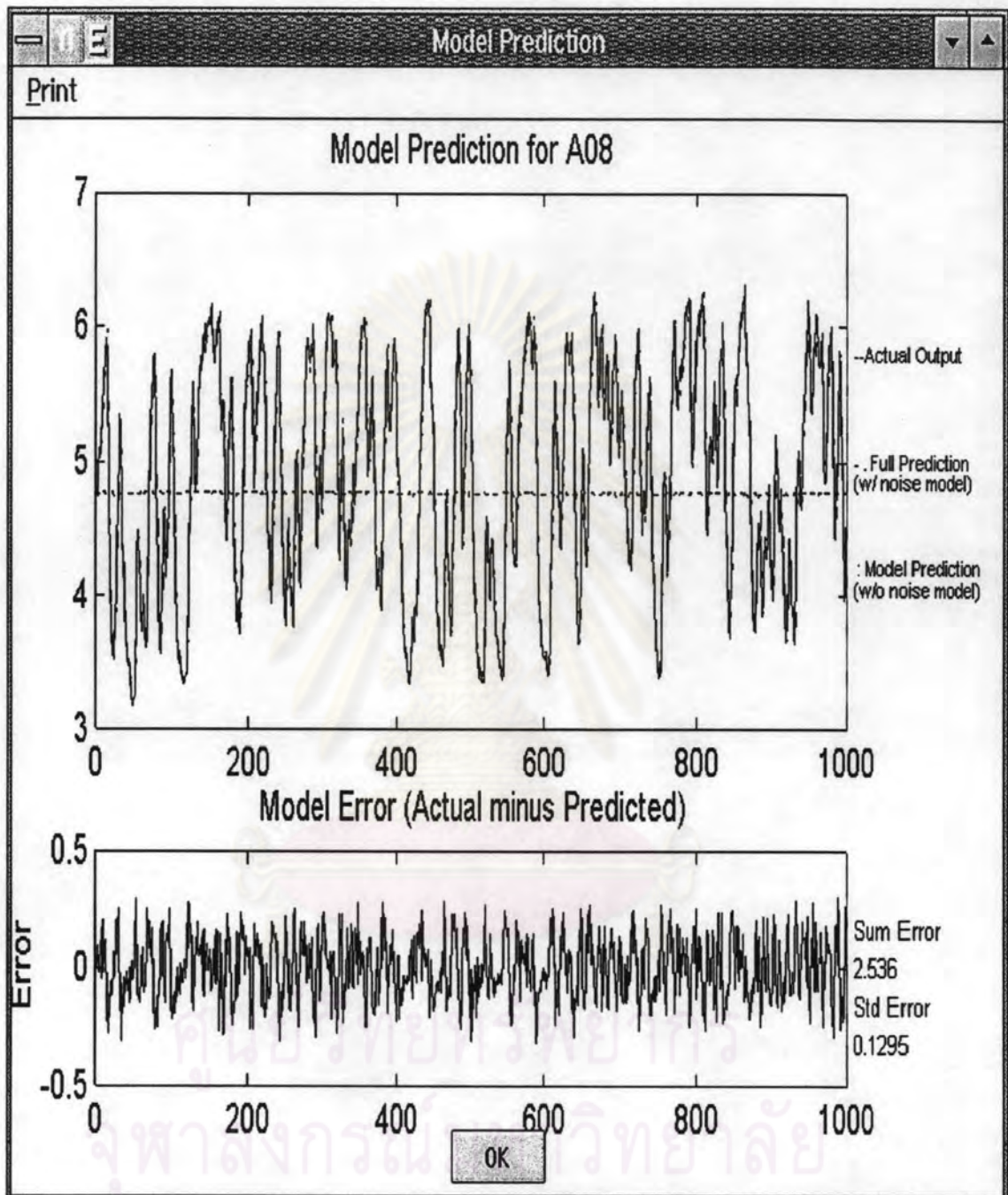
รูปที่ ค.1 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการ กับ ข้อมูลจากการซิมูเลท ของ แบบจำลอง แบบ ARX ในชื่อไฟล์ของแบบจำลอง "A01"



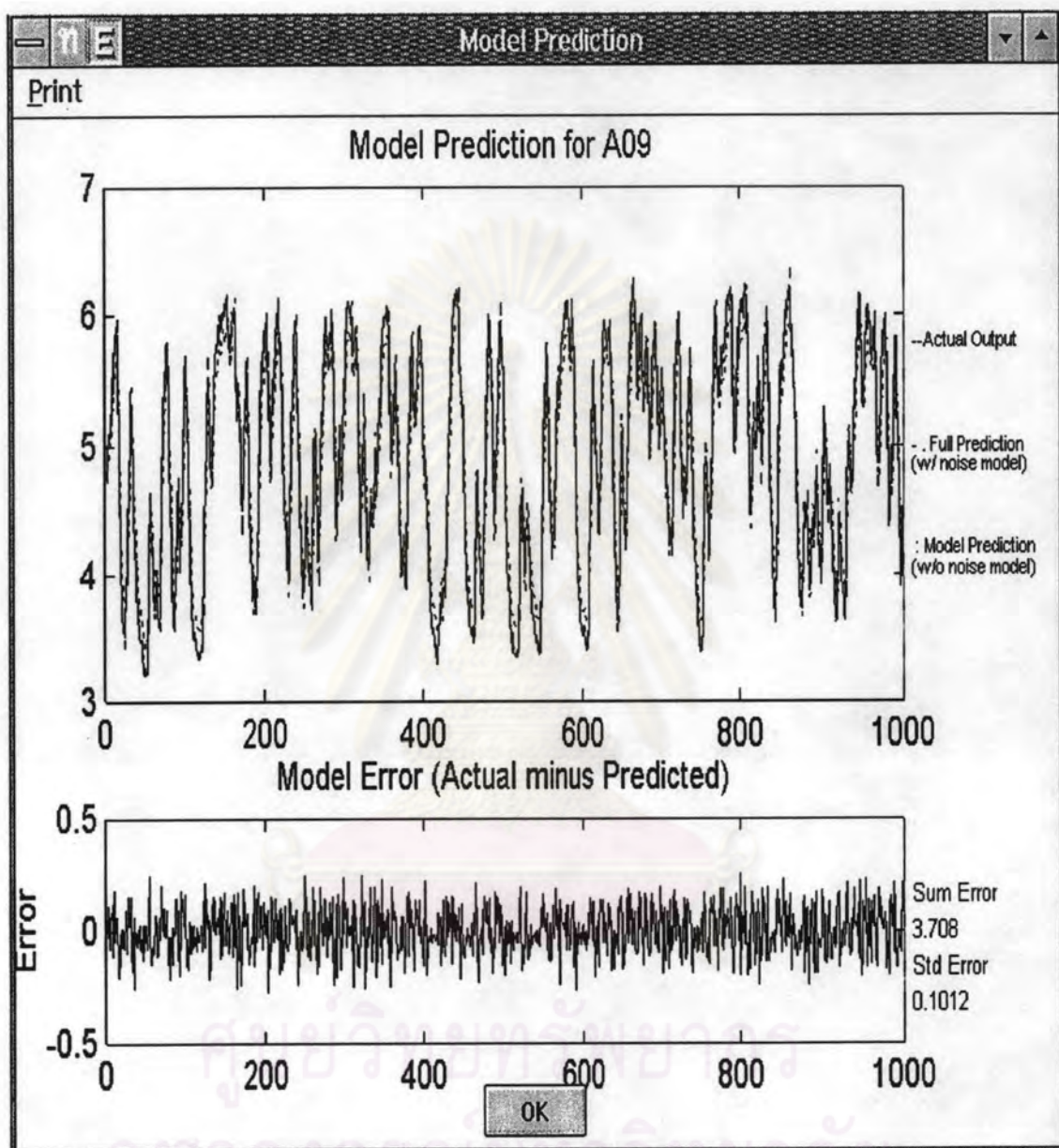
รูปที่ ค.2 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการระบุนากระบวนการ กับ ข้อมูลจากการซิมูเลต ของ แบบจำลอง แบบ ARMAX ในชื่อ ไฟล์ของ แบบจำลอง "A_6"



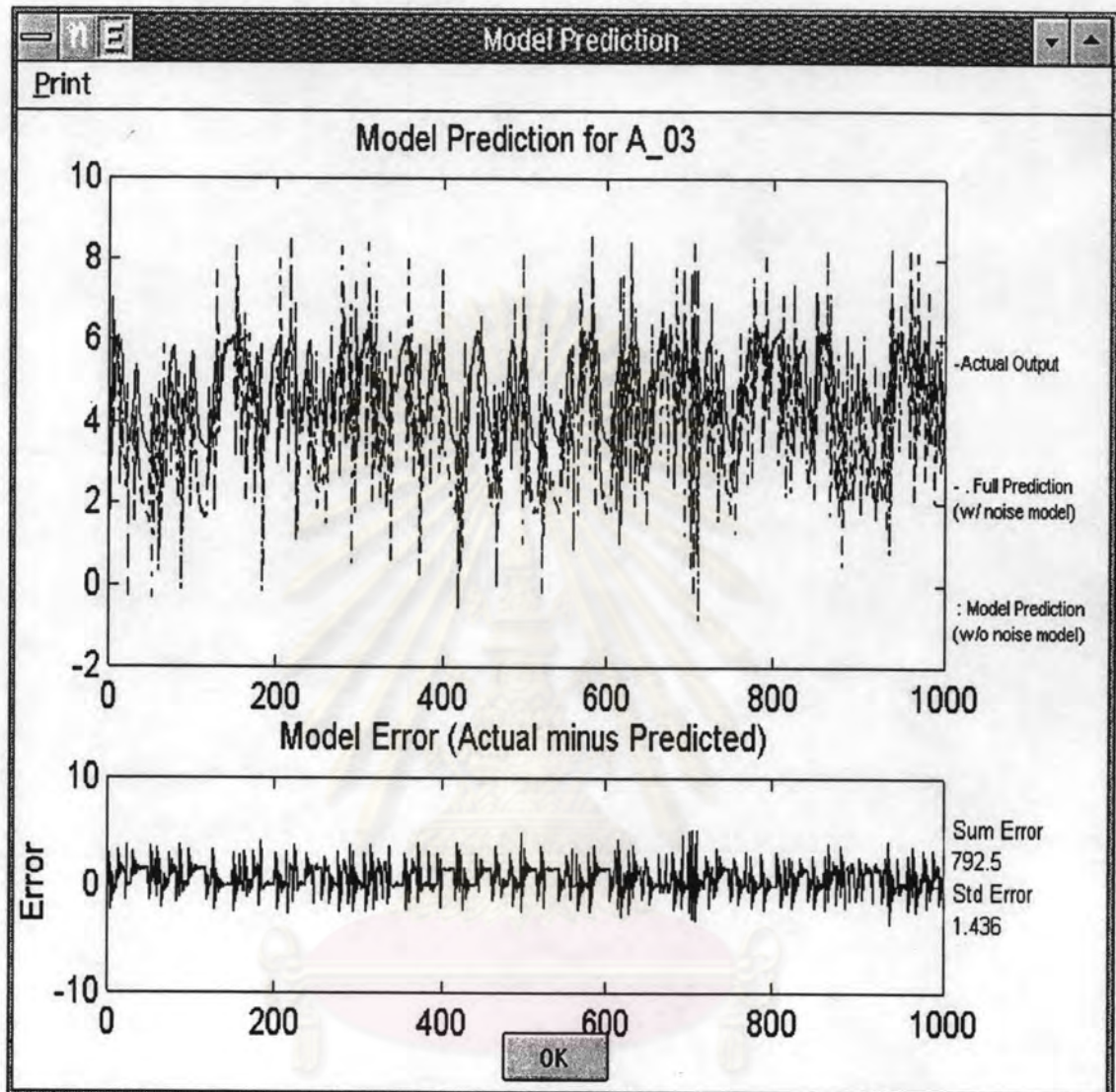
รูปที่ ค.3 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการระบุหาคะบวนการ กับ ข้อมูลจากการชิมมุเลท ของ แบบจำลอง แบบ OE ในชื่อไฟล์ของ แบบจำลอง "A07"



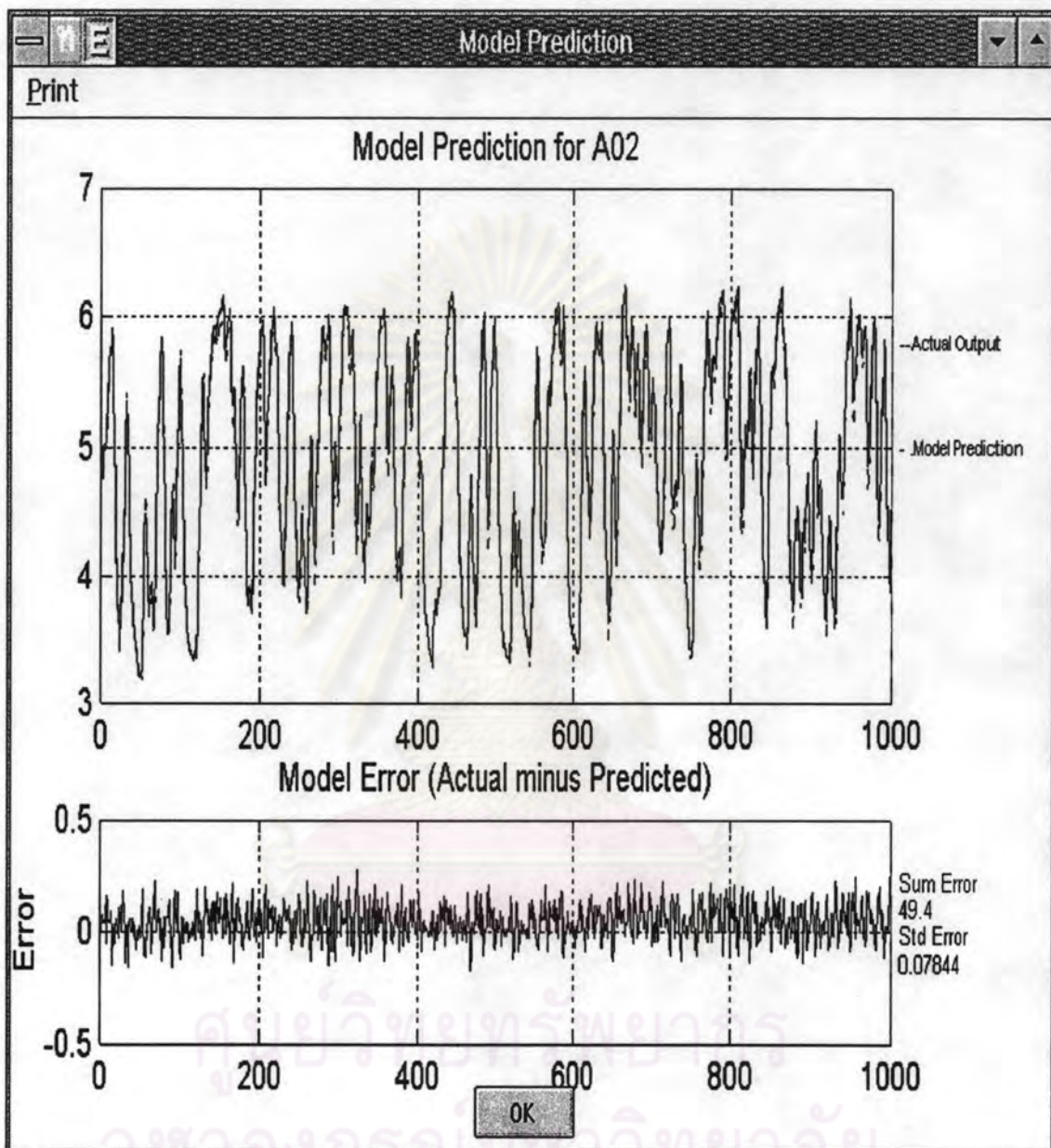
รูปที่ ค.4 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการระบุนหากระบวนการ กับ ข้อมูลจากการซิมูเลท ของ แบบจำลอง แบบ BJ ในชื่อไฟล์ของ แบบจำลอง "A08"



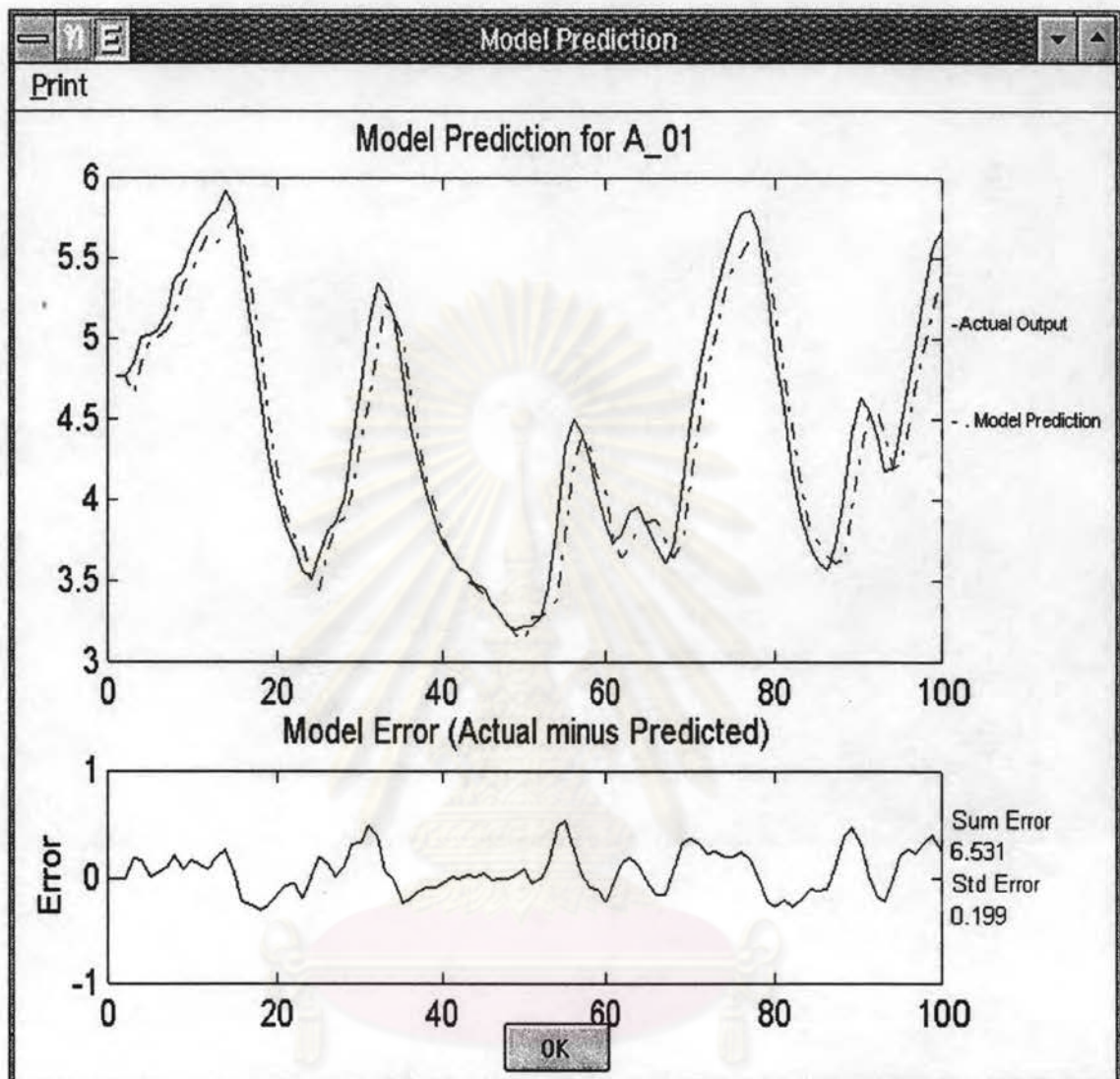
รูปที่ ค.5 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการระบุหากระบวนการ กับ ข้อมูลจากการซิมูเลต ของ แบบจำลอง แบบ PEM ในชื่อไฟล์ของ แบบจำลอง “A09”



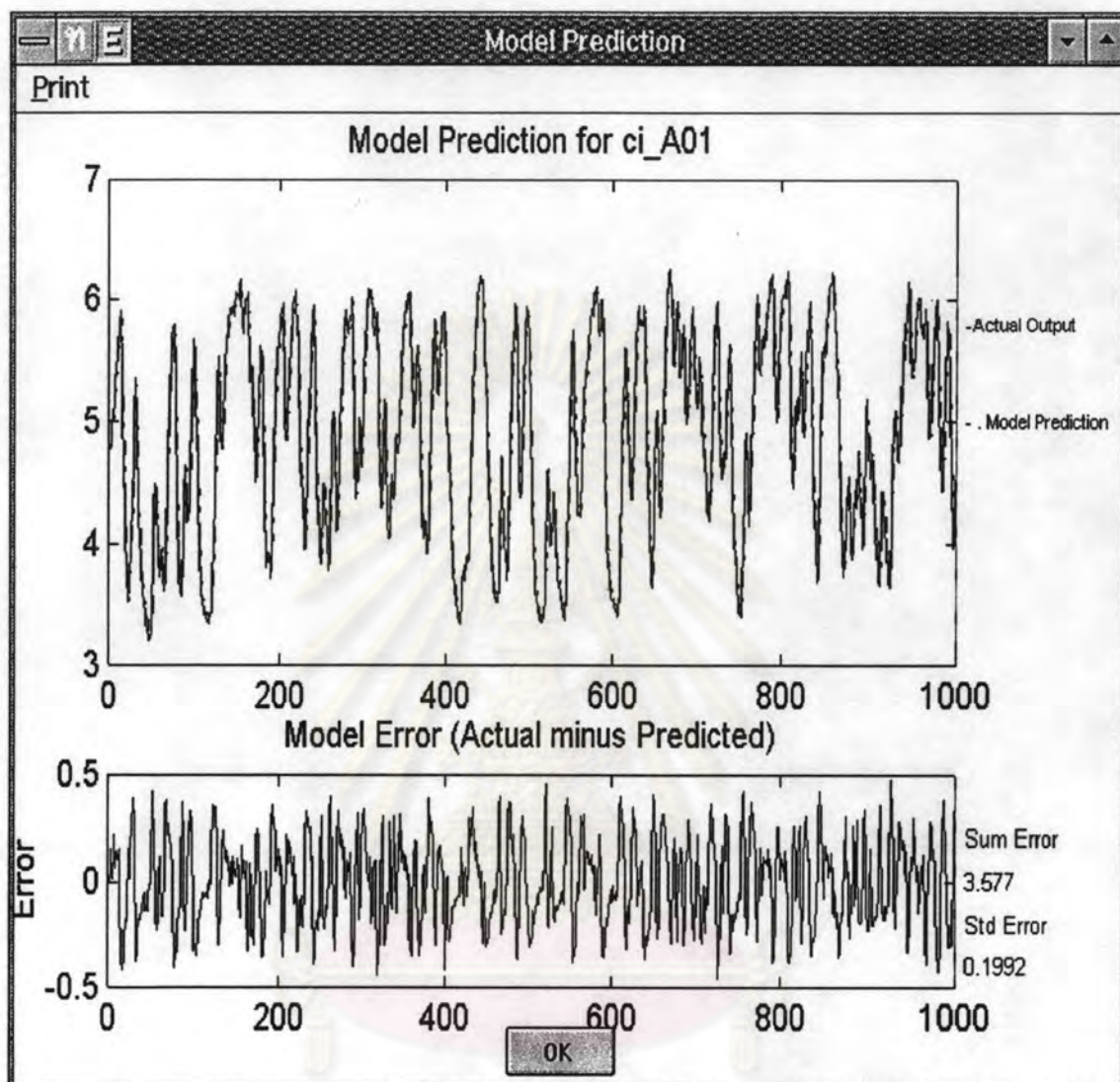
รูปที่ ค.6 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการระบุหากระบวนการ กับ ข้อมูลจากการซิมูเลท ของ แบบจำลอง แบบ ARMA ในชื่อไฟล์ของ แบบจำลอง "A_03"



รูปที่ ค.7 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากการระบุกระบวนการ กับ ข้อมูลจากการซิมูเลท ของ แบบจำลอง แบบ ARX ในชื่อไฟล์ของ แบบจำลอง "A02" ในการระบุกระบวนการเป็นช่วงของพารามิเตอร์

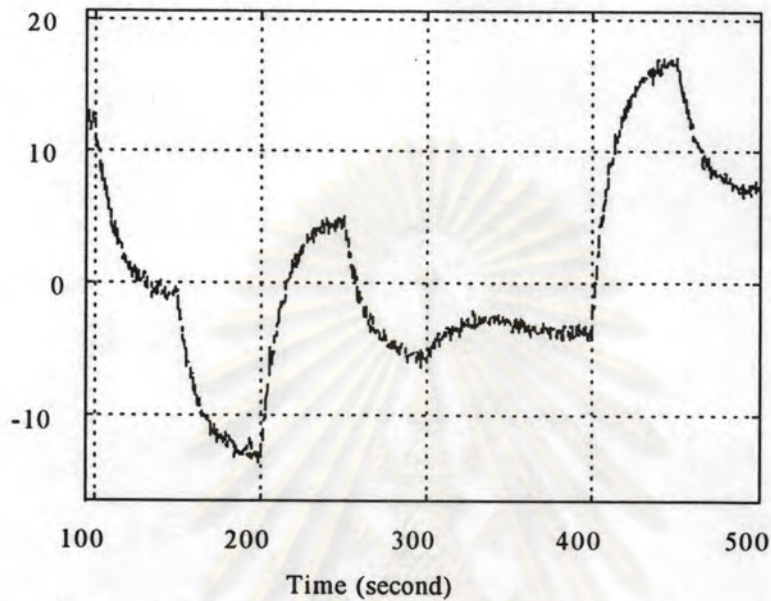


รูปที่ ค.8 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากระบบการกรณีตัวอย่างที่ 1 กับ ข้อมูลที่ได้จากการซิมูเลต จากแบบจำลอง แบบ ARX โดยจำนวนข้อมูลที่ใช้ เท่ากับ 100 จุดในชื่อไฟล์ของแบบจำลอง "A_01"

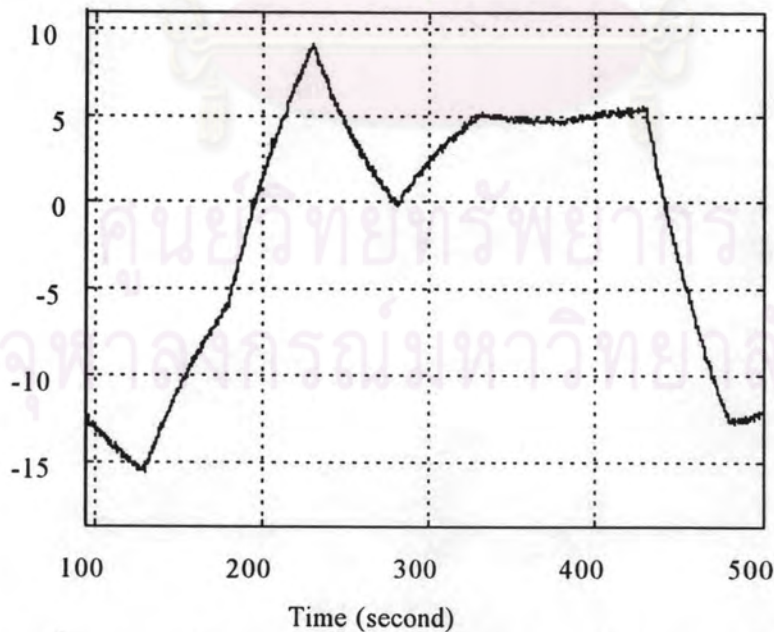


รูปที่ ค.9 กราฟเปรียบเทียบ ข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการกรณีตัวอย่างที่ 1 กับ ข้อมูลที่ได้จากการซิมูเลท จากแบบจำลอง แบบ ARX โดยเปลี่ยนชนิด ของสัญญาณอินพุตเป็นฟังก์ชันซายน์ ในชื่อไฟล์ของแบบจำลอง "ci_A01"

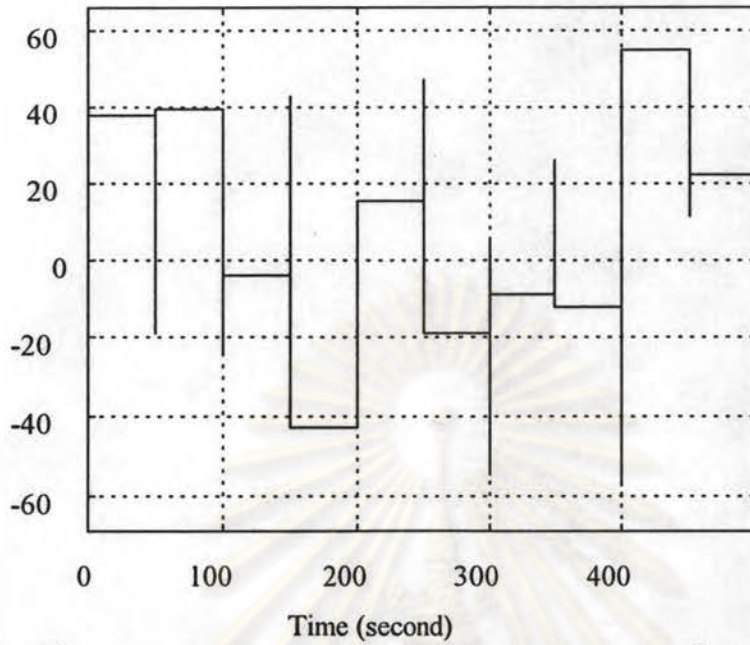
ค.2 กราฟแสดงสัญญาณอินพุต และ เอาท์พุทของระบบในตัวอย่างที่ 2



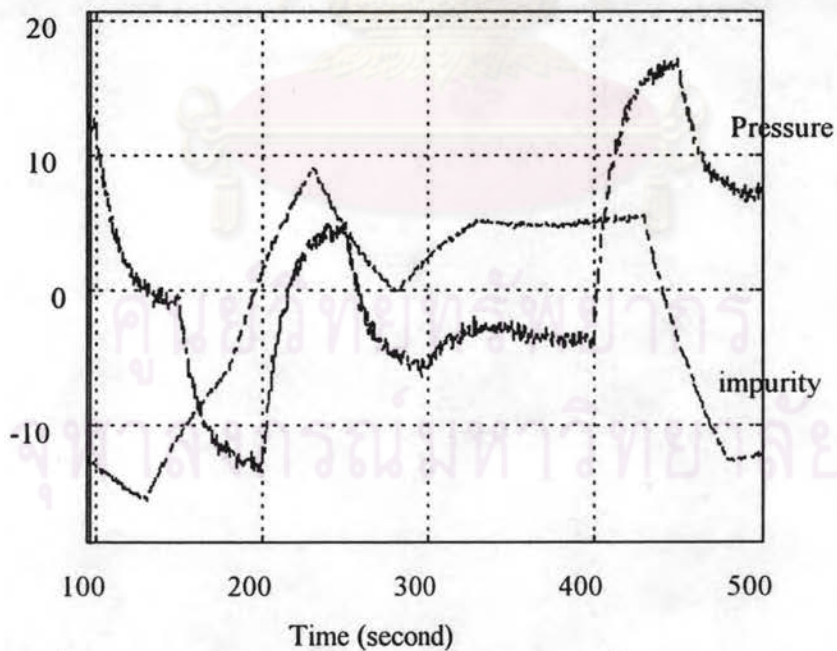
รูปที่ ค.10 กราฟแสดงสัญญาณของเอาท์พุท ความดันที่ขอดหอ กรณีอินพุทคือพลังงานที่ใช้ในหม้อต้มซ้ำกรณีพิจารณากระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสไอ



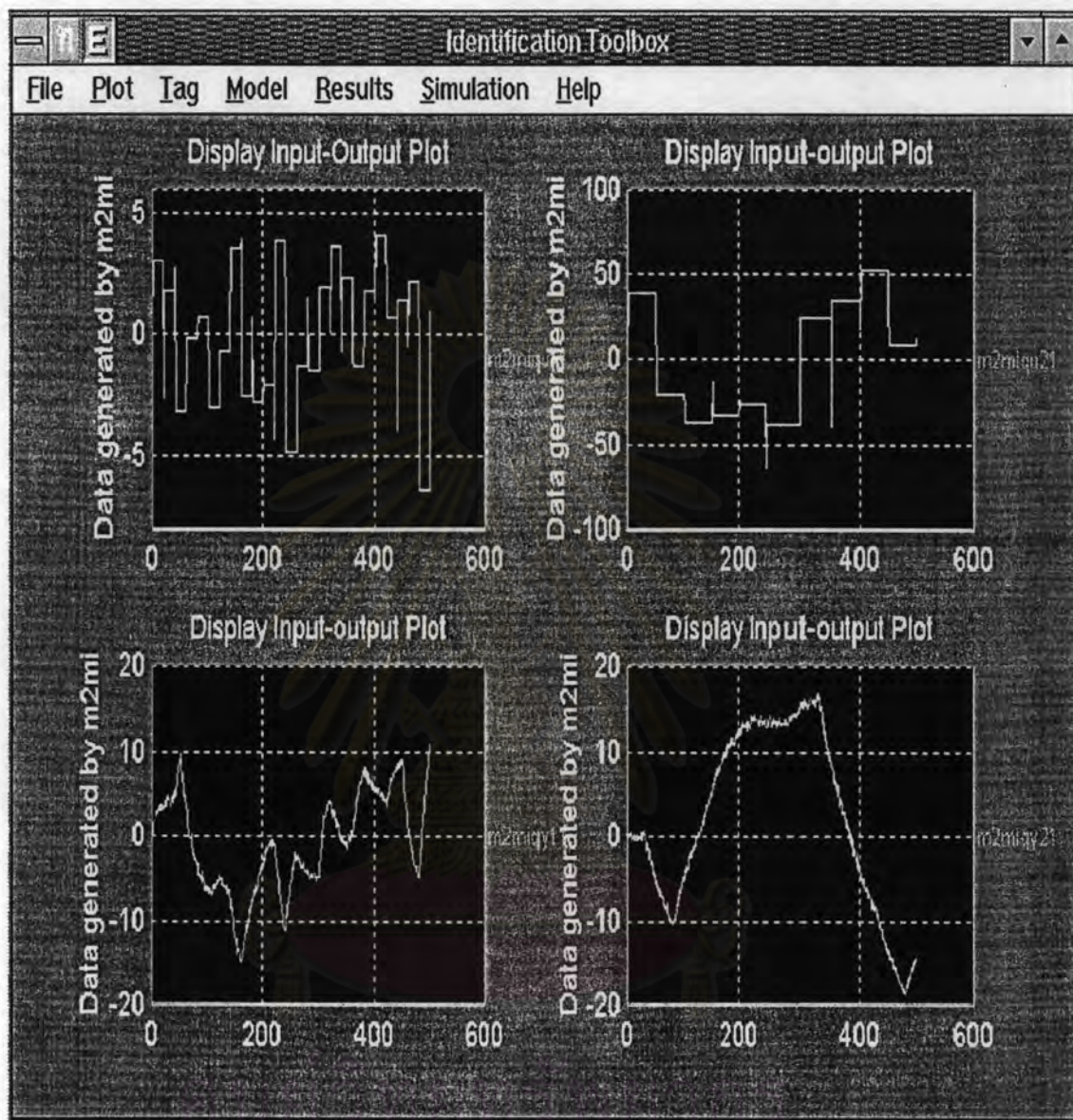
รูปที่ ค.11 กราฟแสดงสัญญาณตอบสนองของเอาท์พุท ความบริสุทธิ์ที่กั้นหอ (Q) เมื่อเปลี่ยนแปลงอินพุท พลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อต้มซ้ำกรณีพิจารณากระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสไอ



รูปที่ ค.11 กราฟแสดงสัญญาณอินพุทพลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อต้มซ้ำกรณี
พิจารณากระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสโอ

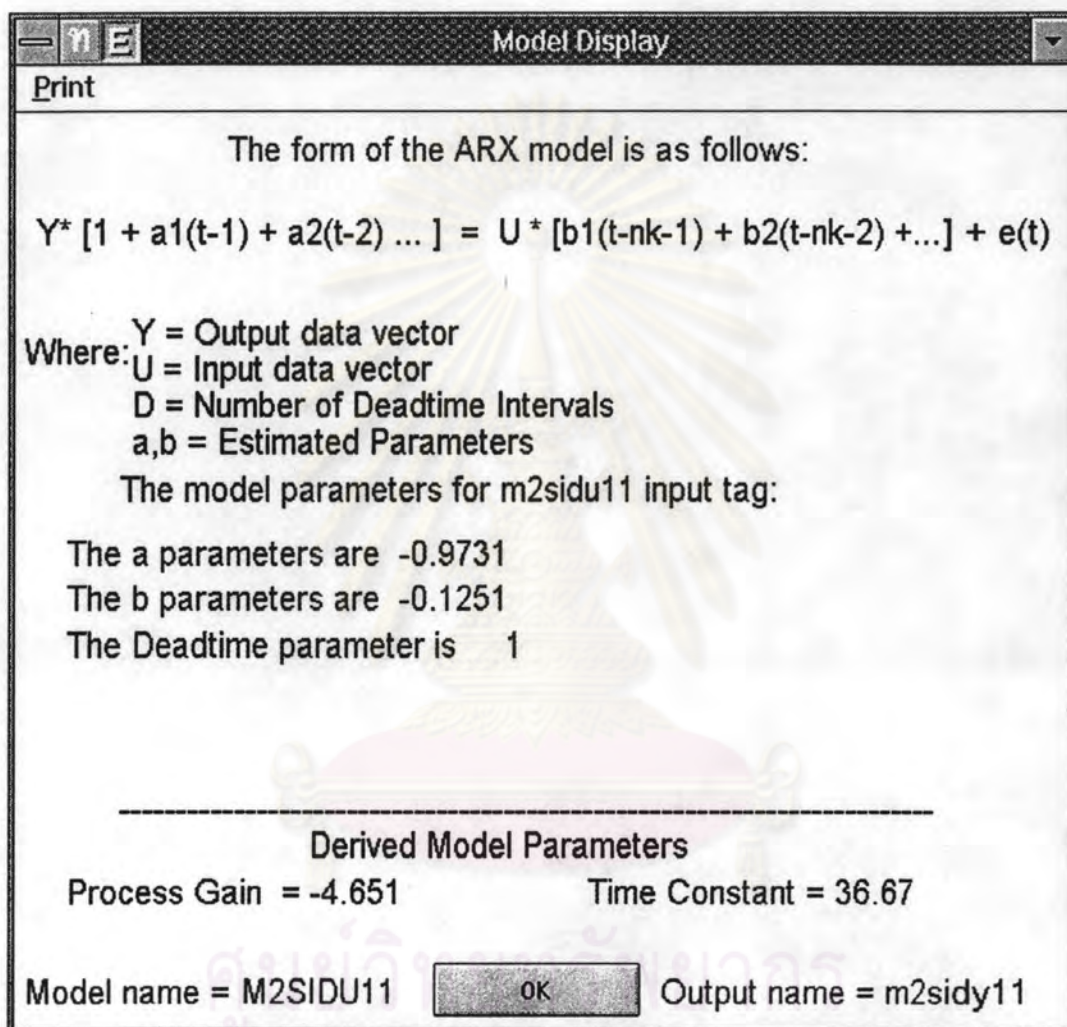


รูปที่ ค.12 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบ ในกรณีที่พิจารณากระบวนการเป็นแบบ
เอสไอเอสโอ และมีค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในหม้อต้มซ้ำเป็นอินพุท

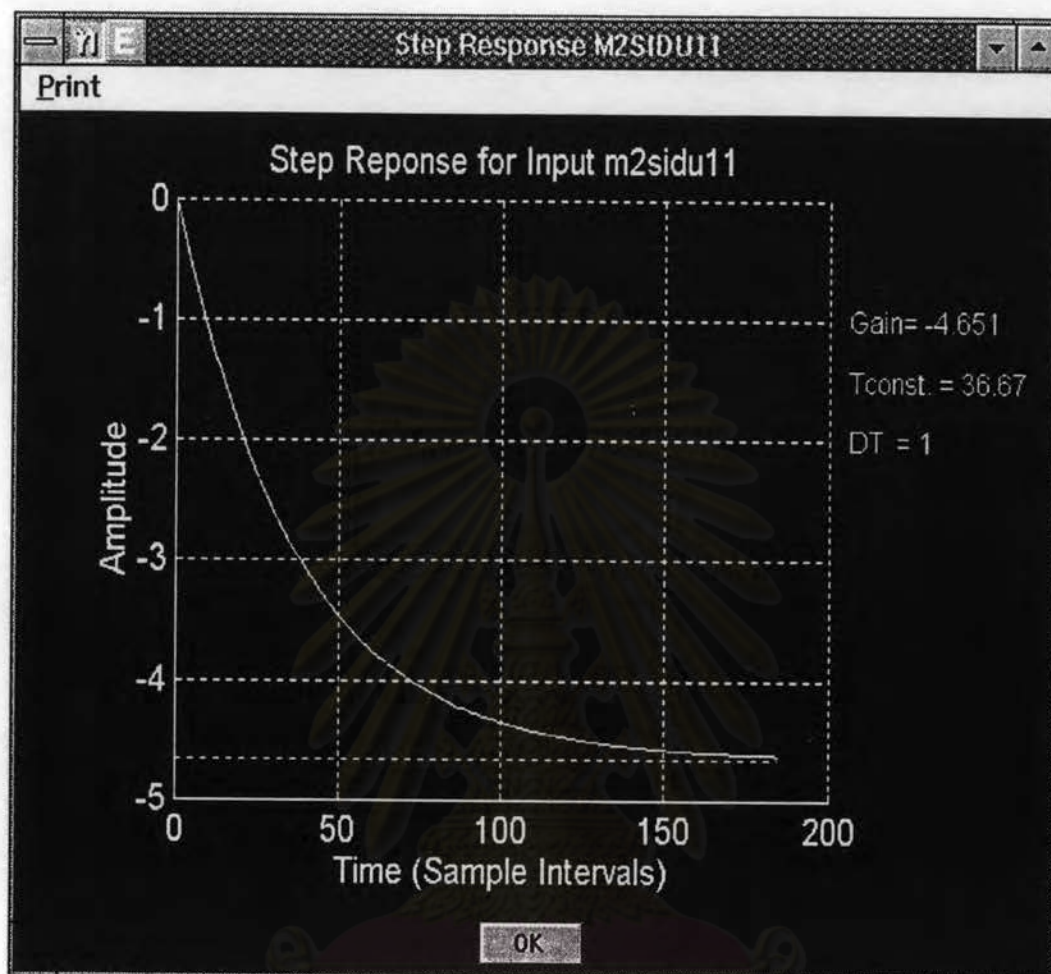


รูปที่ ค.13 กราฟแสดงข้อมูลของอินพุตและเอาต์พุตของกรณีตัวอย่างที่ 2 ในกรณีที่พิจารณากระบวนการเป็นแบบเอ็มไอเอสโอ และ เอ็มไอเอ็มไอ ซึ่งแสดงในหน้าต่างหลักของโปรแกรมการระบุหากระบวนการ

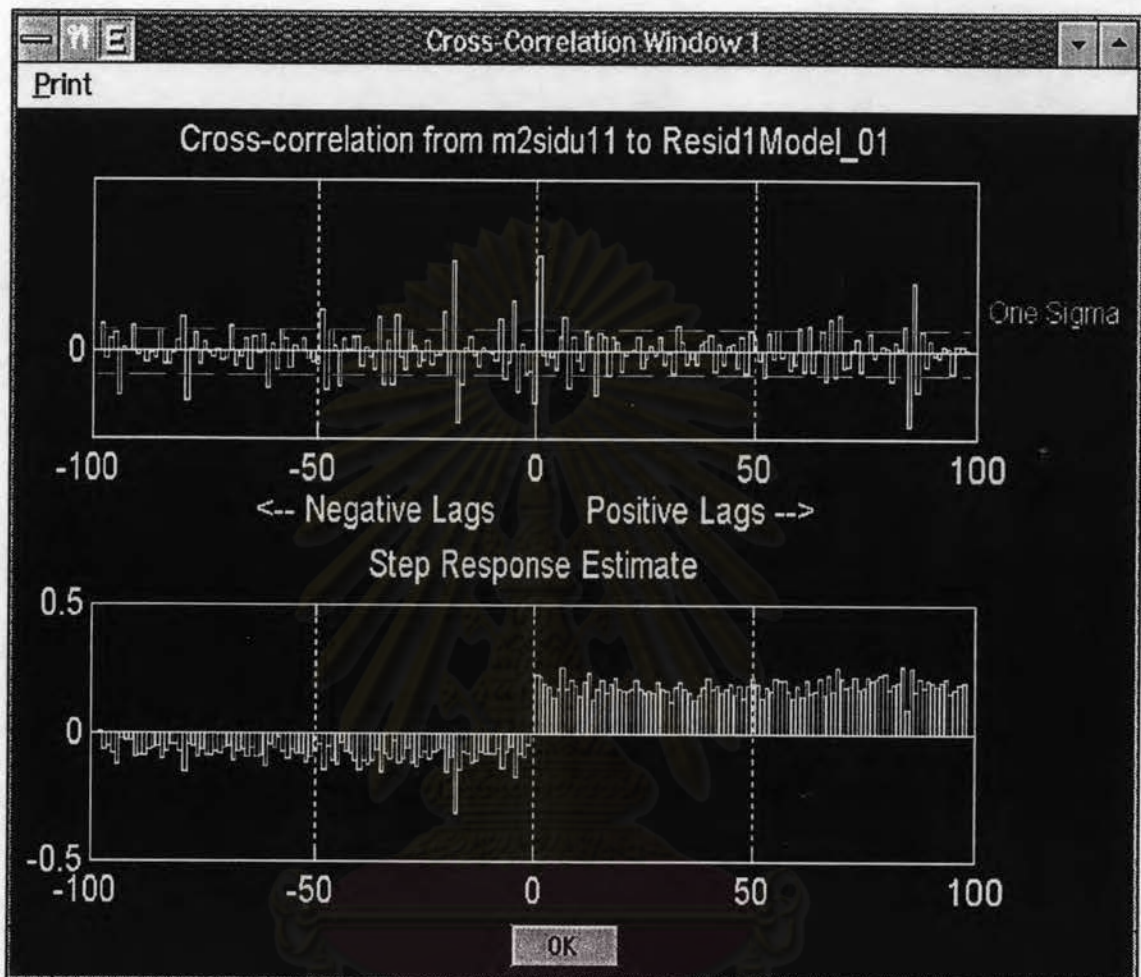
ค.3 ตัวอย่างการแสดงผลต่างๆในรูปแบบต่างๆ ในโปรแกรมการระบุหาคะบวนการ



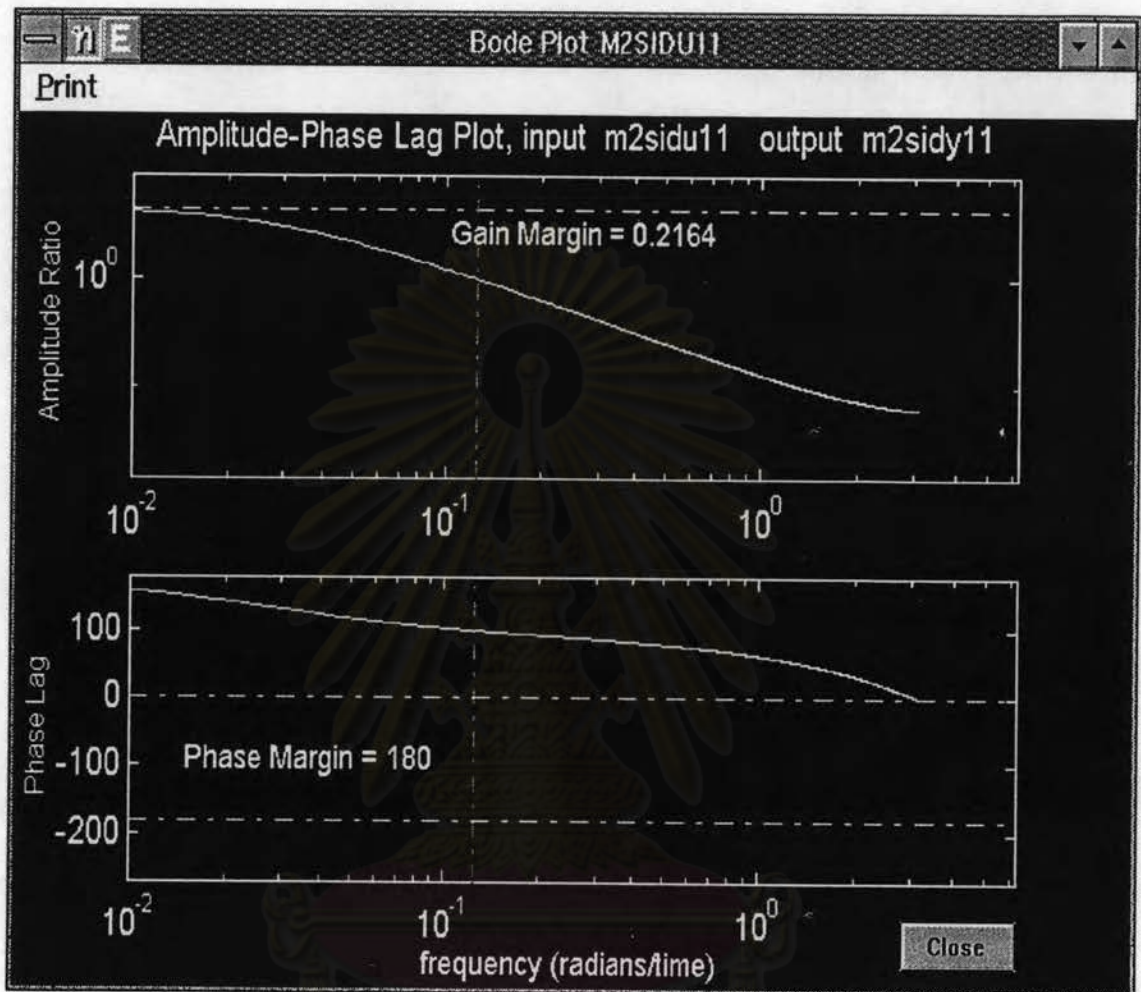
รูปที่ ค.14 แสดงตัวอย่างในการแสดงผลค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ของแบบจำลองที่เลือกใช้ในโปรแกรมการระบุหาคะบวนการ ในกรณีของ ตัวอย่างที่ 2 พิจารณาระบบการเป็นแบบเอสไอเอสไอ พิจารณาความสัมพันธ์ของ อินพุตคือ อัตราไหลของไอที่ขุดหอ กับ เอาท์พุทคือ ความดันที่ขุดหอ



รูปที่ ค.15 ตัวอย่างการแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงอินพุตแบบฟังก์ชันสเต็ปในการ
 ระบุหาคะบวนการ ในกรณีตัวอย่างที่ 2 พิจารณาระบวนการเป็นแบบ
 เอสไอเอสไอ โดยอินพุตคือ อัตราไหลของไอที่ขุดหอ (D) และเอาต์
 พุตคือ ความดันที่ขุดหอ (P)



รูปที่ ค.16 ตัวอย่างการแสดงผลของ cross-correlation ในการระบุหาคะบวนการของข้อมูล ในกรณีตัวอย่างที่ 2 ซึ่งพิจารณาคะบวนการเป็นแบบเอสไอเอสไอ โดยอินพุตคือ อัตราไหลของไอที่ขอคหอ (D) และเอาต์พุตคือ ความดันที่ขอคหอ (P)



รูปที่ ค.17 ตัวอย่างการแสดงผลของ Bode diagram ในกรณีตัวอย่างที่ 2 กรณีพิจารณา
 กระบวนการเป็นแบบเอสไอเอสไอ พิจารณา ชุดของข้อมูล อินพุตอัตรา
 ไหลของไอที่ขอคหอ กับความดันที่ขอคหอ

ประวัติผู้เขียน

นางสาว พรพรรณชะลิ ทองใหญ่ เกิดเมื่อวันที่ 3 มีนาคม 2512 สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายสายสามัญ จากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เมื่อปีการศึกษา 2529 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วิทยาศาสตร์บัณฑิต) สาขาเคมี จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2533



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย