

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

เครือวัลย์ มงคลพาณิชย์. การนำกรดซัลฟูริกกลับมาใช้น้ำทิ้งโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 2543.

จุฑาทิพย์ เพชรเชิดศักดิ์. การใช้จ่ายงานนิรวัลชนิดป้อนไปข้างหน้าแบบหลายชั้น สำหรับการระบบการประมาณค่าฟังก์ชัน และการควบคุมขั้นสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ประไพรัตน์ เอนกนันท์. การออกแบบระบบการนำกลับกรดทิ้งกลับมาใช้ในอุตสาหกรรมรีดเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

มันลิน ตันทลเวศม์. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ก. วิวรรณ: 2526-2527.

อาทร วุฒิสัตย์วงศ์กุล. การปรับปรุงกระบวนการนำกลับกรดไฮโดรคลอริกจากกรดเสียที่มีเหล็กผสมอยู่ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 2545.

### ภาษาอังกฤษ

Atchara Worasinchai. "Adsorption Kinetics of An Ion Exchange Column in Fixed-Bed Operation : A Simple Model Approach". Thesis (M.Sci.), The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, (2001).

Ben F. Brian III. and Imre Zwiebel. "Numerical Simulation of a Fixed-bed Adsorption Dynamics by the Method of Line". Recent Progress in Adsorption and Ion Exchange., AIChE Symposium Series., 83, (Number 259): 80-86.

Bureau of Industrial Environment Technology. Department of Industrial Works. Ministry of Industrial Works, "Environment Management Guideline for The Steel Processing Industry Pickling Process". (April 1999).

C.L. Mantell. "Chemical Engineering Series : Adsorption". 2nd, McGraw-Hill: (1951).

Cheol Min Kim., Jeong Hee Kang and Hee Moon. "Intraparticle Transport of Amino Acid in A Cation Exchange". Korean J. Chem. Eng., 12(1), (1995): 72-79

Chi Tien. "Adsorption Calculations and Modeling". Butterworth-Heinemann (1994).

- Cooney D.O., "The importance of axial dispersion in liquid-phase fixed-bed adsorption operation", Chem. Eng. Comm., 110, (1991): 217-231.
- D.L. Yu., and J.B. Gorn., "Implementation of neural network predictive control to a multivariable chemical reactor", Control Engineering Practice., 11, (2003): 1315-1323.
- Dave Anderson. and George McNeill., "Artificial Neural Networks Technology", A DACS State-of-the Art Report Kaman Sciences Corporation, 258 Genesee Street Utica, NY Aug 1992
- David P.B.T.B. Strik., Alexander M. Domnanovich., Loredana Zani., Rudolf and Peter Holubar., "Prediction of trace Compound in biogas from Anaerobic digestion using the MATLAB Neural Network Toolbox", Environmental Modelling & Software, 20, (2005): 803-810.
- David M. Himmelblau., "Application of Artificial Neural Networks in Chemical Engineering", Korean J. Chem. Eng., 17(4), (2000): 373-392.
- Douglas M. Ruthven., "Principles of Adsorption and Adsorption Process", John Wiley & Sons., (1984)
- H.S. Lee., C.J. Matthews., R.D. Braddock., G.C. Sander and F. Gandola., "A MATLAB method of lones template for transport equations", Environmental Modelling & Software., 19, (2004): 603-614.
- Hai M. Duong. and David C. Shallcross., "Ion Exchange Column Performance Model Incorporating Intra-Particle and Solution Phase Mass Transfer Phenomena", Department of Chemical Engineering, University of Melbourne.
- I. Ahmad. and M. Berzins., "MOL solvers for hyperbolic PDEs with source terms", Mathematics and Computers in Simulation., 56, (2001): 115-125.
- In-Soo Park., "Numerical Analysis of Fixed Bed Adsorption Kinetics Using Orthogonal Collocation", Korean J. Chem. Eng., 19(6), (2002): 1001-1006.
- Jeong Ho Yun., Heung Chul Park and Hee Moon., "Multicomponent Adsorption Calculations based on Adsorbed Solution Theory", Korean J. Chem. Eng., 13(3), (1996): 246-254.



- Jutatip Petcherdsak., "Use of multilayer feedforward networks for system identification, function approximation, and advanced control", Thesis (M.Eng.), Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, (1999).
- Khalid Alhumaizi., Redhouane Henda and Mostafa Soliman., "Numerical analysis of a reaction-diffusion-convection system", Computer & Chemical Engineering., 27, (2003):579-594.
- Ki-Sung HA., "Removal and Recovery of Ammonium ion from Wastewater by Adsorption on Natural Zeolite", Korean J. Chem. Eng., 4(2), (1987):149-153.
- LeiZhi Chen., Sing Kiong Nguang., Xiao Dong Chen and Xue Mei Li., "Modelling and optimization of fed-batch fermentation process using dynamic neural networks and genetic algorithms", Biochemical Engineering Journal, 22, (2004):51-61.
- M.A. Hussain., "Neural Network Techniques and Application in Chemical Process Control System", CRC Press., (2003).
- Maranon E., Fernandez Y., Suarez F.J., Alonso F.J. and Sastre H., "Treatment of Acid Pickling Baths by Means of Anionic Resins", Industrial and Engineering Chemistry Research., 39(9), (Sep 2000):3371-3376.
- Maranon E., Fernandez Y., Suarez F.J., Alonso F.J. and Sastre H., "Preliminary Study of Iron Removal from Hydrochloric Pickling Liquor by Ion Exchange", Industrial and Engineering Chemistry Research., 38, (1999):2783-2786.
- Mark E. Davis., "Numerical Methods and Modeling for Chemical Engineers", John Wiley & Sons., (1984).
- Min-Bae Kim., Jong Hong Moon., Chang-Ha Lee., Hyungwoong Ahn and Wonihl Cho., "Effect of Heat on the Transient Dynamics of temperature Swing Adsorption Process", Korean J. Chem. Eng., 21(3), (2004):703-711.
- Mohamed Azlan Hussain., Paisan Kittisupakorn and Wachira Daosud., "Implementation of Neural -Network-Based Inverse-Model Control Strategies on an Exothermic Reactor", Journal of the Science Society of Thailand., 27(1), (2001):41-45.
- N.S. Raghavan. and D.M. Ruthven., "Numerical Simulation of a Fixed-bed Adsorption Column by the Method of Orthogonal Collocation", AIChE Journal., 29(6), (November 1983):922-925.

- Negro C., Blanco P., Dufour J., Latorre R., Formoso A. and Lopez F., "Treatment of Hydrochloric Acid Waste Pickling Liquors", *Journal of Environment Science and Health, Part A : Environment Science and Engineering.*, 28(8), (Oct 1993): 16561-1667.
- "Neural Network ToolBox user's guide", The Math Works Inc., Massachusetts, USA, 1992
- Paisan Kittisupakorn and Pornsiri Kaewpradit, "Integrated Data Reconciliation with Generic Model Control for the Steel Pickling Process", *Korean J. Chem. Eng.*, 20(6), (2003): 985-991.
- Paisan Kittisupakorn., Nongluk Polruksa and Wachira Daosud, "Neural Networks Model for the Estimation of Melt Flow Rate and Density of Polymers", 9th APCChE Congress and CHEMECA 2002.
- S.H.Lin. and C.D.Kiang, "Chromic acid recovery from waste acid solution by ion exchange process : equilibrium and column ion exchange modeling", *Chemical Engineering Journal.*, 92, (2003): 193-199.
- S.M.A.Razavi., S.M.Mousavi and S.A.Mortazavi., "Dynamic prediction of milk ultrafiltration performance A neural network approach", *Chemical Engineering Science.*, 58, (2003): 4185-4195.
- Sang Hyun Sohn., Sea Cheon Oh and Yeong-koo Yeo., "Prediction of Air Pollutant by Using an Artificial Neural Network", *Korean J. Chem. Eng.*, 16(3), (1999): 368-387.
- Sea Cheon Oh., Young Se Oh and Yeong-koo Yeo., "Modeling And Simulation of A Nitric Acid Recovery Process", *Korean J. Chem. Eng.*, 12(3), (1995): 366-371.
- Selvaraj Rengaraj., Younghun Kim., Cheol Kyun Joo., Kyunghee Choi and Jongheop Yi., "Batch Adsorptive Removal of Copper Ions in Aqueous Solutions by Ion Exchange Resins: 1200H and IRN97H", *Korean J. Chem. Eng.*, 21(1), (2004): 187-194.
- Sukanta Basu., Paul F.Henshaw., Nihar Biswas. and Hon K.Kwan., "Prediction of Gas-Phase Adsorption Isotherms Using Neural Nets", *The Canadian Journal Chemical Engineering.* , 80, ( August 2002).
- Seung-Jai Kim., Ki-Hyun Lim., Kwang-Hyun Joo., Myung-Jin Lee., Sang-Gyu Kil and Sung-Yong Cho., "Removal of Heavy Metal-Cyanide Complexes by Ion Exchange", *Korean J. Chem. Eng.*, 19(6), (2002): 1078-1084.



- Tan Henry., "Treatment of Chromium Plating Rinse Water by Ion Exchange", Journal of The Chinese Institute of Chemical Engineers., 25(2), (Mar 1994):77
- Tan Henry., "Chromic Acid Recovery from Chrome Plating Rinse Water by Ion Exchange", Journal of The Chinese Institute of Chemical Engineers., 26(4), (Jul 1995):253-261.
- Yiu Wah Wong. and J.L.Niedzwiecki., "Model for Multicomponent Fixed-Bed Adsorption", Recent Advance in Adsorption and Ion Exchange, AIChE Symposium Series., 78(219), (1982):120-127.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ก

### การทำสมดุลมวลสารของการดูดซับ

1. อัตราการถ่ายเทมวล (rate of mass transfer) ในการถ่ายเทในกระบวนการทางเคมีสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วนคือ การถ่ายเทโมเมนตัม การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวล โดยทั่วไปสมการการถ่ายเททั้งสามมีลักษณะคล้ายกัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

Rate of a transfer process = driving force / resistance

$$\psi_z = -\delta \frac{d\Gamma}{dz} \quad \text{สมการ ก.1}$$

โดยผู้ที่ตั้งกฎเกี่ยวกับอัตราการแพร่ของสาร ว่า อัตราการถ่ายเทมวลต่อพื้นที่ตั้งฉากกับการถ่ายเทมวล จะแปรผันโดยตรงกับเกรเดียนท์ของความเข้มข้น (หรือผลต่างความเข้มข้น หากรดด้วยระยะทางระหว่างความเข้มข้นทั้งสอง) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$J_{AZ} = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz} \quad \text{สมการ ก.2}$$

$J_{AZ}$  คืออัตราการการแพร่ของสารถูกดูดซับ A ในสารละลาย Fluid ในทิศทางต่อพื้นที่ตั้งฉากกับการแพร่ (molar flux)

$D_{AB}$  คือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารถูกดูดซับ ไปยัง ตัวดูดซับ

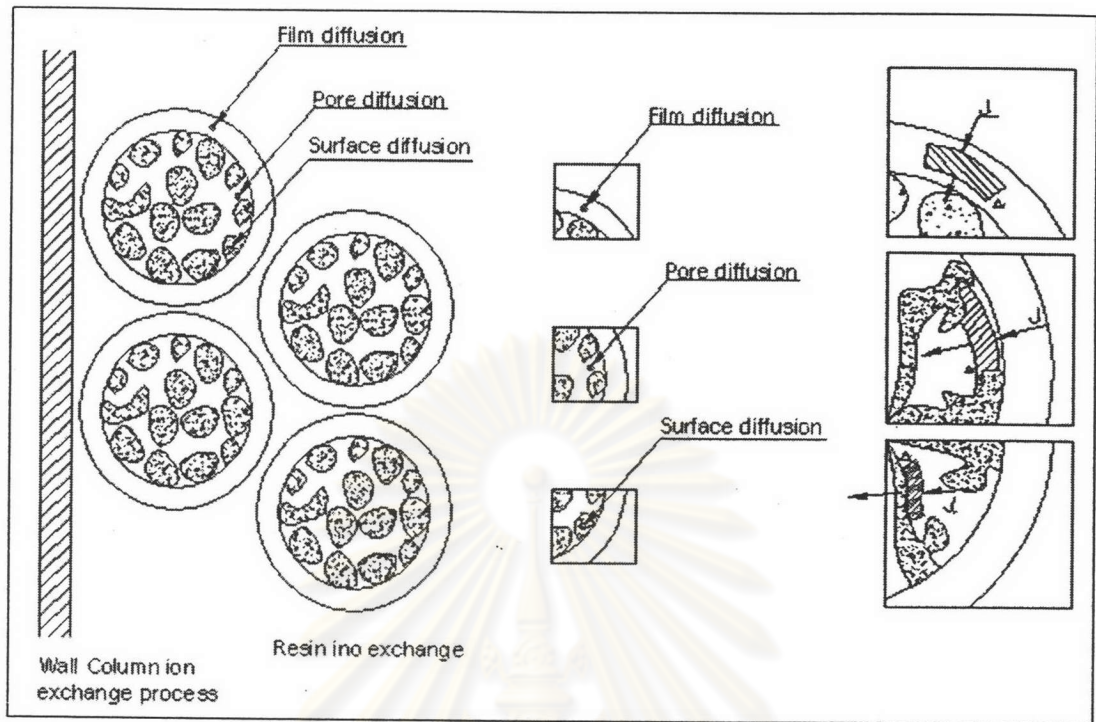
$c_A$  คือความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ A ในชั้นของเหลว

$z$  คือระยะห่างระหว่างความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงที่

ในการทำสมดุลมวลสารของการดูดซับ ซึ่งจะได้สมการทางคณิตศาสตร์ของการดูดซับ ทั้งหมดจะมีลักษณะเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Patial Differential Equation, PDE) สามารถแบ่งได้ 2 ส่วนด้วยกันคือ

#### 1. Microscopic Balance Equation

คือการทำสมดุลมวลสารในส่วนจุลภาค ซึ่งในส่วนนี้เราพิจารณาทำสมดุลบริเวณเม็ดเรซิน หรือตัวดูดซับ สามารถแบ่งได้เป็น 3 สมการคือ 1. การถ่ายเทมวลภายนอก (Film Diffusion Balance), 2. การแพร่เข้าสู่โพรงรูพรุน (Pore Diffusion Balance) และ 3. การแพร่เข้าสู่ผิวรูพรุน (Surface Diffusion Balance) จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ที่บอกถึงขั้นตอนการถ่ายเท และการดูดซับ ของตัวดูดซับ และเม็ดเรซินในภาคผนวกนี้จะแสดงให้เห็นถึงที่มาของสมการการถ่ายเท และดูดซับดังนี้



รูปที่ ก.1 แสดงกลไกการแพร่ ละการดูดซับภายในเม็ดเรซิน

➤ Film Diffusion Balance : เมื่อพิจารณาจากภาพการถ่ายเทมวลภายนอกเราสามารถสร้างสมการอนุรักษ์รอบชั้นฟิล์มและผิวตัวดูดซับ หรือผิวเม็ดเรซิน ดังนี้

$$\begin{aligned}
 & : \text{[input]} - \text{[output]} + \text{[Rate of reaction]} = \text{[Rate of accumulate]} \\
 & : 4\pi r^2 \Delta r [c_{r+\Delta r} - c_r] + \text{[Rate of reaction]} = (4\pi r^2 J_r|_r - 4\pi (r+\Delta r)^2 J_r|_{r+\Delta r}) \Delta t \\
 \div 4\pi r^2 \Delta r \Delta t & : \frac{[c_{r+\Delta r} - c_r]}{\Delta t} = \frac{r^2 J_r|_r - (r+\Delta r)^2 J_r|_{r+\Delta r}}{r^2 \Delta r} \\
 \lim_{\substack{\Delta r \rightarrow 0 \\ \Delta t \rightarrow 0}} & : \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{1}{r^2} \frac{\Delta r^2 J_r}{\Delta r} \\
 & : \frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{1}{r^2} \frac{\partial r^2 J_r}{\partial r}; J_r = -D \frac{\partial c}{\partial r} \\
 & : \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D \frac{\partial c}{\partial r} \right)
 \end{aligned}$$

Film Diffusion      สมการ ก.3

ซึ่งเป็นการแสดงถึงการถ่ายเทมวลในส่วนของชั้นฟิล์ม เป็นขั้นแรกก่อนการถ่ายเทต่อไปยังโพรงรูพรุน และส่งต่อไปยังรูพรุน ของตัวดูดซับ โดยความเข้มข้นของสารถูกดูดซับนั้นจะแปรผันตามเวลา และระยะระหว่างตัวดูดซับ และ ชั้นฟิล์ม ดังรูปที่ ก.1



- Pore Diffusion Balance เมื่อพิจารณาจากภาพการถ่ายเทมวลภายนอกเราสามารถสร้างสมการอนุรักษ์รอบบริเวณโพรงรูพรุนของตัวดูดซับ

$$\begin{aligned}
 & : \text{[input]} - \text{[output]} + \text{[Rate of reaction]} = \text{[Rate of accumulate]} \\
 & : \varepsilon_a 4\pi r^2 \Delta r [c|_{r+\Delta r} - c|_r] + (1 - \varepsilon_a) 4\pi r^2 \Delta r [q|_{r+\Delta r} - q|_r] = (\varepsilon_a 4\pi r^2 J_r|_r - \varepsilon_a 4\pi (r + \Delta r)^2 J_r|_{r+\Delta r}) \Delta t \\
 \div \varepsilon_a 4\pi r^2 \Delta r \Delta t & : \frac{[c|_{r+\Delta r} - c|_r]}{\Delta t} + \left( \frac{1 - \varepsilon_a}{\varepsilon_a} \right) \frac{[q|_{r+\Delta r} - q|_r]}{\Delta t} = \frac{r^2 J_r|_r - (r + \Delta r)^2 J_r|_{r+\Delta r}}{r^2 \Delta r} \\
 \lim_{\substack{\Delta r \rightarrow 0 \\ \Delta t \rightarrow 0}} & : \frac{\Delta c}{\Delta t} + \left( \frac{1 - \varepsilon_a}{\varepsilon_a} \right) \frac{\Delta q}{\Delta t} = -\frac{1}{r^2} \frac{\Delta r^2 J_r}{\Delta r} \\
 & : \frac{\partial c}{\partial t} + \left( \frac{1 - \varepsilon_a}{\varepsilon_a} \right) \frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{1}{r^2} \frac{\partial r^2 J_r}{\partial r}; J_r = -D_p \frac{\partial c}{\partial r} \\
 & : \frac{\partial c}{\partial t} + \left( \frac{1 - \varepsilon_a}{\varepsilon_a} \right) \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D_p \frac{\partial c}{\partial r} \right) \quad \text{Pore Diffusion สมการ ก.4}
 \end{aligned}$$

ซึ่งเป็นการแสดงถึงการถ่ายเทมวลในส่วนของโพรงรูพรุน เป็นขั้นสองในขั้นนี้ความเข้มข้นสารถูกดูดซับได้เคลื่อนตัวเข้าไปในโพรงรูพรุน โดยความเข้มข้นของสารถูกดูดซับนั้นจะแปรผันตามเวลาและระยะระหว่างตัวดูดซับ และ โพรงรูพรุน และความเข้มข้นที่แพร่เข้ามาจะอยู่ในชั้นของเหลว และชั้นตัวดูดซับดังรูปที่ ก.1

- Surface Diffusion Balance เมื่อพิจารณาจากภาพการถ่ายเทมวลภายนอกเราสามารถสร้างสมการอนุรักษ์รอบบริเวณผิวรูพรุนของตัวดูดซับ

$$\begin{aligned}
 & : \text{[input]} - \text{[output]} + \text{[Rate of reaction]} = \text{[Rate of accumulate]} \\
 & : \varepsilon_c 4\pi r^2 \Delta r [q|_{r+\Delta r} - q|_r] = (\varepsilon_c 4\pi r^2 J_r|_r - \varepsilon_c 4\pi (r + \Delta r)^2 J_r|_{r+\Delta r}) \Delta t \\
 \div \varepsilon_c 4\pi r^2 \Delta r \Delta t & : \frac{[q|_{r+\Delta r} - q|_r]}{\Delta t} = \frac{r^2 J_r|_r - (r + \Delta r)^2 J_r|_{r+\Delta r}}{r^2 \Delta r} \\
 \lim_{\substack{\Delta r \rightarrow 0 \\ \Delta t \rightarrow 0}} & : \frac{\Delta q}{\Delta t} = -\frac{1}{r^2} \frac{\Delta r^2 J_r}{\Delta r} \\
 & : \frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{1}{r^2} \frac{\partial r^2 J_r}{\partial r}; J_r = -D_c \frac{\partial q}{\partial r} \\
 & : \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D_c \frac{\partial q}{\partial r} \right) \quad \text{Surface Diffusion สมการ ก.5}
 \end{aligned}$$

ซึ่งเป็นการแสดงถึงการถ่ายเทมวลในส่วนของผิวรูพรุน เป็นขั้นสุดท้าย ในขั้นนี้ความเข้มข้นสารถูกดูดซับได้เคลื่อนตัวจากโพรงรูพรุน แพร่เข้าสู่ผิวรูพรุนโดยความเข้มข้นของสารถูกดูดซับนั้นจะแปรผันตามเวลาและระยะระหว่างผิวรูพรุนของตัวดูดซับ และลักษณะความเข้มข้นที่แพร่เข้ามาอยู่ในขั้นตัวดูดซับดังรูปที่ ก.1

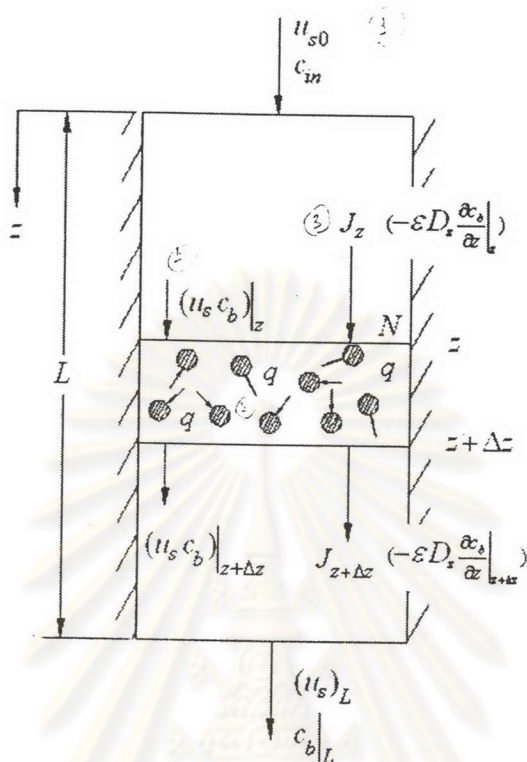
## 2. Macroscopic Balance Equation

คือการทำสมดุลมวลสารในส่วนมหภาค ซึ่งในส่วนนี้เราจะพิจารณาเกี่ยวกับพฤติกรรมพลศาสตร์ของการดูดซับ ขั้นการดูดซับ และขั้นการถ่ายเทมวลที่มีความสัมพันธ์สมการอัตรา ที่เหมาะสมกับเงื่อนไขเริ่มต้น และเงื่อนไขขอบของกระบวนการดูดซับ โดยการตั้งสมการอนุรักษ์มวลรอบๆ คอลัมน์ จะได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่นำไปใช้ทำนายพฤติกรรมการดูดซับ เช่นการทำนายโพลีไฟลด์ความเข้มข้นโดยใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Simulation) ด้วยวิธีการที่ต่างๆกัน เช่น Orthogonal collocation (Wayne B. Bolden และ Frank R. Groves, Jr หรือ LU Jian-gang) หรือ Method of Line (Ben F. Brian และ imre Zwibel) เป็นต้น การพิจารณาตั้งสมการอนุรักษ์มวลของฟีกเบดแบบคอลัมน์ (Fixed – bed Macroscopic Conservation Equation) นี้จะประกอบด้วยการไหลของของของไหล และตัวดูดซับ (adsorbent pellets) ซึ่งเราจะเริ่มพิจารณาจากสมการการเปลี่ยนแปลงของขั้นตัวดูดซับ (the pellets phase) และขั้นของไหล (fluid phase) สำหรับการดูดซับแบบหนึ่งองค์ประกอบ (single-component adsorption) ภายใต้อุณหภูมิคงที่ (isothermal)

## 2. สมการอนุรักษ์มวลรวม

โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงการดูดซับในระดับจุลภาค (Microscopic) เราจะพอพิจารณาได้ 2 ส่วนคือ 1. Pore Diffusion 2. Surface Diffusion แต่เมื่อกล่าวถึงการดูดซับในระดับมหภาค (Macroscopic) เราจะพิจารณาถึง การดำเนินงานในรูปแบบต่างๆ เช่นแบบเบตช์ (Batch) , แบบฟีกเบด (Fixed-bed) , แบบฟลูอิดไดเบด (Fluidized-bed) เป็นต้น และการตั้งสมการอนุรักษ์มวลรวมของกระบวนการเริ่มต้นด้วยการกำหนดขอบเขต หรือที่เรียกว่า Control Volume เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตมวลสารที่ไหลเข้า-ออก โดยขอบเขตนี้กำหนดด้วยขอบของอุปกรณ์ในการดูดซับ และการตั้งสมการอนุรักษ์มวลรวมอย่างง่ายเป็นดังนี้





รูปที่ ก.2 แสดงการกำหนดขอบเขตมวลสารเข้า-ออกแบบฟิกเบด

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Rate of accumulation of} \\ \text{adsorbete mass within} \\ \text{the control volume} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Rate of net adsorbete input} \\ \text{in the control volume} \\ \text{associated with bulk flow} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Rate of adsorbete} \\ \text{efflux from} \\ \text{the control volume} \end{array} \right\}$$

ในที่นี้ข้อกล่าวเฉพาะสมการอนุรักษ์มวลรวมของการดูดซับแบบฟิกเบด (Fixed-bed adsorption) ดังนี้

- อัตราการสะสมของสารถูกดูดซับในชั้นของไหล Rate of accumulation of adsorbete mass:

$$(\Delta z) A_c \varepsilon \left( \frac{\Delta c_b}{\Delta t} \right) \quad \text{สมการ ก.6}$$

- อัตราการเข้าออกของสารถูกดูดซับ Rate of net adsorbete input associated with mass flow:

$$A_c (u_s c_b)_z - A_c (u_s c_b)_{z+\Delta z} \\ - (A_c (u_s c_b)_{z+\Delta z} - A_c (u_s c_b)_z) = -A_c \Delta u_s c_b \quad \text{สมการ ก.7}$$

3. อัตราการเข้าออกของสารถูกดูดซับในตัวดูดซับ Rate of adsorbate efflux:

- อัตราการแพร่เข้าสู่ตัวดูดซับ

Due to Dispersion Flux: 
$$-(A_c J|_{z+\Delta z} - A_c J|_z) = -A_c \Delta J_z$$
 สมการ ก.8

- อัตราการแพร่เข้าสู่ตัวดูดซับ

Due to Uptake by pellet: 
$$-(1-\varepsilon)(\Delta z) A_c \frac{\Delta q}{\Delta t}$$
 สมการ ก.9

พิจารณารวมทั้ง 3 ส่วนดังนี้

$$\begin{aligned} & : (\Delta z) A_c \varepsilon \left( \frac{\Delta c_b}{\Delta t} \right) = -A_c \Delta u_s c_b - A_c \Delta J_z - (1-\varepsilon)(\Delta z) A_c \frac{\Delta q}{\Delta t} \\ \div (\varepsilon A_c \Delta z) & : \left( \frac{\Delta c_b}{\Delta t} \right) = -\frac{u_s \Delta c_b}{\varepsilon \Delta z} - \frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta J_z}{\Delta z} - \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \frac{\Delta q}{\Delta t} \\ \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow 0 \\ \Delta z \rightarrow 0}} & : \frac{\partial c_b}{\partial t} = -\frac{u_s}{\varepsilon} \frac{\partial c_b}{\partial z} - \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial J_z}{\partial z} - \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \frac{\partial q}{\partial t} \end{aligned}$$

นำ Fick's Law มาประยุกต์ใช้ในสมการจะได้

$$J_z = -\varepsilon D_z \frac{\partial c_b}{\partial z} \quad : \quad \frac{\partial c_b}{\partial t} = -\frac{u_s}{\varepsilon} \frac{\partial c_b}{\partial z} + D_z \frac{\partial^2 c_b}{\partial z^2} - \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon} \frac{\partial q}{\partial t}$$
 สมการ ก.10

ส่วนสมการการเปลี่ยนแปลงของสารถูกดูดซับที่เข้าสู่สมดุลระหว่างในชั้นของไหล และตัวดูดซับ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{3}{R_p} k_f (c_b - c_p)$$
 สมการ ก.11

โดยที่  $k_f$  คือสัมประสิทธิ์อัตราการถ่ายเทมวล;  $c_p$  คือความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในผิวเรซิน;  $R_p$  คือรัศมีของเม็ดเรซิน. และแทนค่ากลับเข้าสู่สมการ ก.10 จะได้สมการตามบทที่ 4 ดังนี้

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \left( \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right) \frac{3}{R_p} k_f (c - c_p) = -\frac{F_L}{\varepsilon A_c} \frac{\partial c}{\partial z} + D_L \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$
 สมการ ก.12

และโฟโพลีความเข้มข้นสามารถนำสมการนี้มาพิจารณา เพื่อให้สามารถทราบถึงพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของการดูดซับของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนได้



ภาคผนวก ข

1. แสดงการเก็บรวบรวมข้อมูลดิบและการวิเคราะห์ความเข้มข้นไอออนเหล็ก และความเข้มข้นกรด ตารางที่ ข.1 แสดงข้อมูลดิบจากการบำบัดกรดเสียผ่านหอกรีนแลกเปลี่ยนไฮออนบวก

line	Cation 110 l/hr				Cation 140 l/hr				Cation 160 l/hr				Cation 180 l/hr				Cation 200 l/hr			
	ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น		ความเข้มข้น			
	[Fe] ppm	[HCl] mol/L	[Fe] ppm	[HCl] mol/L	[Fe] ppm	[HCl] mol/L	[Fe] ppm	[HCl] mol/L	[Fe] ppm	[HCl] mol/L	[Fe] ppm	[HCl] mol/L	[Fe] ppm	[HCl] mol/L	[Fe] ppm	[HCl] mol/L	[Fe] ppm	[HCl] mol/L		
	6,360.00				6,290.00				6,340.00				6,250.00				6,550.00			
	0.9680				0.9833				0.9890				0.9840				0.9958			
	1 BV 13L				1 BV 13L				1 BV 13L				1 BV 13L				1 BV 13L			
	Conc HCl 110 l/hr				Conc HCl 140 l/hr				Conc HCl 160 l/hr				Conc HCl 180 l/hr				Conc HCl 200 l/hr			
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
1	0.4	3.00	0.11	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00		
2	0.4	3.00	0.11	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00		
3	0.4	3.00	0.11	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00	0.14	0.00		
4	0.8	5.53	0.31	0.00	0.42	0.00	0.42	0.00	0.42	0.00	0.42	0.00	0.42	0.00	0.42	0.00	0.42	0.00		
5	1.3	7.265	0.38	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00		
6	1.3	7.265	0.38	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00		
7	1.7	6.00	0.99	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00		
8	1.7	6.00	0.99	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00		
9	1.3	7.265	0.38	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00		
10	1.3	7.265	0.38	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00	0.56	0.00		
11	2.1	9.70	1.25	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00		
12	2.1	9.70	1.25	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00		
13	2.5	11.24	1.32	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00		
14	2.5	11.24	1.32	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00	1.05	0.00		
15	3.0	13.63	1.30	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
16	3.0	13.63	1.30	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
17	3.8	14.88	1.37	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
18	3.8	14.88	1.37	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
19	4.2	18.24	1.36	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
20	4.2	18.24	1.36	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
21	4.7	21.36	1.34	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
22	4.7	21.36	1.34	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
23	5.5	23.64	1.36	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
24	5.5	23.64	1.36	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00	1.13	0.00		
25	5.9	27.00	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
26	5.9	27.00	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
27	6.3	30.60	1.27	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
28	6.3	30.60	1.27	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
29	6.7	33.96	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
30	6.7	33.96	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
31	7.1	37.32	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
32	7.1	37.32	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
33	7.5	40.68	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
34	7.5	40.68	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
35	7.9	44.04	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
36	7.9	44.04	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
37	8.3	47.40	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
38	8.3	47.40	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
39	8.7	50.76	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
40	8.7	50.76	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
41	9.1	54.12	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
42	9.1	54.12	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
43	9.5	57.48	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
44	9.5	57.48	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
45	9.9	60.84	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
46	9.9	60.84	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
47	10.3	64.20	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
48	10.3	64.20	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
49	10.7	67.56	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
50	10.7	67.56	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
51	11.1	70.92	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
52	11.1	70.92	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
53	11.5	74.28	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
54	11.5	74.28	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
55	11.9	77.64	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
56	11.9	77.64	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
57	12.3	81.00	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00		
58	12.3	81.00	1.26	0.00	1.24	0.00	1.24	0.00	1.2											





4-4 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	4.14e+5	2.44e+5	1.56e+5	2.07e+5	1.04e+6
[Fe]	RMS	643	494	395	455	1.02e+3
RMSP	%(Error index)	16.7	11.5	8.55	8.86	18.0
MP	%(Error index)	24.5	29.8	27.1	28.4	90.5
[HCl]	MSE	0.0049	0.00757	0.00331	0.00236	0.0128
[HCl]	RMS	0.0700	0.087	0.0575	0.0486	0.113
RMSP	%(Error index)	6.02	7.67	4.88	4.13	9.71
MP	%(Error index)	27.2	36.7	22.7	18.4	48.7

5<sup>th</sup> NNs Model

5-1 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	3.92e+5	2.96e+5	5.86e+5	5.01e+5	7.12e+5
[Fe]	RMS	626	544	765	708	844
RMSP	%(Error index)	16.3	12.7	16.5	13.8	15.0
MP	%(Error index)	35.9	18.7	27.9	23.0	18.0
[HCl]	MSE	0.00235	0.00523	0.00195	0.0065	0.0501
[HCl]	RMS	0.04840	0.0723	0.0442	0.0806	0.224
RMSP	%(Error index)	4.16	6.38	3.74	6.85	19.2
MP	%(Error index)	9.05	12.8	5.75	9.26	21.8

5-2 NNs Model(l/hr)***		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	3.44e+5	1.94e+5	4.89e+5	2.87e+5	1.86e+5
[Fe]	RMS	586	440	699	536	432
RMSP	%(Error index)	15.3	10.3	15.1	10.4	7.65
MP	%(Error index)	35.9	18.7	27.9	23.0	18.0
[HCl]	MSE	0.00163	0.000915	0.000207	0.000124	
	0.000866					
[HCl]	RMS	0.04040	0.0302	0.0144	0.0112	0.0294
RMSP	%(Error index)	3.47	2.67	1.22	0.948	2.53
MP	%(Error index)	9.05	12.8	3.6	2.31	11.9

\*\*\* แสดงแบบจำลองที่นำไปใช้ทำนายได้ดีที่สุดสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนบวก



5-3 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	3.57e+5	2.30e+5	8.31e+5	1.59e+6	3.28e+5
[Fe]	RMS	598	479	912	1.26e+3	573
RMSP	%(Error index)	15.6	11.2	19.7	24.5	10.2
MP	%(Error index)	35.9	18.7	27.9	26.6	18.0
[HCl]	MSE	0.00142	0.00104	0.00202	0.00717	0.00183
[HCl]	RMS	0.03770	0.0323	0.0449	0.0847	0.0428
RMSP	%(Error index)	3.24	2.85	3.81	7.2	3.67
MP	%(Error index)	9.05	12.8	5.52	9.3	11.9

5-4 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	6.62e+5	2.98e+5	5.30e+5	3.93e+5	2.33e+5
[Fe]	RMS	814	546	728	627	483
RMSP	%(Error index)	21.2	12.8	15.7	12.2	8.56
MP	%(Error index)	35.9	18.7	27.9	23.0	18.0
[HCl]	MSE	0.00265	0.00198	0.00131	0.00112	0.00239
[HCl]	RMS	0.05150	0.0445	0.0362	0.0334	0.0489
RMSP	%(Error index)	4.42	3.93	3.07	2.84	4.2
MP	%(Error index)	9.05	12.8	4.16	3.72	11.9

6 <sup>th</sup> NNs Model		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	8.80e+5	8.37e+5	5.36e+5	4.02e+5	3.53e+5
[Fe]	RMS	938	915	732	634	594
RMSP	%(Error index)	24.4	21.4	15.8	12.4	10.5
MP	%(Error index)	34.5	34.7	34.9	34.4	32.0
[HCl]	MSE	0.00277	0.00116	0.000791	0.000382	0.00167
[HCl]	RMS	0.0526	0.0341	0.0281	0.0196	0.0409
RMSP	%(Error index)	4.52	3.01	2.38	1.65	3.51
MP	%(Error index)	16.2	12.2	7.04	5.16	13.3

6-2 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	3.92e+5	9.40e+5	6.33e+5	6.16e+5	8.79e+5
[Fe]	RMS	626	969	795	785	937
RMSP	%(Error index)	16.3	22.7	17.2	15.3	16.6
MP	%(Error index)	35.9	34.7	34.9	34.4	32.6
[HCl]	MSE	0.00235	0.00548	0.00254	0.00675	0.0509
[HCl]	RMS	0.04840	0.074	0.0504	0.0822	0.226
RMSP	%(Error index)	4.16	6.53	4.27	6.98	19.4
MP	%(Error index)	9.05	12.2	7.04	9.26	21.8

6-3 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	8.94e+5	8.73e+5	8.79e+5	1.70e+6	4.95e+5
[Fe]	RMS	945	934	937	1.30e+3	703
RMSP	%(Error index)	24.6	21.8	20.3	25.4	12.5
MP	%(Error index)	34.5	34.77	34.9	34.4	32.6
[HCl]	MSE	0.00256	0.00129	0.0026	0.00743	0.00264
[HCl]	RMS	0.05060	0.0359	0.051	0.0862	0.0514
RMSP	%(Error index)	4.35	3.17	4.32	7.33	4.41
MP	%(Error index)	16.2	12.2	7.04	9.3	13.3

6-4 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	1.20e+6	9.41e+5	5.77e+5	5.08e+5	4.00e+5
[Fe]	RMS	1090	970	760	713	632
RMSP	%(Error index)	28.5	22.7	16.4	13.9	11.2
MP	%(Error index)	34.5	34.7	34.9	34.4	32.6
[HCl]	MSE	0.00379	0.00223	0.00189	0.00138	0.00319
[HCl]	RMS	0.0615	0.0472	0.0435	0.0371	0.0565
RMSP	%(Error index)	5.29	4.17	3.69	3.15	4.85
MP	%(Error index)	16.2	12.2	7.04	5.16	13.3

ตารางที่ ข.4 สำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนลบ

2 <sup>nd</sup> NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	299	19.3	16.9	18.1	22.5
[Fe]	RMS	17.3	4.39	4.11	4.26	4.74
RMSP	%(Error index)	0.885	0.231	0.216	0.205	0.379
MP	%(Error index)	3.92	0.36	0.47	0.483	1.82
[HCl]	MSE	254e-6	5.46e-6	8.82e-6	20.5e-6	222e-6
[HCl]	RMS	0.01590	0.00234	0.00297	0.00453	0.0149
RMSP	%(Error index)	1.32	0.21	0.28	0.42	1.41
MP	%(Error index)	6.44	0.60	0.85	1.89	6.65

7<sup>th</sup> NNs Model

7-1 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	11	193	561	1.34	128
[Fe]	RMS	3.31	13.9	23.7	1.16	11.3
RMSP	%(Error index)	0.177	0.731	1.25	0.0556	0.903
MP	%(Error index)	0.591	2.71	4.63	0.149	4.52
[HCl]	MSE	1.61e-4	4.01e-4	2.98e-4	5.14e-4	4.74e-4
[HCl]	RMS	0.0127	0.02	0.0171	0.0227	0.0218
RMSP	%(Error index)	1.10	1.80	1.63	2.10	2.06
MP	%(Error index)	4.07	6.86	5.35	9.66	9.98

7-2 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	19.9	26.1	901	17.2	328
[Fe]	RMS	4.46	5.1	30	4.15	18
RMSP	%(Error index)	0.238	0.269	1.58	0.20	1.44
MP	%(Error index)	0.92	0.697	7.29	0.712	7.32
[HCl]	MSE	9.22e-6	1.69e-5	2.20e-5	1.29e-5	2.86e-4
[HCl]	RMS	0.00304	0.06412	0.00469	0.00358	0.0169
RMSP	%(Error index)	0.263	0.371	0.447	0.332	1.60
MP	%(Error index)	0.839	1.29	1.95	1.56	7.70
7-3 NNs Model(l/hr)						
Testing Data Set:		110	140	160	180	200
[Fe]	MSE	683	236	389	231	170
[Fe]	RMS	26.1	15.4	19.7	15.2	13.1
RMSP	%(Error index)	0.238	0.269	1.58	0.20	1.44
MP	%(Error index)	0.92	0.697	7.29	0.712	7.32
[HCl]	MSE	2.96e-4	6.22e-5	4.00e-5	1.80e-4	4.39e-5
[HCl]	RMS	0.0172	0.00789	0.00632	0.0134	0.00662
RMSP	%(Error index)	0.263	0.371	0.447	0.332	1.60
MP	%(Error index)	0.839	1.29	1.95	1.56	7.70
7-4 NNs Model(l/hr)***						
Testing Data Set:		110	140	160	180	200
[Fe]	MSE	52.3	20.6	37.6	38.7	11
[Fe]	RMS	7.23	4.53	6.13	6.22	3.32
RMSP	%(Error index)	0.386	0.239	0.323	0.299	0.265
MP	%(Error index)	1.47	0.477	0.988	0.903	0.60
[HCl]	MSE	7.51e-5	6.12e-6	7.48e-6	9.42e-6	2.82e-5
[HCl]	RMS	0.00866	0.00247	0.00273	0.00307	0.00531
RMSP	%(Error index)	0.75	0.223	0.26	0.284	0.501
MP	%(Error index)	3.57	0.831	0.914	0.874	1.80

\*\*\* แสดงแบบจำลองที่นำไปใช้ทำนายได้ดีที่สุดสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนลบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



2. แสดงค่าดัชนีความผิดพลาดของการทำนาย ด้วยแบบจำลองทั้ง 22 แบบจำลอง  
ตารางที่ ข.3 สำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนบวก

1 <sup>st</sup> NNs Model(l/hr)	110	140	160	180	200
Testing Data Set:					
[Fe] MSE	2.99e+5	3.96e+5	2.58e+5	3.51e+5	1.54e+5
[Fe] RMS	547	630	508	592	393
RMSP %(Error index)	14.2	14.7	11	11.5	6.96
MP %(Error index)	24.4	25.1	25.6	25.1	14.6
[HCl] MSE	0.00470	0.00048	0.00333	0.01050	0.02040
[HCl] RMS	0.06850	0.02200	0.05770	0.10200	0.14300
RMSP %(Error index)	5.89	1.94	4.89	8.7	12.3
MP %(Error index)	9.87	4.92	21.9	32.3	13.7

3 <sup>nd</sup> NNs Model 3-1 NNs Model(l/hr)	110	140	160	180	200
Testing Data Set:					
[Fe] MSE	4.04e+5	2.98e+5	4.56e+5	5.49e+5	1.29e+5
[Fe] RMS	636	546	675	741	359
RMSP %(Error index)	16.5	12.8	14.6	14.4	6.36
MP %(Error index)	51.5	34.0	47.0	57.3	23.2
[HCl] MSE	0.00127	0.000711	0.000338	0.000248	0.00127
[HCl] RMS	0.0357	0.0267	0.0184	0.0158	0.0357
RMSP %(Error index)	3.06	2.35	1.56	1.34	3.06
MP %(Error index)	5.64	12.2	4.68	4.11	15.7

3-2 NNs Model(l/hr)	110	140	160	180	200
Testing Data Set:					
[Fe] MSE	4.53e+5	4.01e+5	5.52e+5	7.62e+5	6.54e+5
[Fe] RMS	673	633	743	873	809
RMSP %(Error index)	17.5	14.8	16.1	17.0	14.3
MP %(Error index)	51.5	34.0	47.0	57.3	23.2
[HCl] MSE	0.00199	0.00502	0.00208	0.00662	0.0505
[HCl] RMS	0.0446	0.0709	0.0456	0.0814	0.225
RMSP %(Error index)	3.83	6.25	3.87	6.91	19.3
MP %(Error index)	7.73	12.2	5.75	9.26	21.8

3-3 NNs Model(l/hr)	110	140	160	180	200
Testing Data Set:					
[Fe] MSE	4.18e+5	3.34e+5	7.98e+5	1.85e+6	2.70e+5
[Fe] RMS	647	578	893	1.36e+3	520
RMSP %(Error index)	16.8	13.5	19.3	26.5	9.22
MP %(Error index)	51.5	34.0	47.0	57.3	23.2
[HCl] MSE	0.00106	0.00084	0.00215	0.0073	0.00224
[HCl] RMS	0.00326	0.0029	0.0464	0.0854	0.0473
RMSP %(Error index)	2.8	2.56	3.93	7.26	4.06
MP %(Error index)	5.64	12.2	5.52	9.3	15.7

3-4 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	7.23e+5	4.02e+5	4.97e+5	6.55e+5	1.76e+5
[Fe]	RMS	850	634	705	809	419
RMSP	%(Error index)	22.1	14.8	15.2	15.8	7.43
MP	%(Error index)	51.5	34.0	47.0	57.3	23.2
[HCl]	MSE	0.00229	0.00178	0.00144	0.00124	0.0028
[HCl]	RMS	0.04780	0.0422	0.038	0.0352	0.0529
RMSP	%(Error index)	4.11	3.72	3.22	2.99	4.54
MP	%(Error index)	6.49	12.2	4.68	4.11	15.7
4 <sup>th</sup> NNs Model						
4-1 NNs Model(l/hr)		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	9.55e+4	1.40e+5	1.15e+5	1.01e+5	9.90e+5
[Fe]	RMS	309	374	340	318	995
RMSP	%(Error index)	8.04	8.75	7.34	6.19	17.6
MP	%(Error index)	27.2	29.8	27.1	28.4	90.5
[HCl]	MSE	0.00388	0.0065	0.00221	0.00137	0.0113
[HCl]	RMS	0.06230	0.0806	0.047	0.037	0.106
RMSP	%(Error index)	5.36	7.11	3.98	3.14	9.12
MP	%(Error index)	27.2	36.7	22.7	18.4	48.7
4-2 NNs Model(l/hr)						
		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	1.44e+5	2.43e+5	2.12e+5	3.14e+5	1.52e+6
[Fe]	RMS	379	493	460	561	1.23e+3
RMSP	%(Error index)	9.87	11.5	9.95	10.9	21.8
MP	%(Error index)	24.5	29.8	27.1	28.4	90.5
[HCl]	MSE	0.0046	0.0108	0.00395	0.00774	0.0605
[HCl]	RMS	0.0678	0.104	0.0629	0.088	0.246
RMSP	%(Error index)	5.83	9.17	5.33	7.48	21.1
MP	%(Error index)	27.2	36.7	22.7	18.4	48.7
4-3 NNs Model(l/hr)						
		110	140	160	180	200
Testing Data Set:						
[Fe]	MSE	1.09e+5	1.76e+5	4.58e+5	1.40e+6	1.13e+6
[Fe]	RMS	330	420	676	1.18e+3	1.06e+3
RMSP	%(Error index)	8.6	9.81	14.6	23	18.9
MP	%(Error index)	24.5	29.8	27.1	28.4	90.5
[HCl]	MSE	0.00367	0.00663	0.00402	0.00842	0.0122
[HCl]	RMS	0.0606	0.0814	0.0634	0.0917	0.111
RMSP	%(Error index)	5.21	7.18	5.37	7.8	9.5
MP	%(Error index)	27.2	36.7	22.7	18.4	48.7

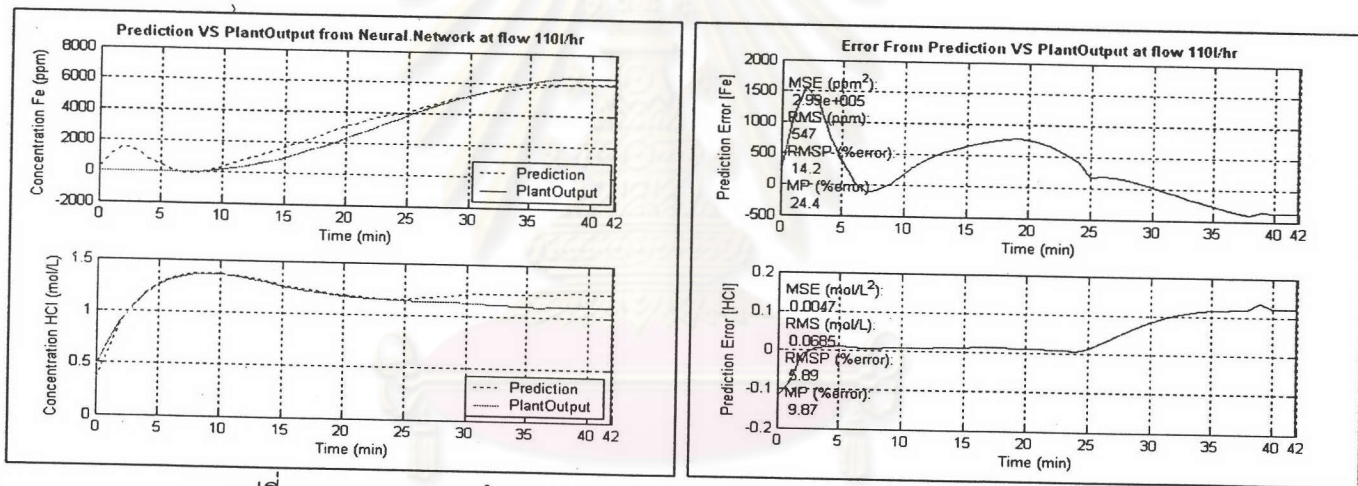


3. แสดงผลการทำนายพฤติกรรมของการดูดซับตามอัตราการไหลต่างๆ

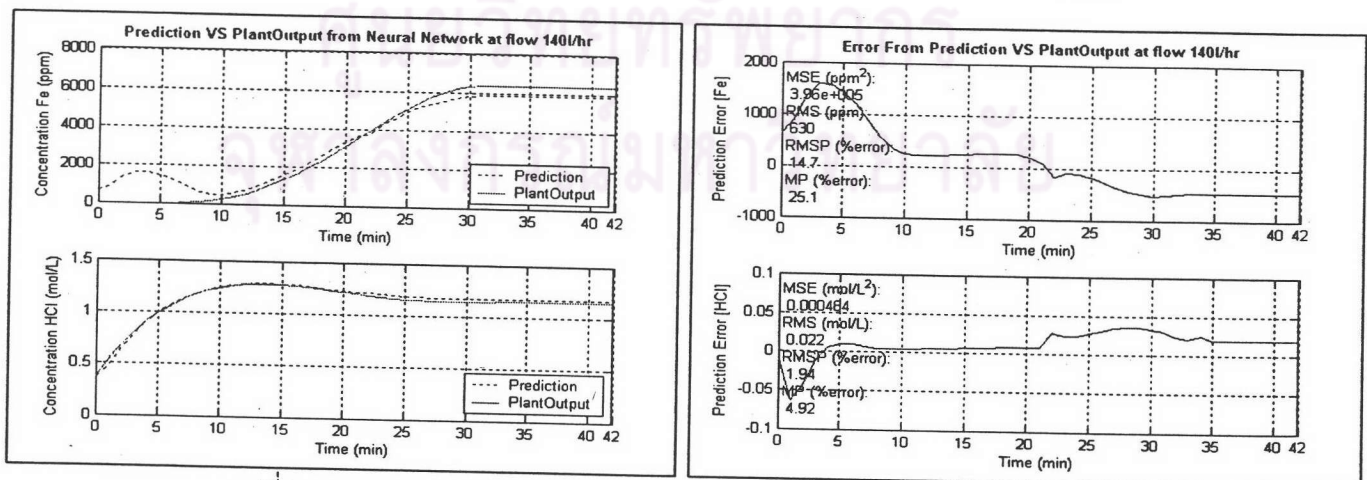
ในหัวข้อ 5.4 ได้แสดงถึงผลการทำนายพฤติกรรมของการดูดซับของแบบจำลองที่ 5-2 และแบบจำลองที่ 7-4 ที่เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมและดีที่สุดในการทำนายในส่วนนี้จะแสดงผลการทำนายพฤติกรรมทั้งหมดของงานวิจัยนี้

แบบจำลองที่ 1 [5-13-2] / [5-13-2]

เป็นข่ายงานแบบหนึ่งชั้นซ่อน และสำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-2] แสดงถึงข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

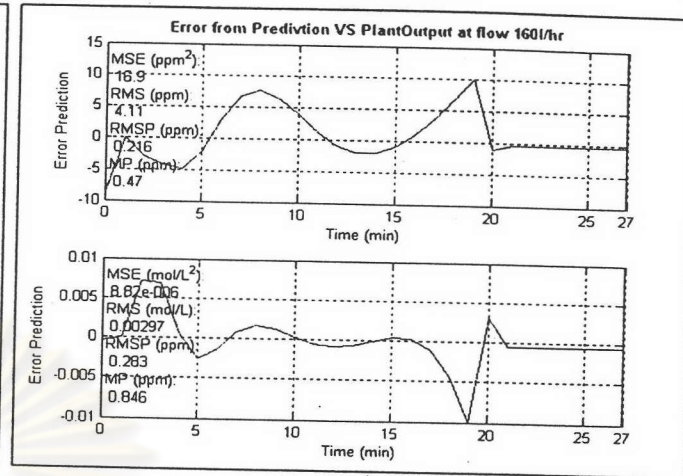
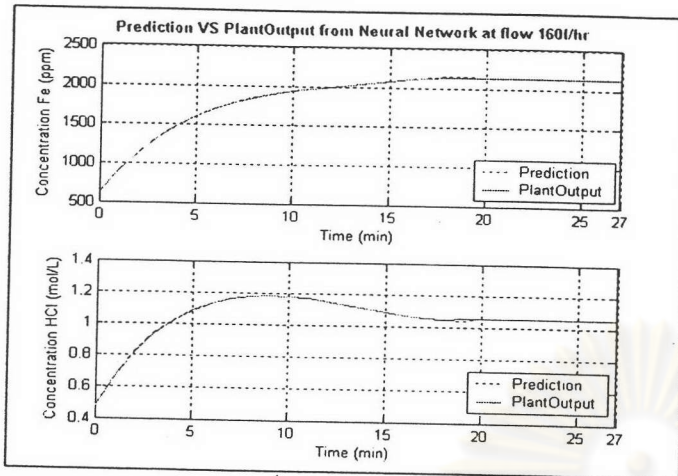


รูปที่ ข.1 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

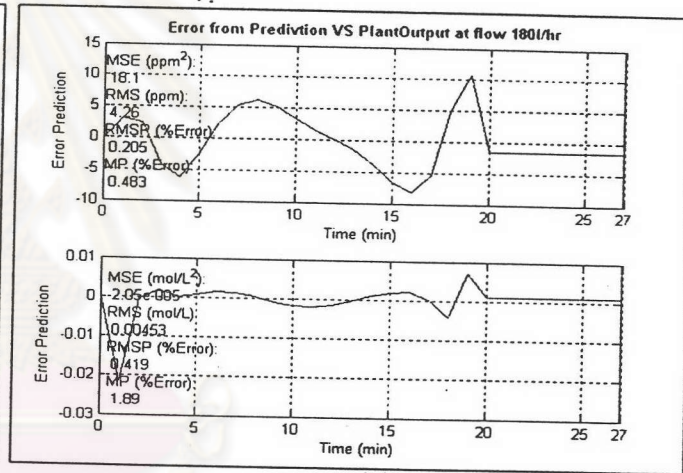
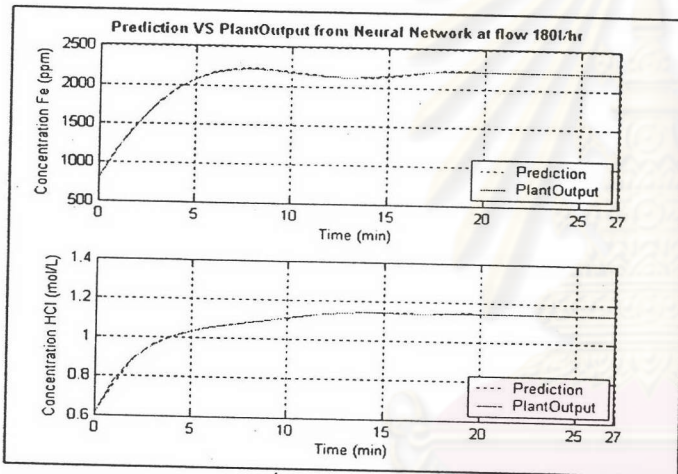


รูปที่ ข.2 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

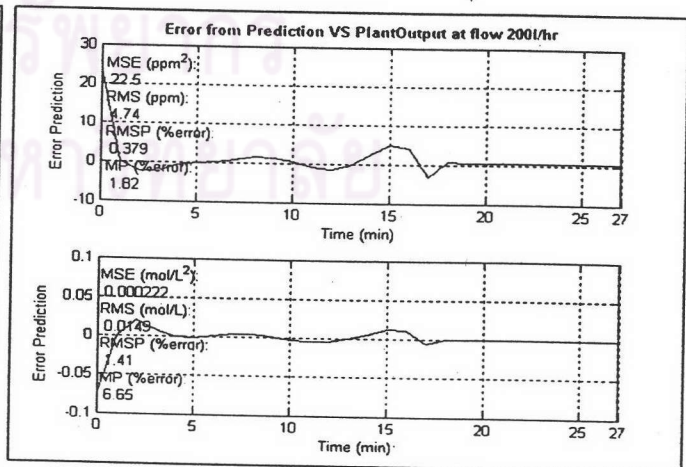
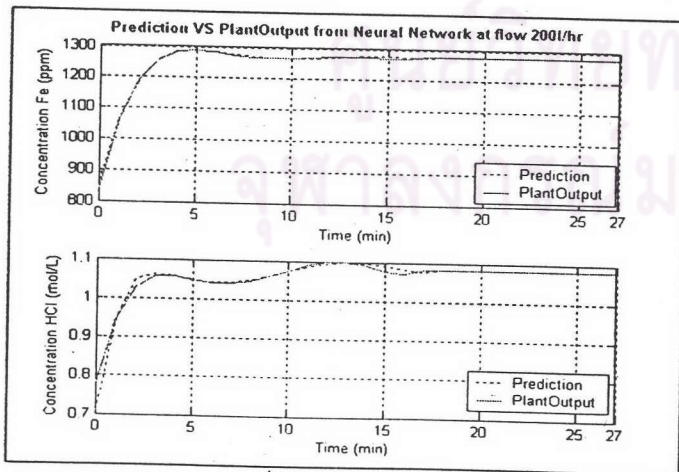




รูปที่ ข.8 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



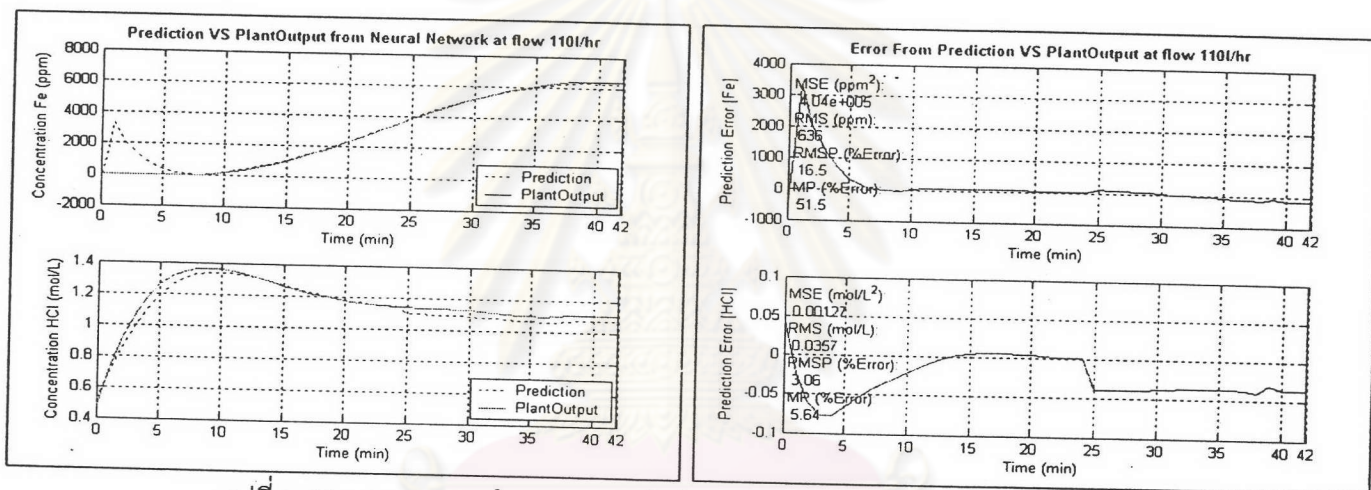
รูปที่ ข.9 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



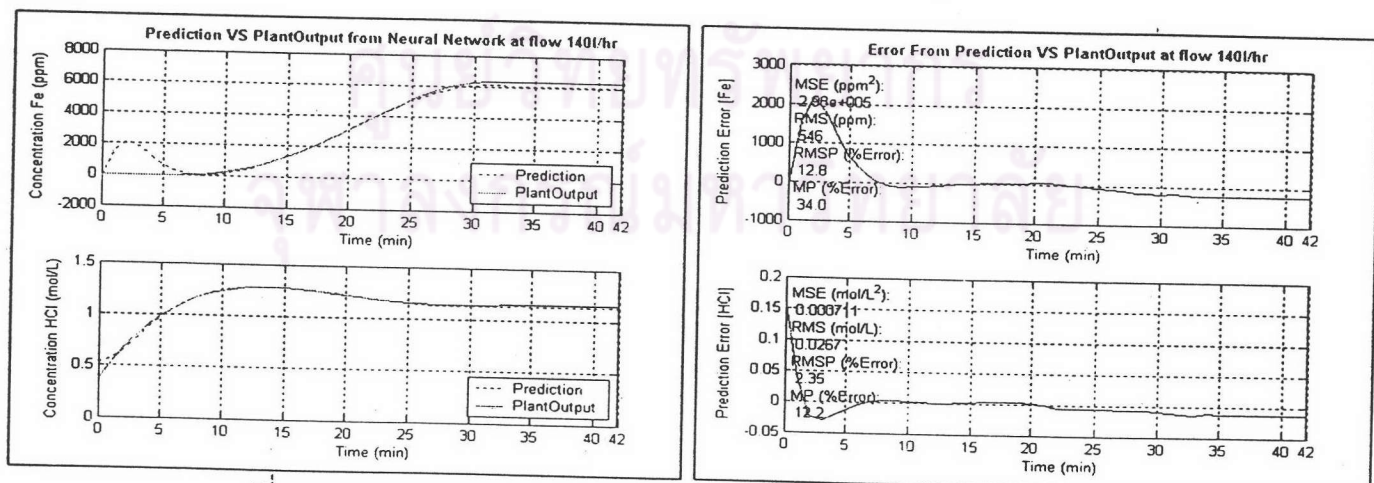
รูปที่ ข.10 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

### แบบจำลองที่ 3-1 [5-3-13-2] / [5-3-7-2]

สำหรับพฤติกรรมกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-3-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-3-7-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 7 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

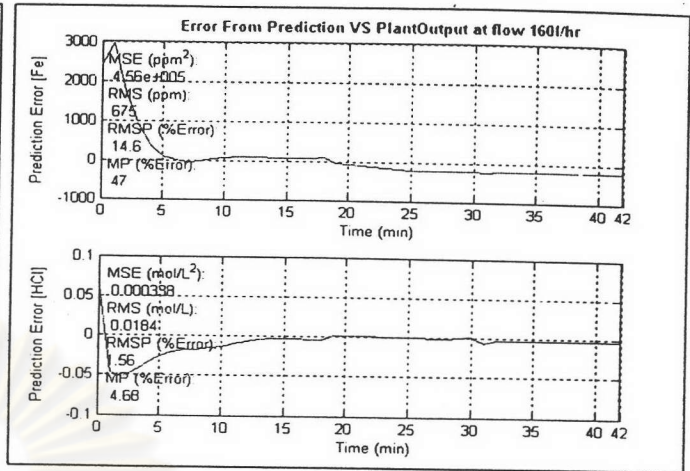
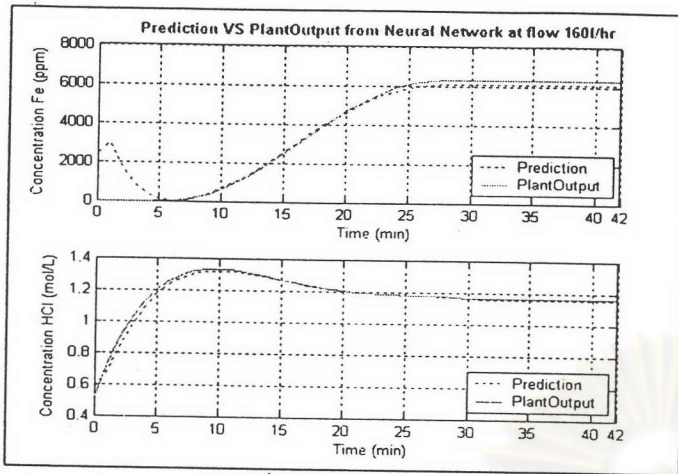


รูปที่ ข.11 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

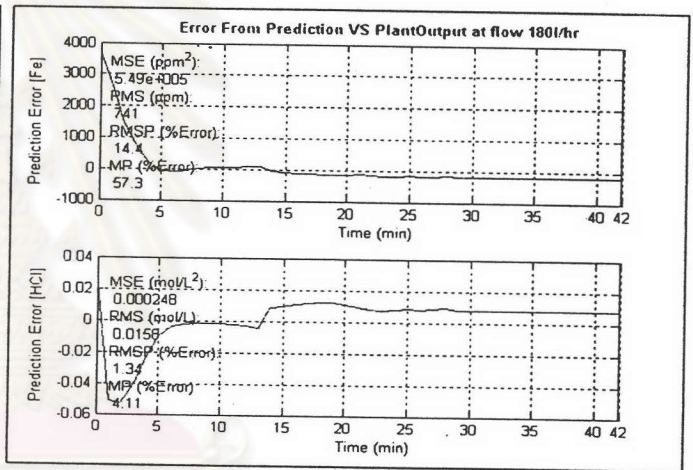
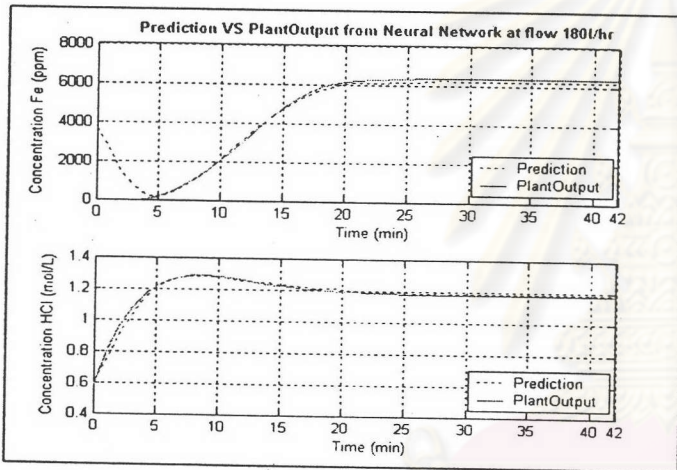


รูปที่ ข.12 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

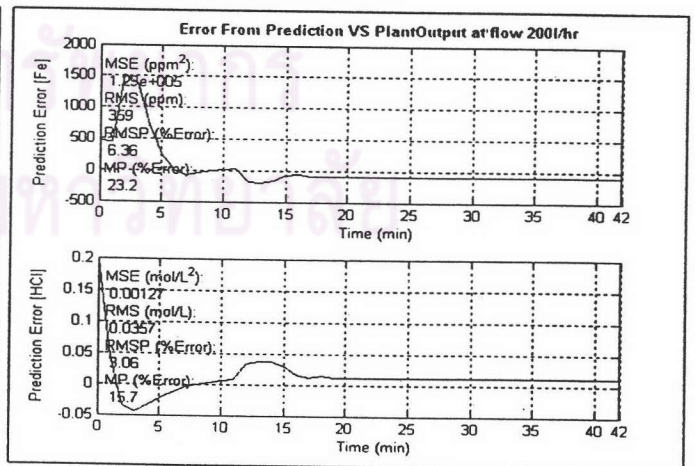
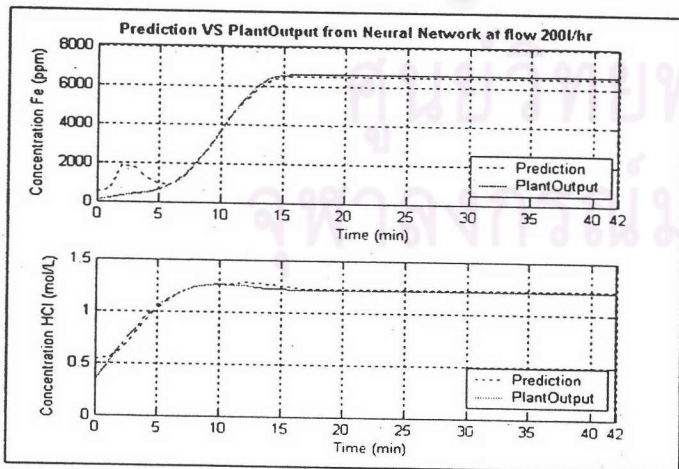




รูปที่ ข.13 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.14 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง

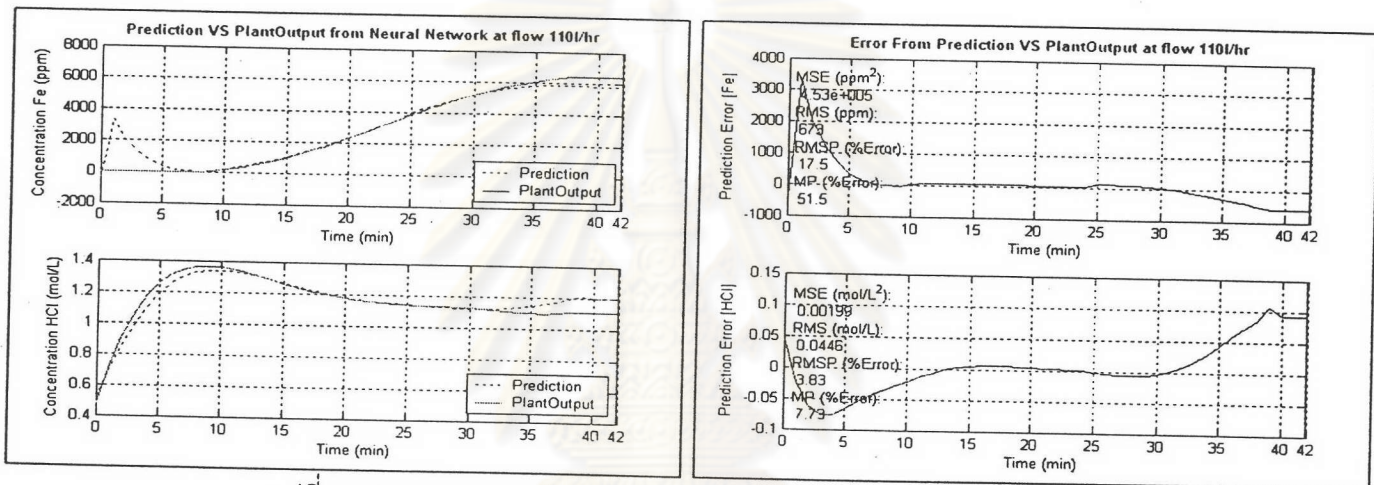


รูปที่ ข.15 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

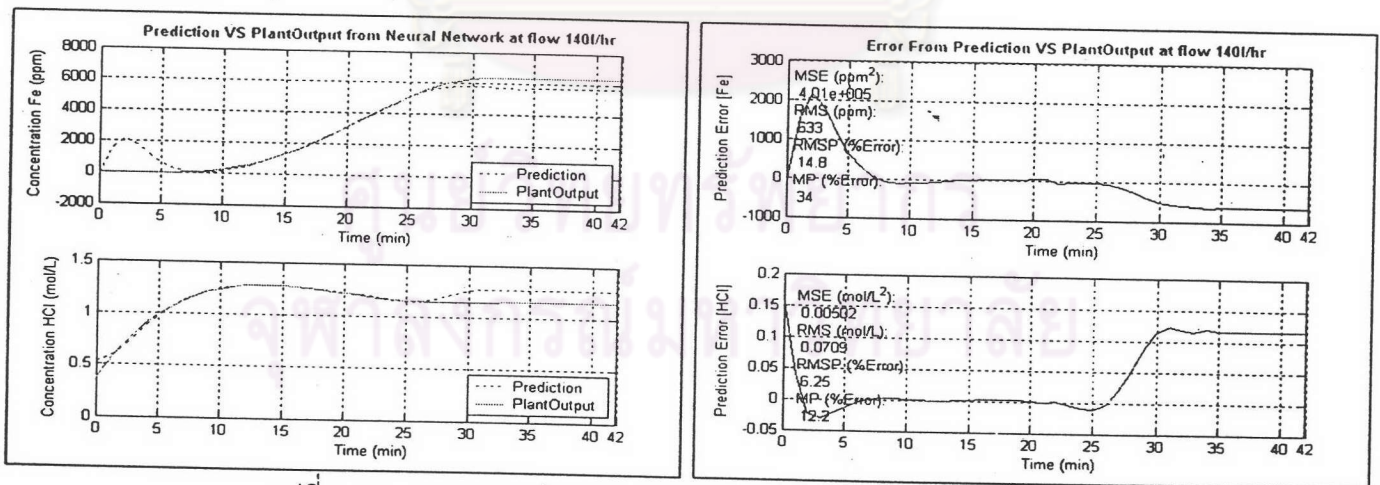


### แบบจำลองที่ 3-2 [5-3-13-2] / [5-8-9-2]

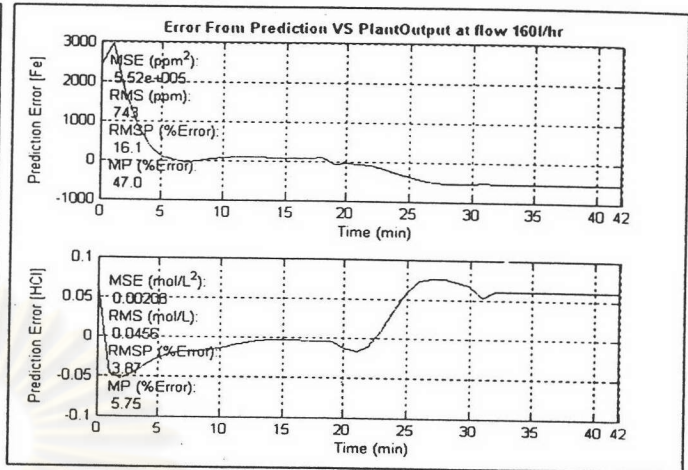
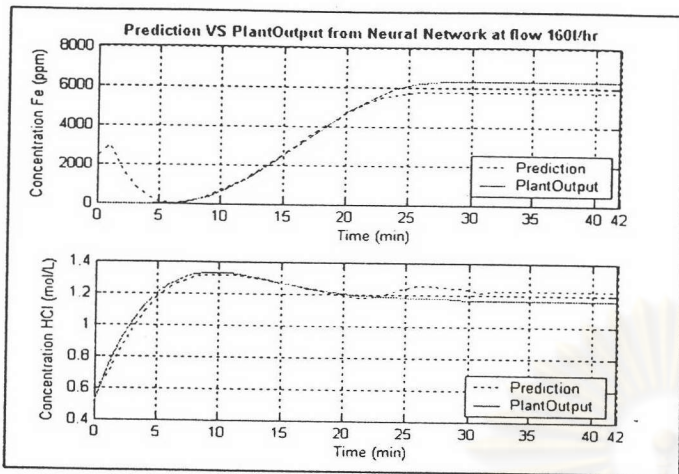
สำหรับพฤติกรรมการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาต์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 8 โนด ชั้นซ่อนสอง 9 โนด และเอาต์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้



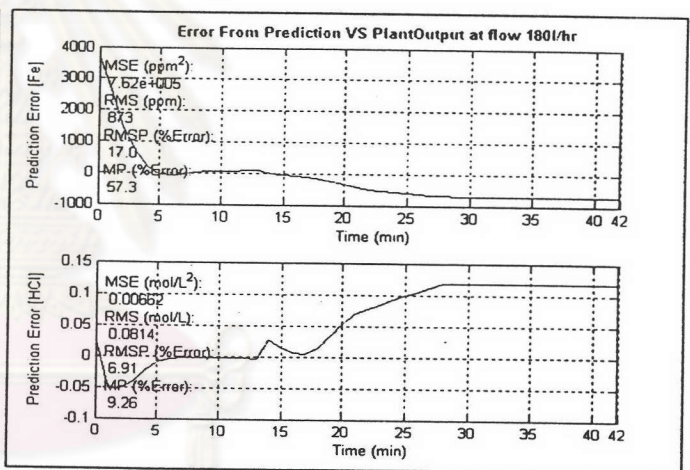
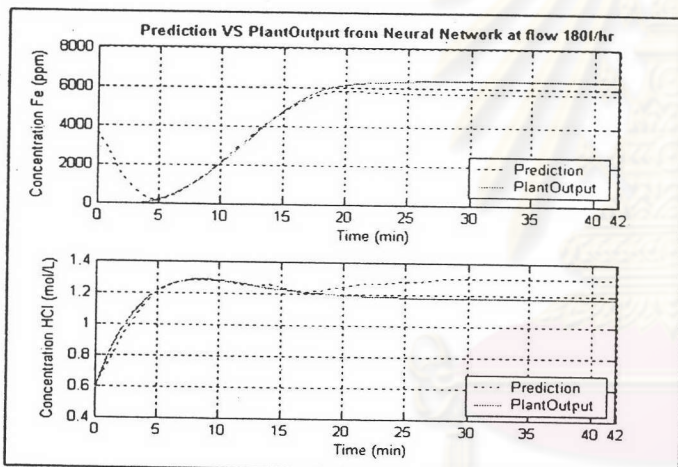
รูปที่ ข.16 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



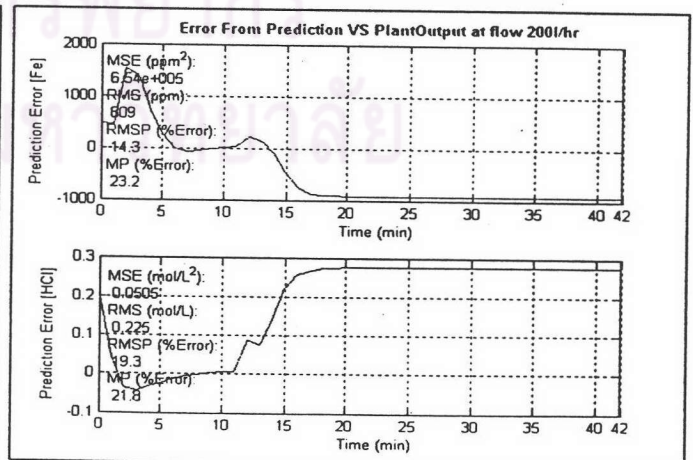
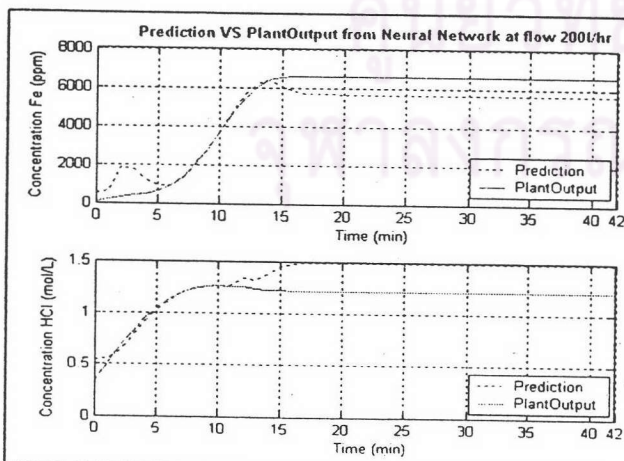
รูปที่ ข.17 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.18 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.19 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง

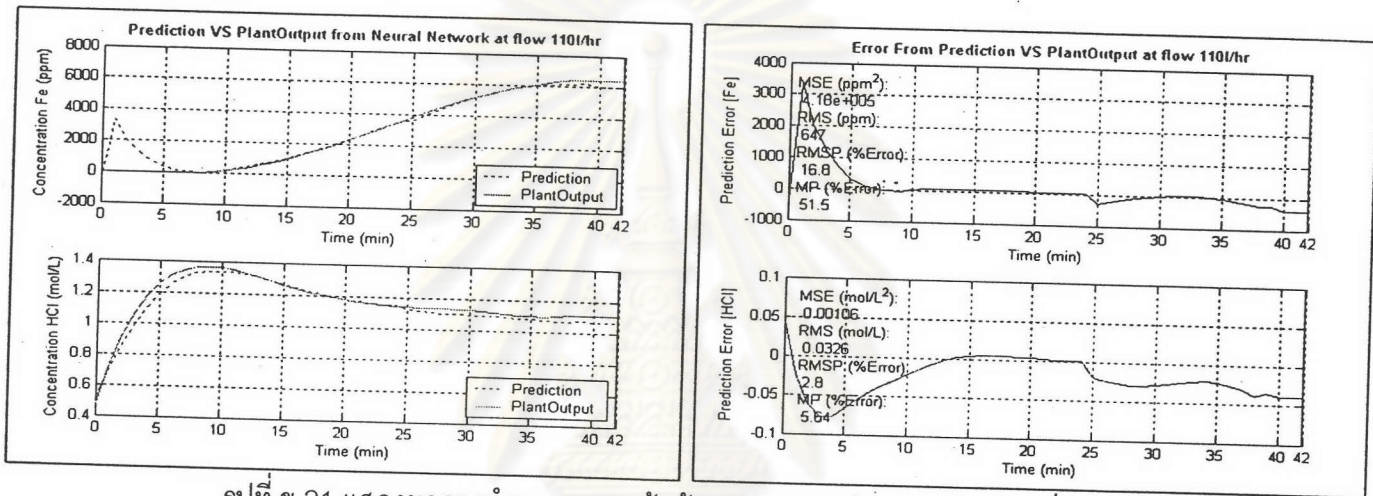


รูปที่ ข.20 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

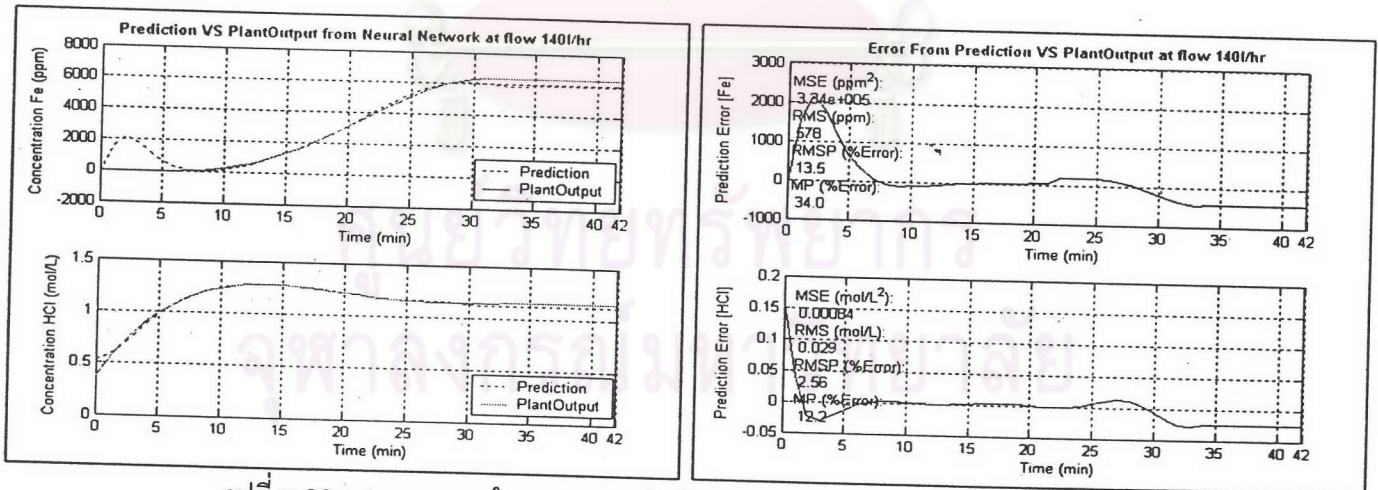


แบบจำลองที่ 3-3 [5-3-13-2] / [5-11-9-2]

สำหรับพฤติกรรมการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-3-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-11-9-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 9 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

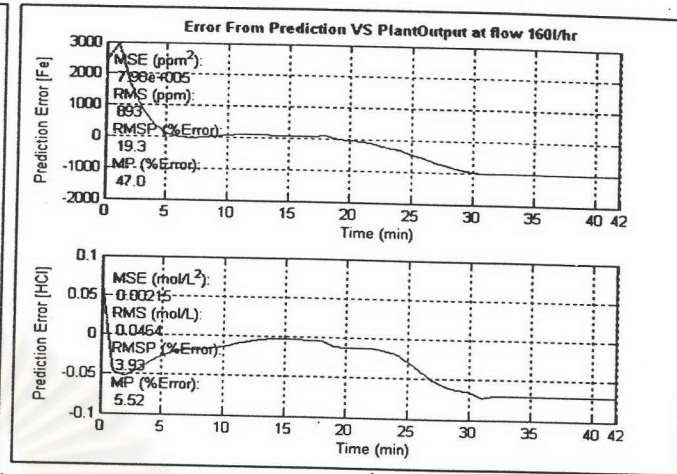
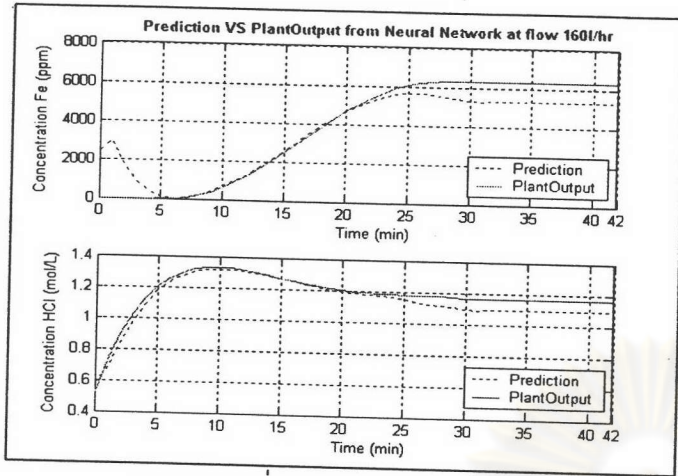


รูปที่ ข.21 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

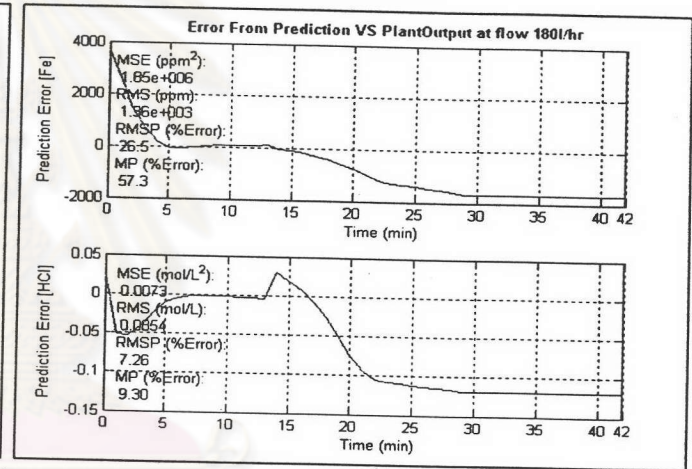
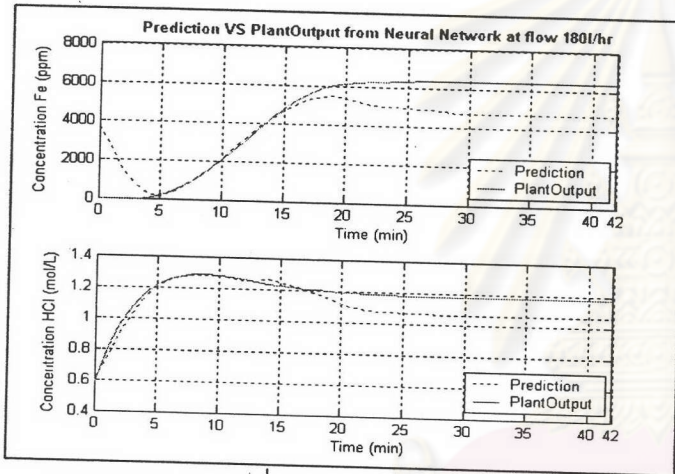


รูปที่ ข.22 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

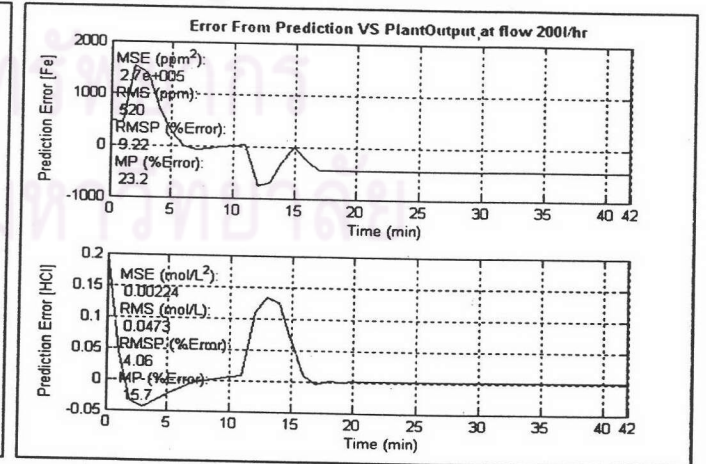
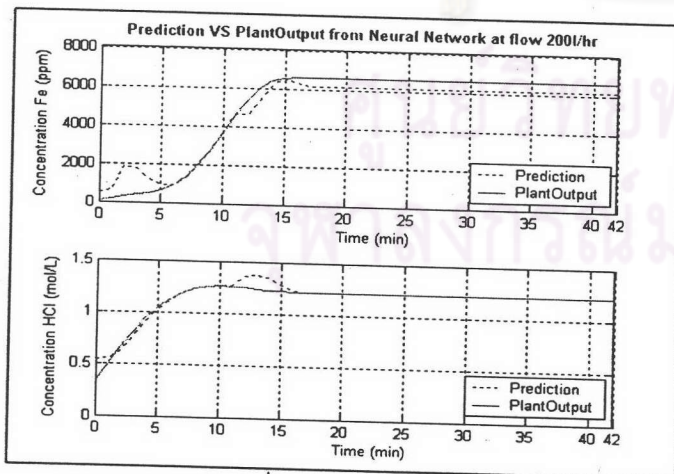




รูปที่ ข.23 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



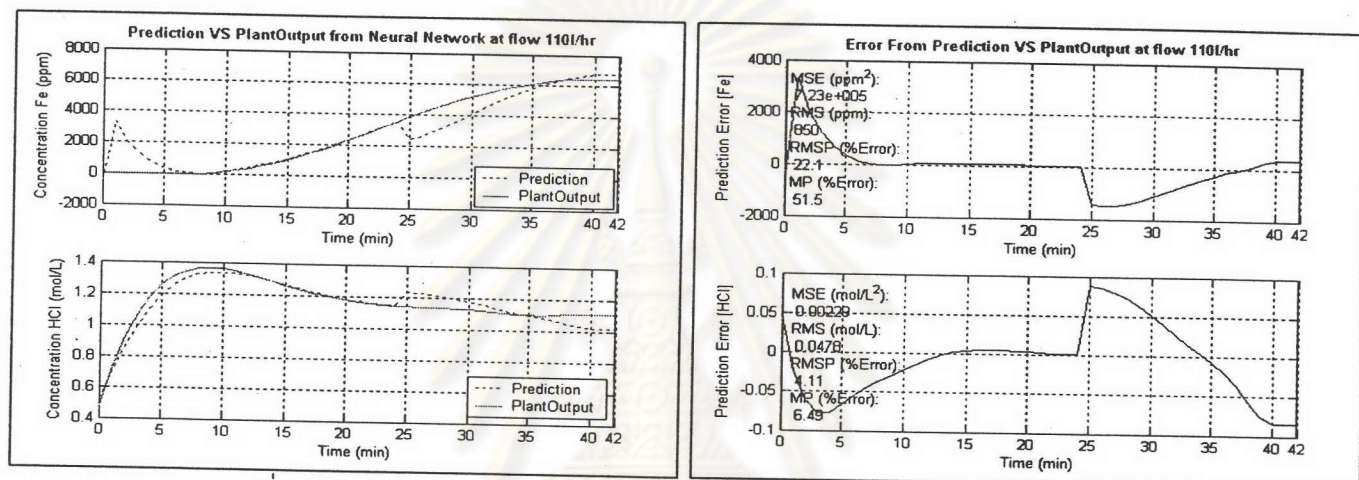
รูปที่ ข.24 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



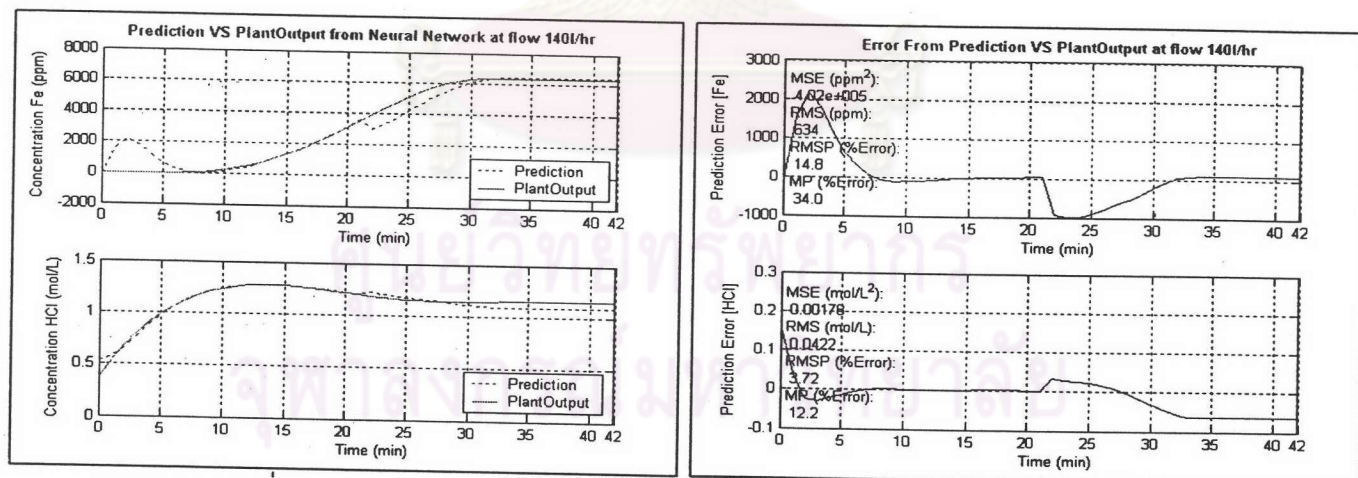
รูปที่ ข.25 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

### แบบจำลองที่ 3-4 [5-3-13-2] / [5-13-13-2]

สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ช่วงงาน [5-3-13-2] แสดงถึง ช่วงงานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาต์พุต 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ช่วงงาน [5-11-9-2] แสดงถึง ช่วงงานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาต์พุต 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

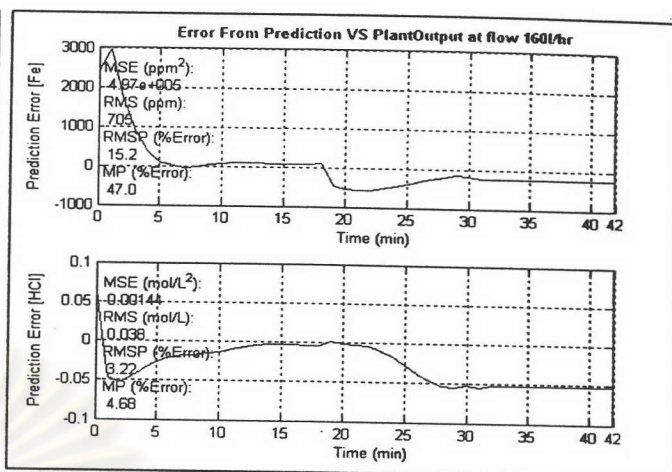
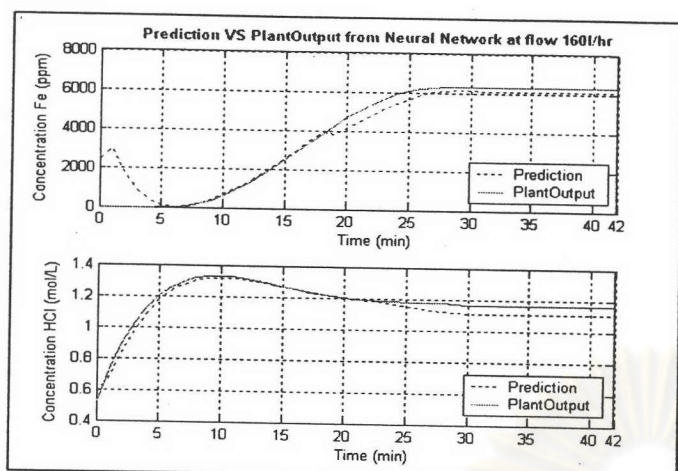


รูปที่ ข.26 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

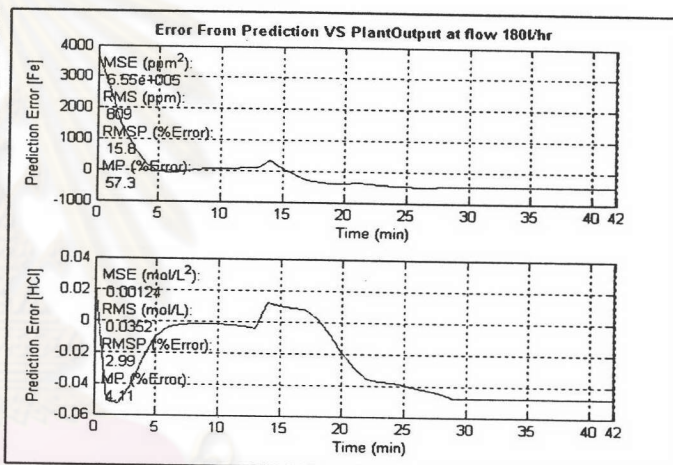
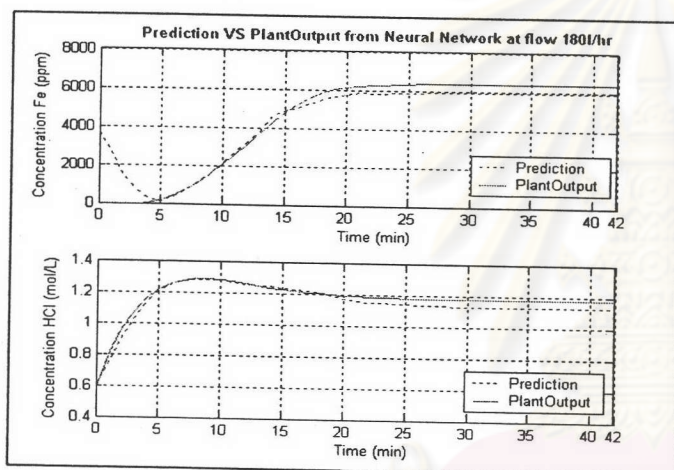


รูปที่ ข.27 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

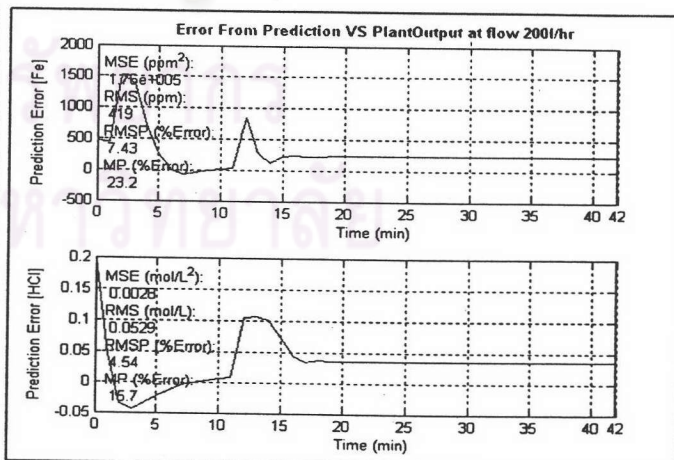
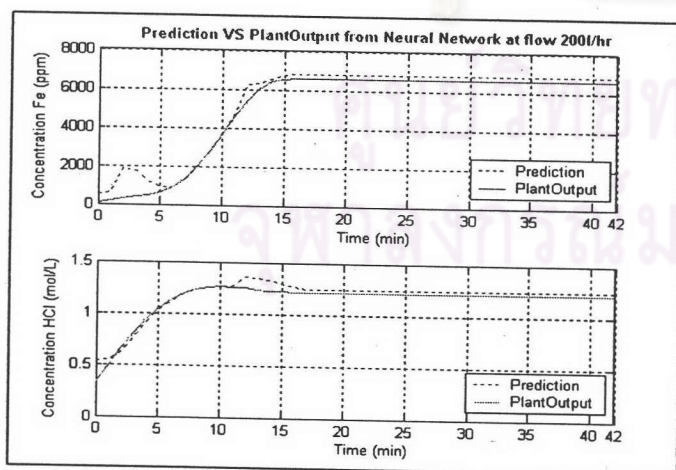




รูปที่ ข.28 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.29 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง

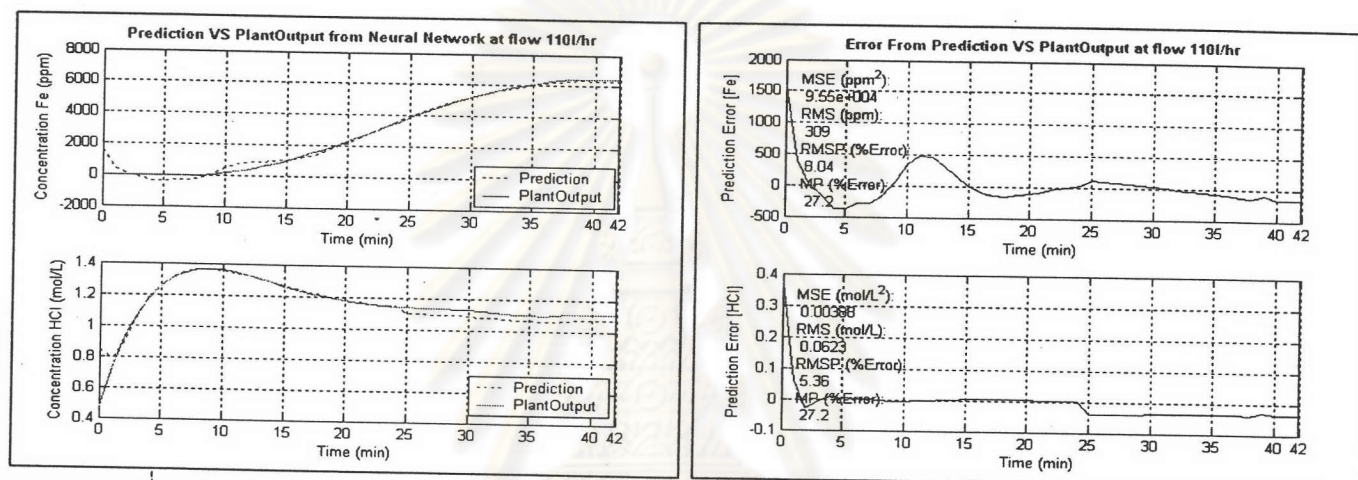


รูปที่ ข.30 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

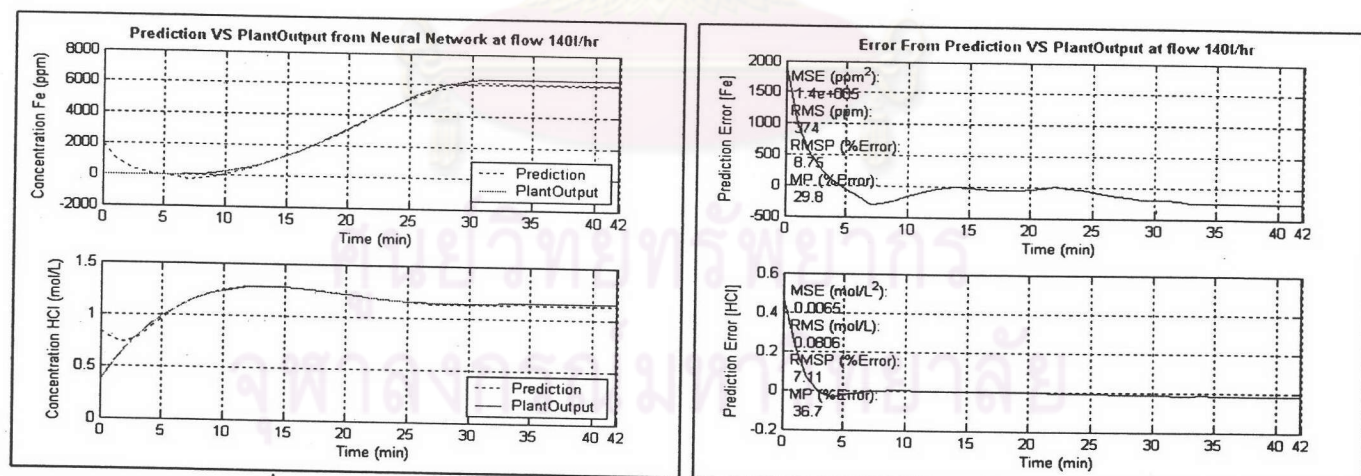


### แบบจำลองที่ 4-1 [5-8-5-2] / [5-3-7-2]

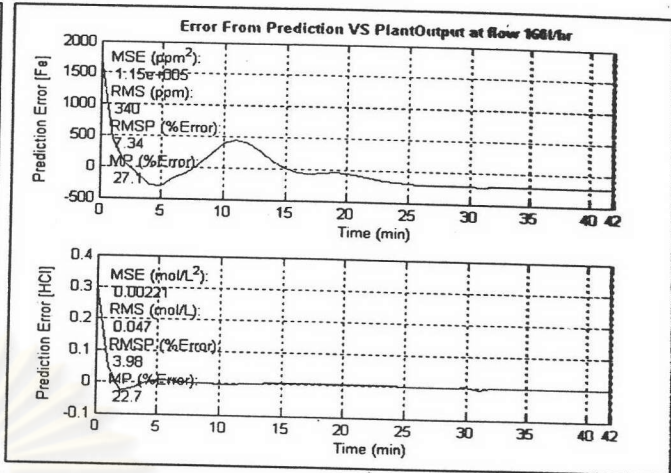
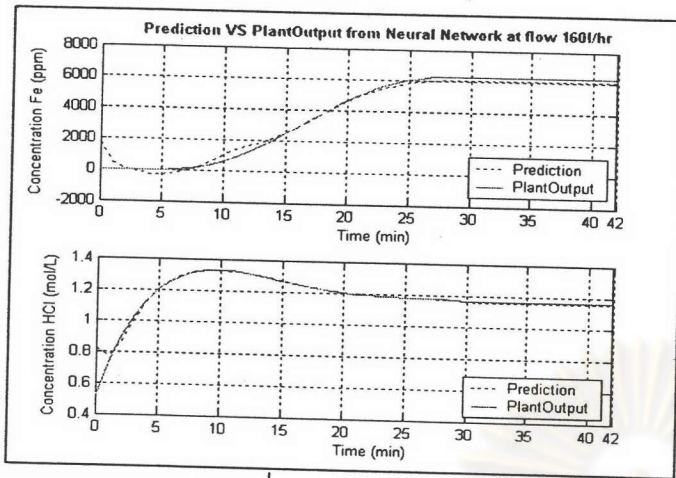
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-8-5-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 8 โนด ชั้นซ่อนสอง 5 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-3-7-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 7 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้



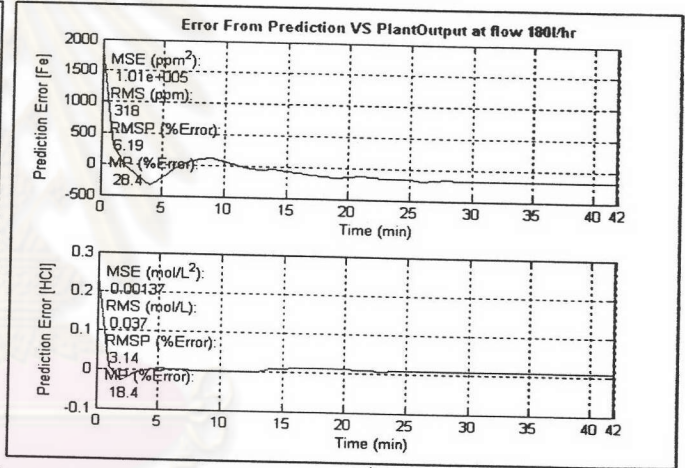
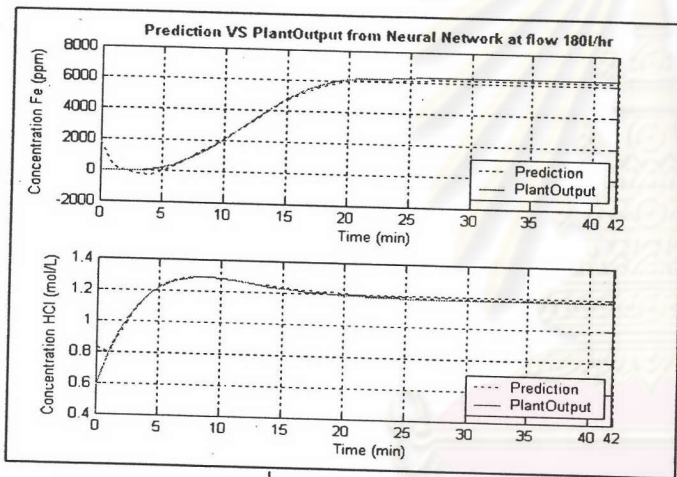
รูปที่ ข.31 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



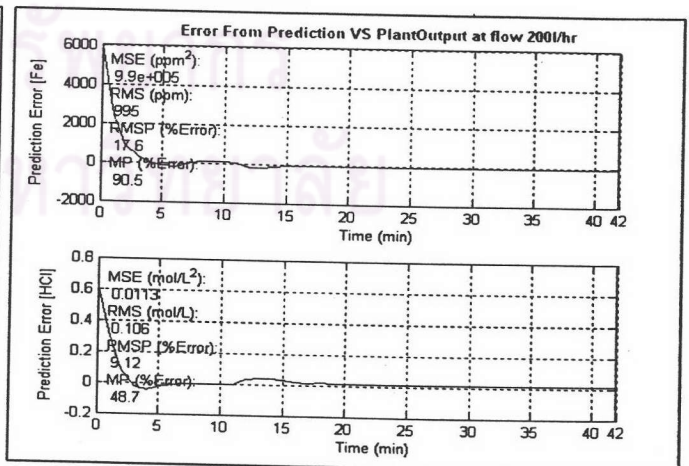
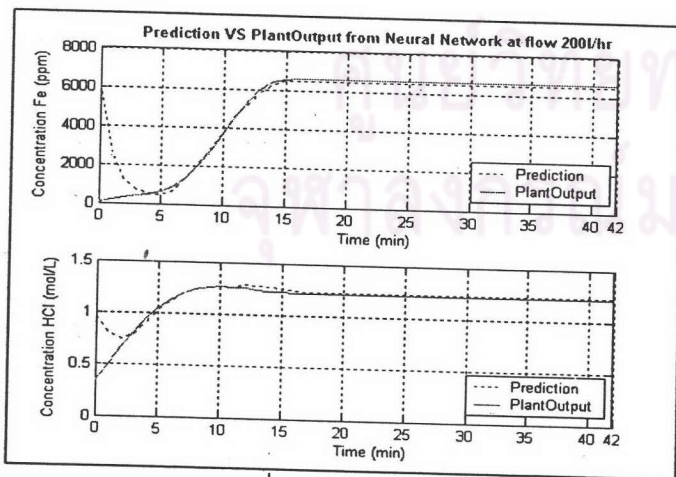
รูปที่ ข.32 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.33 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.34 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง

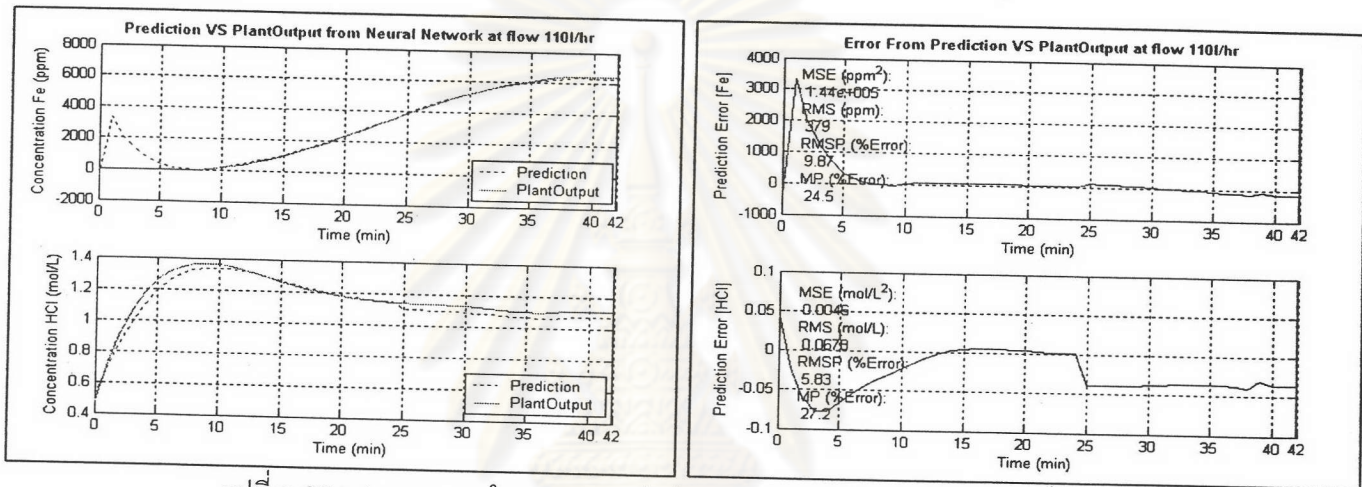


รูปที่ ข.35 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

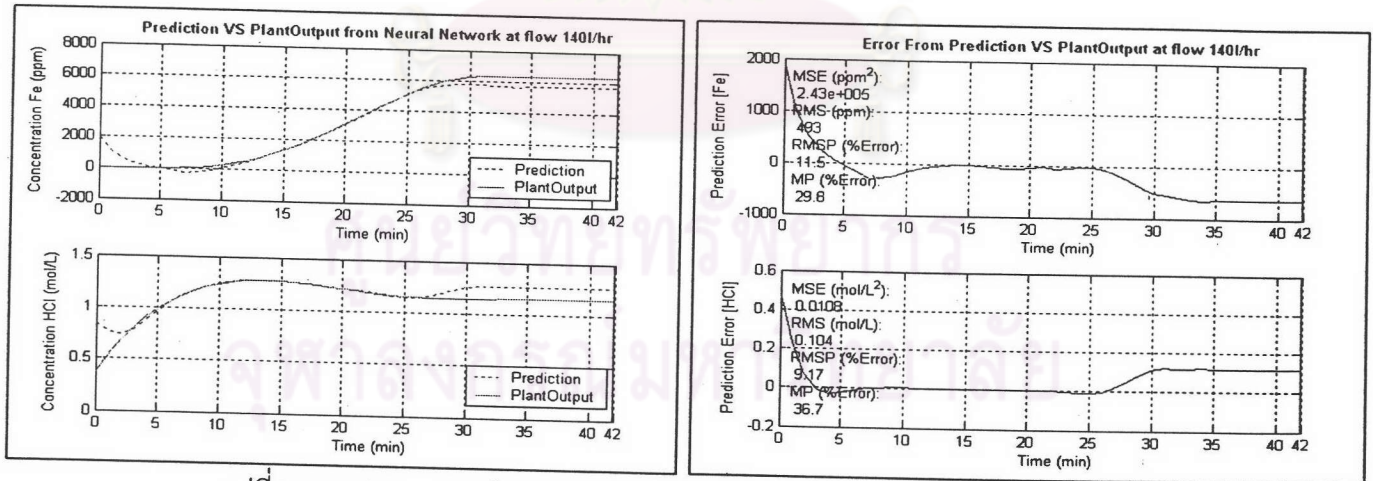


แบบจำลองที่ 4-2 [5-8-5-2] / [5-8-9-2]

สำหรับพฤติกรรมการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-8-5-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 8 โนด ชั้นซ่อนสอง 5 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-8-9-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 8 โนด ชั้นซ่อนสอง 9 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

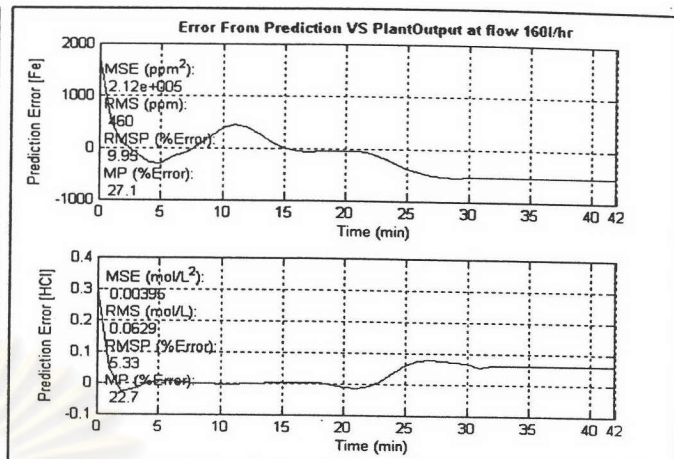
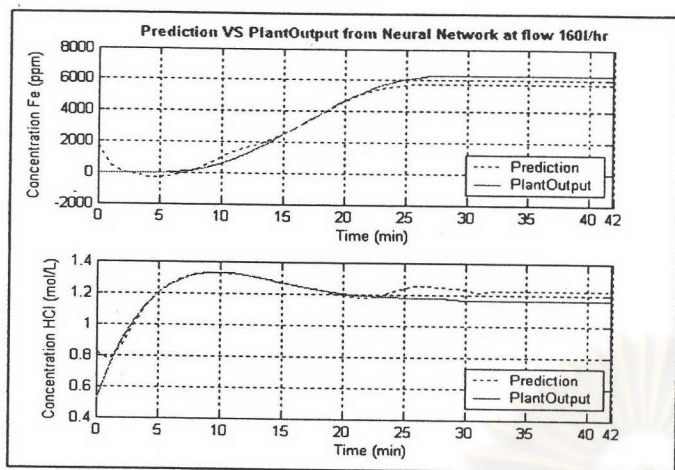


รูปที่ 3.36 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

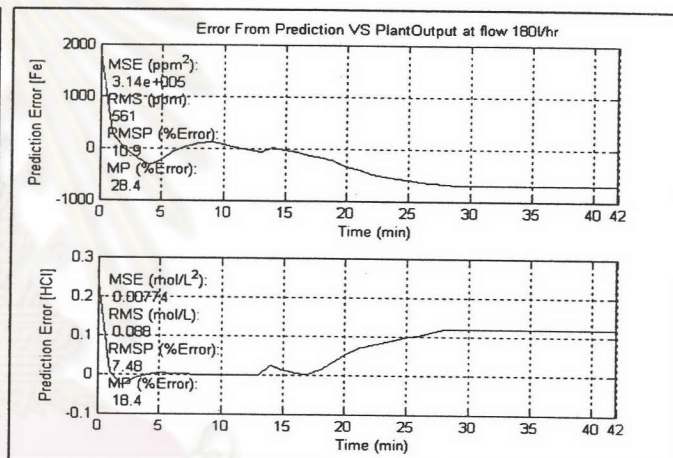
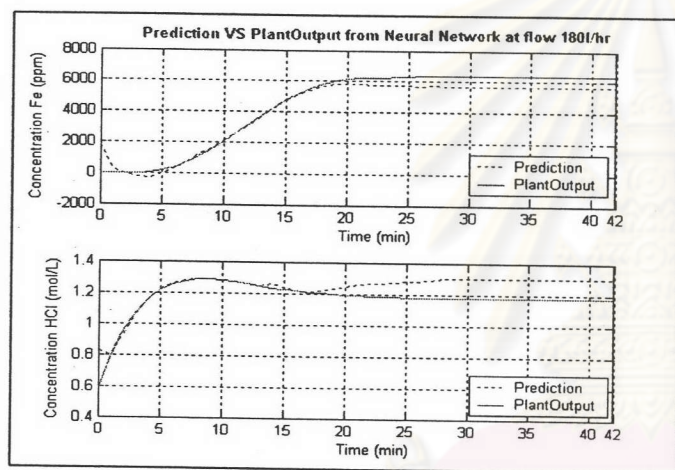


รูปที่ 3.37 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

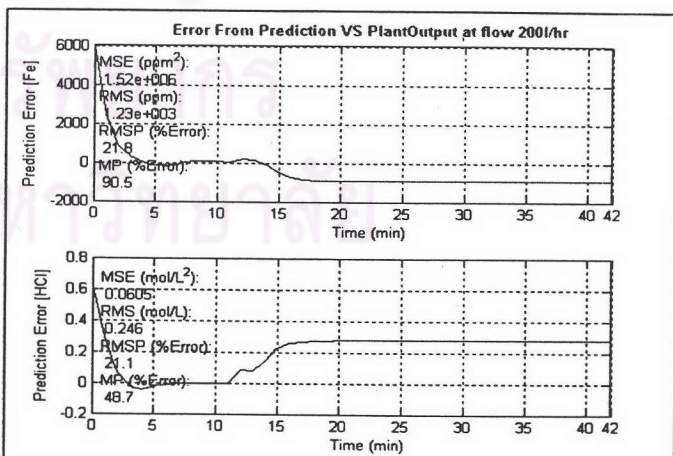
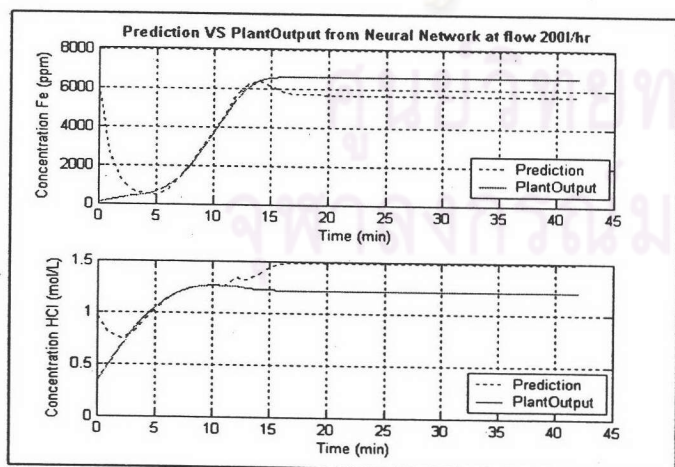




รูปที่ ข.38 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



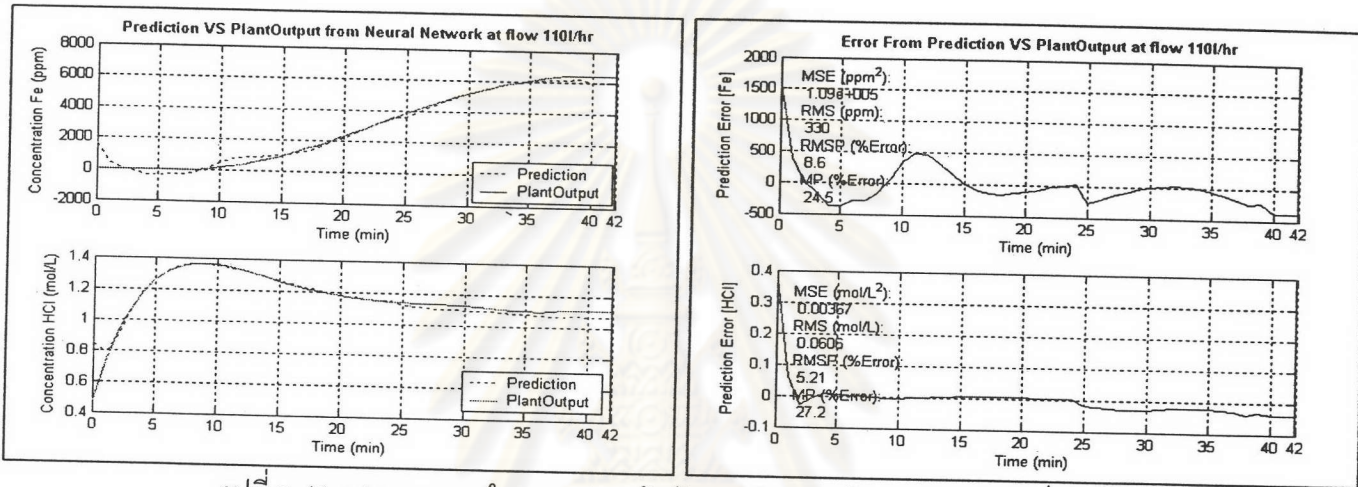
รูปที่ ข.39 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



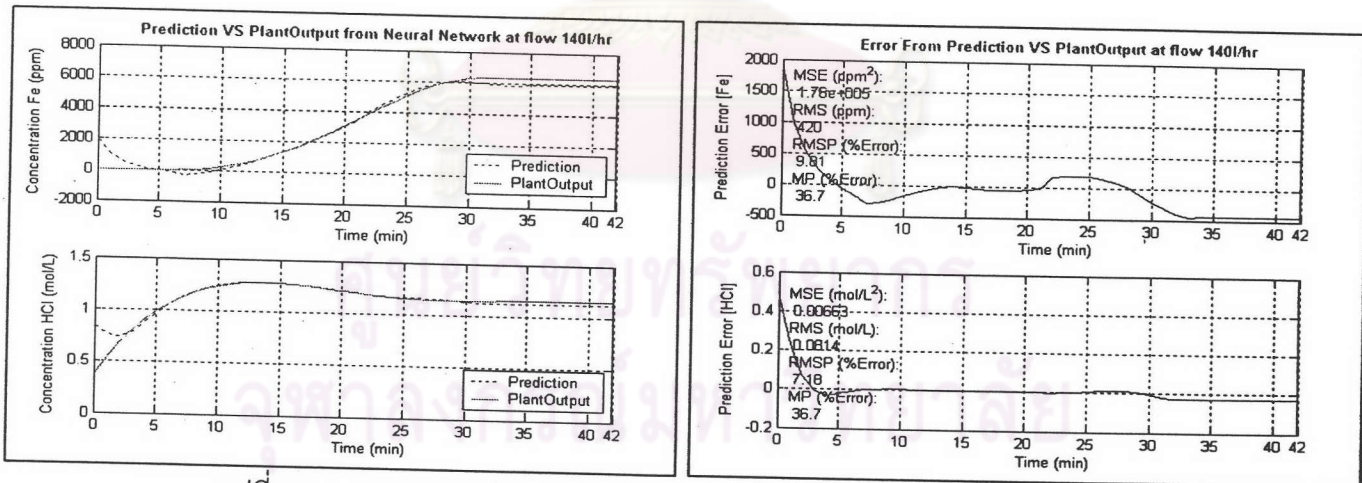
รูปที่ ข.40 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 4-3 [5-8-5-2] / [5-11-9-2]

สำหรับพฤติกรรมกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ขั้วงาน [5-8-5-2] แสดงถึง ขั้วงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 8 โนด ชั้นซ่อนสอง 5 โนด และเอาต์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ขั้วงาน [5-11-9-2] แสดงถึง ขั้วงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 9 โนด และเอาต์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

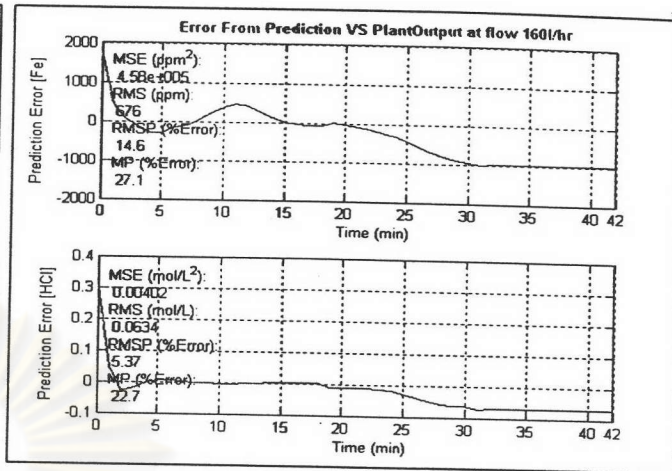
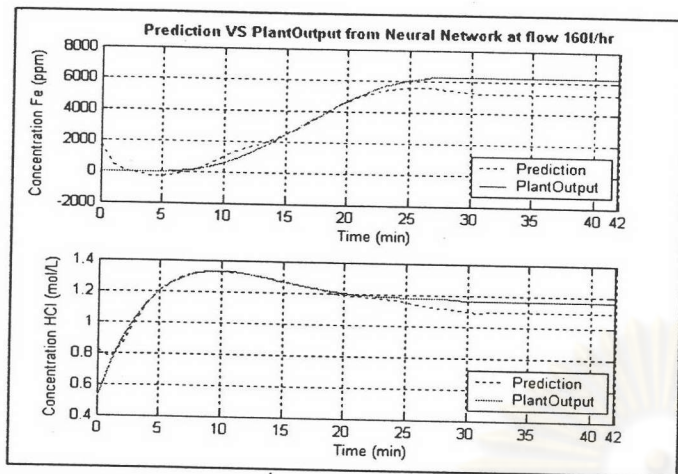


รูปที่ ข.41 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

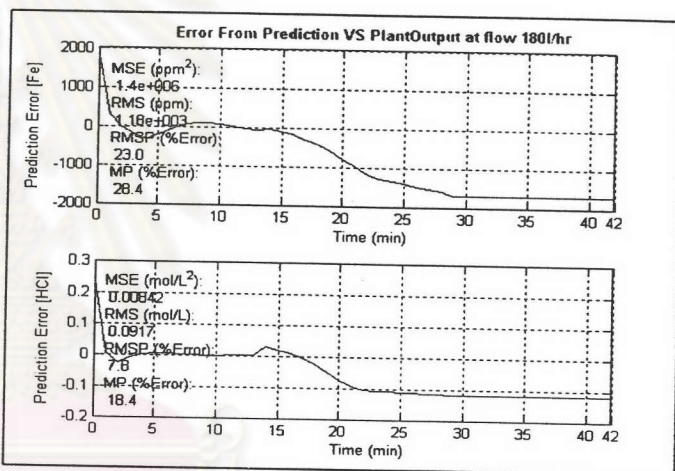
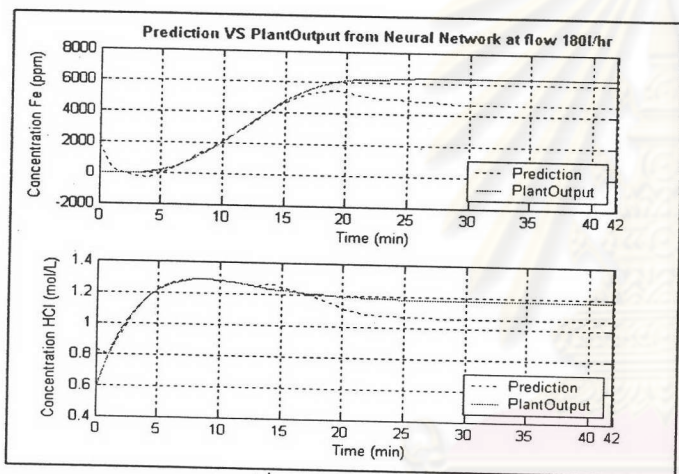


รูปที่ ข.42 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

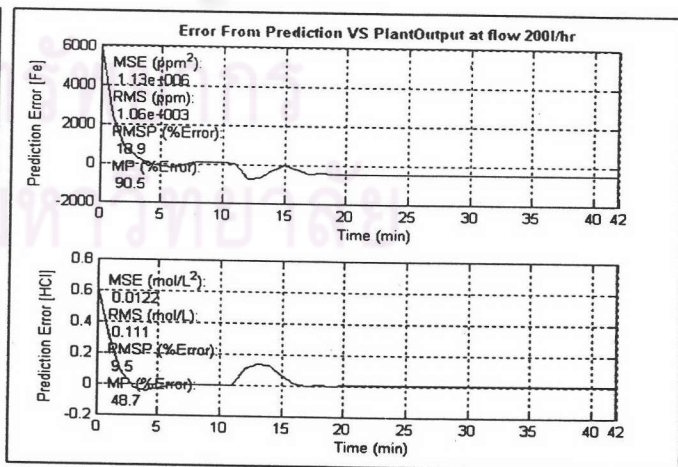
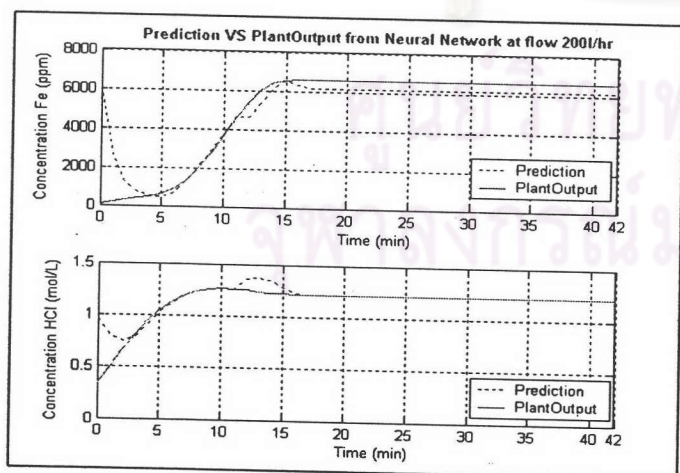




รูปที่ ข.43 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



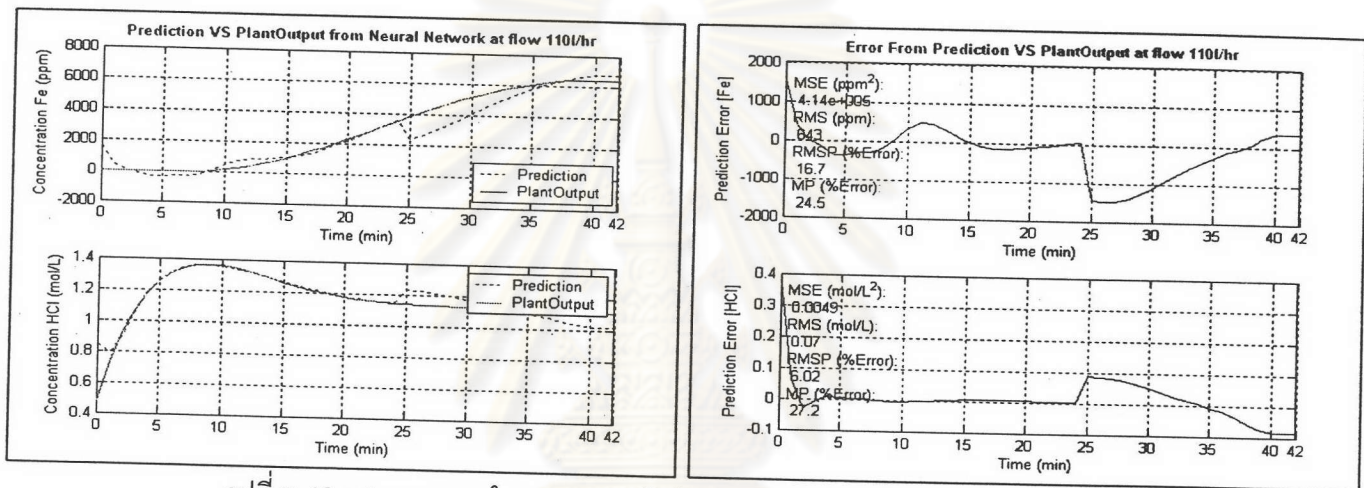
รูปที่ ข.44 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



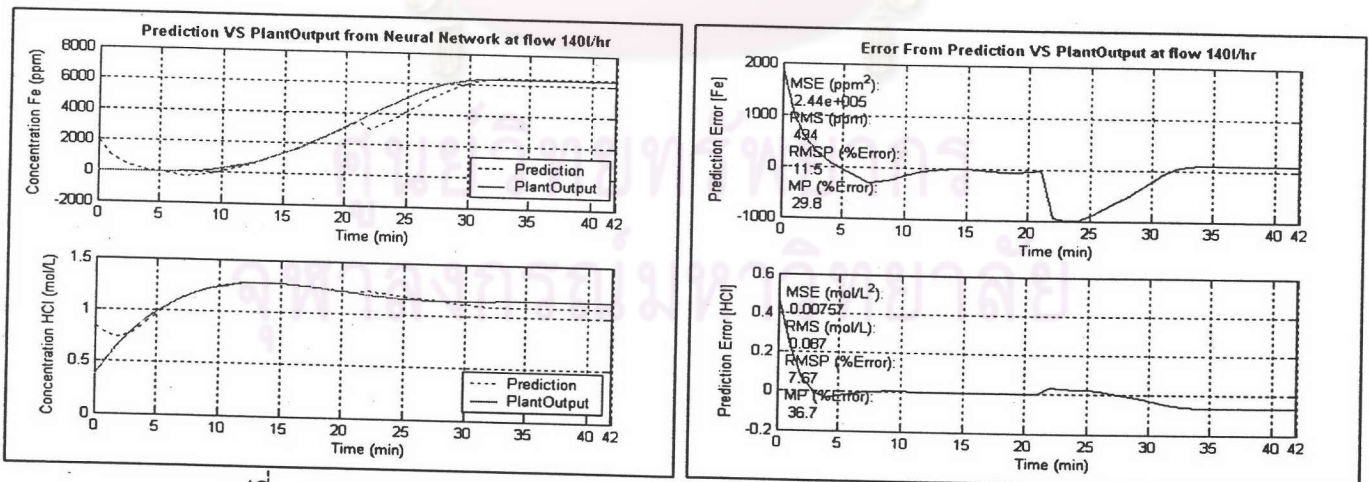
รูปที่ ข.45 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 4-4 [5-8-5-2] / [5-13-13-2]

สำหรับพฤติกรรมการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-8-5-2] แสดงถึง ข่างานที่อื่นพุท 5 โนด ชั้นช้อนแรก 8 โนด ชั้นช้อนสอง 5 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-13-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อื่นพุท 5 โนด ชั้นช้อนแรก 13 โนด ชั้นช้อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

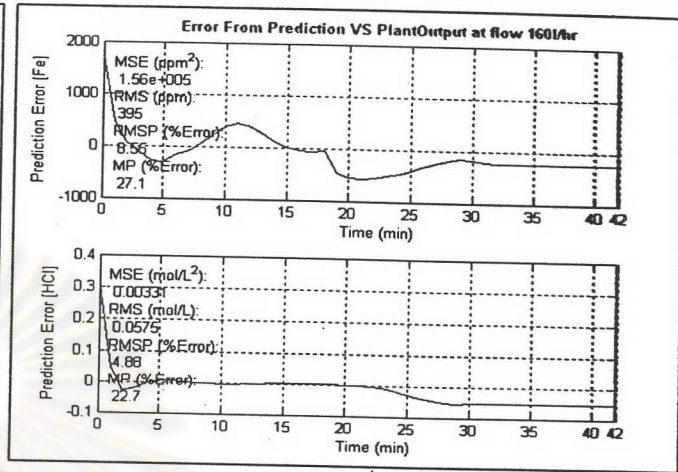
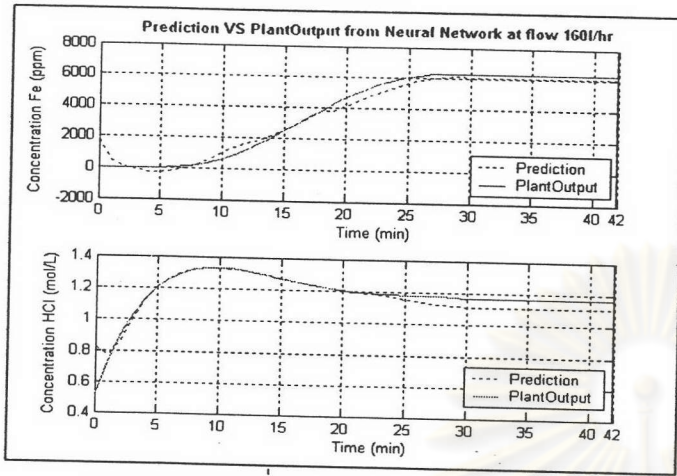


รูปที่ ข.46 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

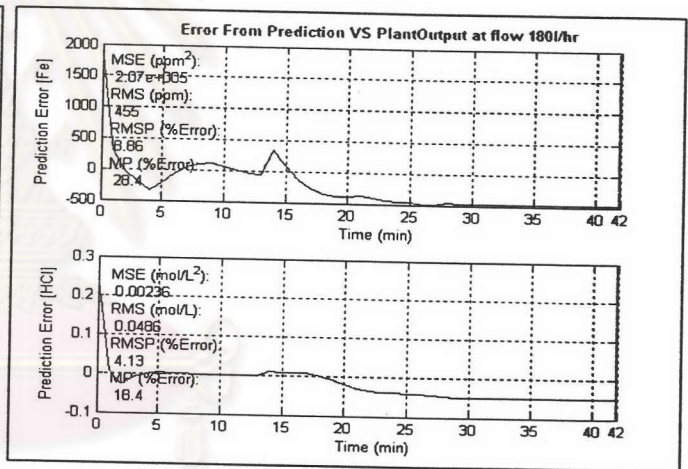
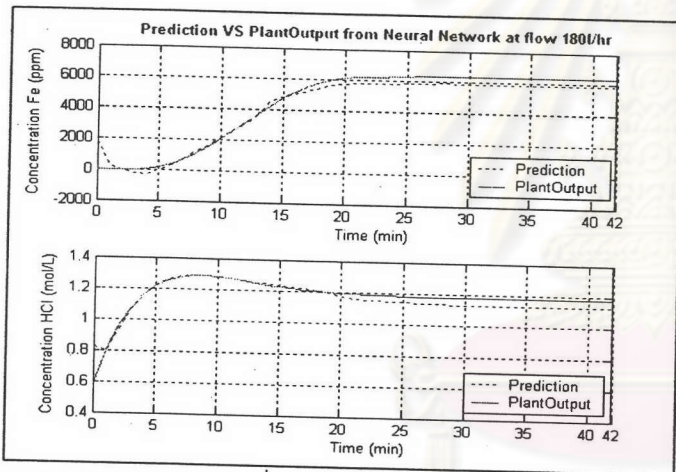


รูปที่ ข.47 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

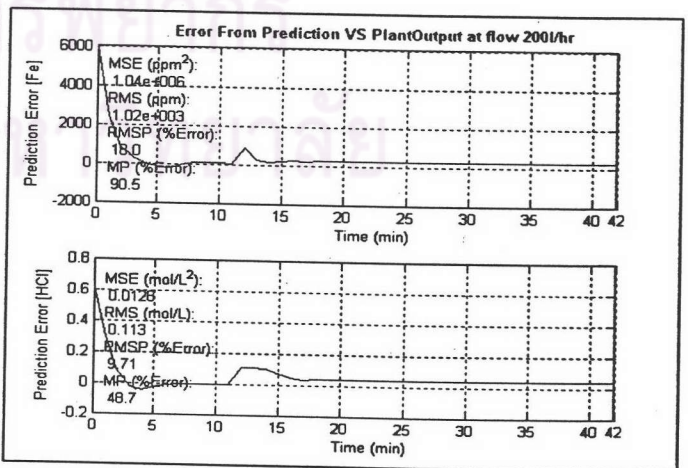
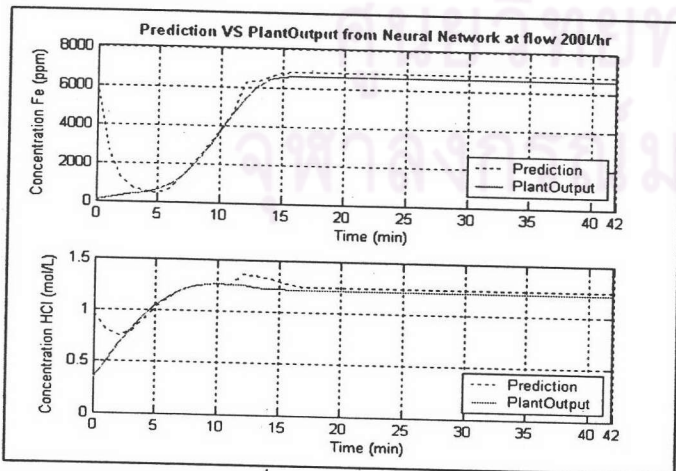




รูปที่ ข.48 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



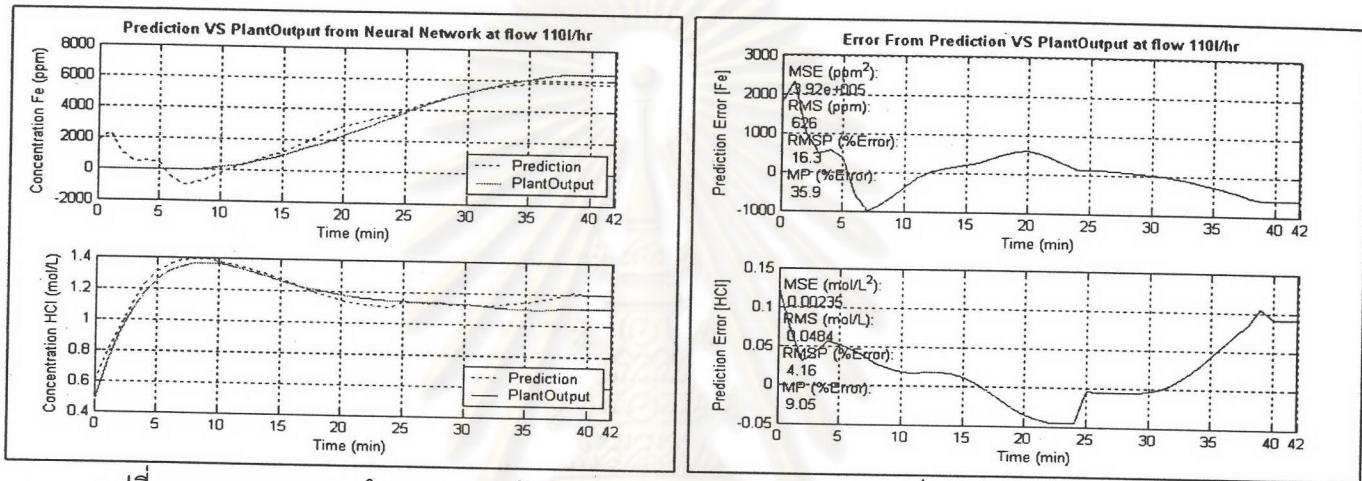
รูปที่ ข.49 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



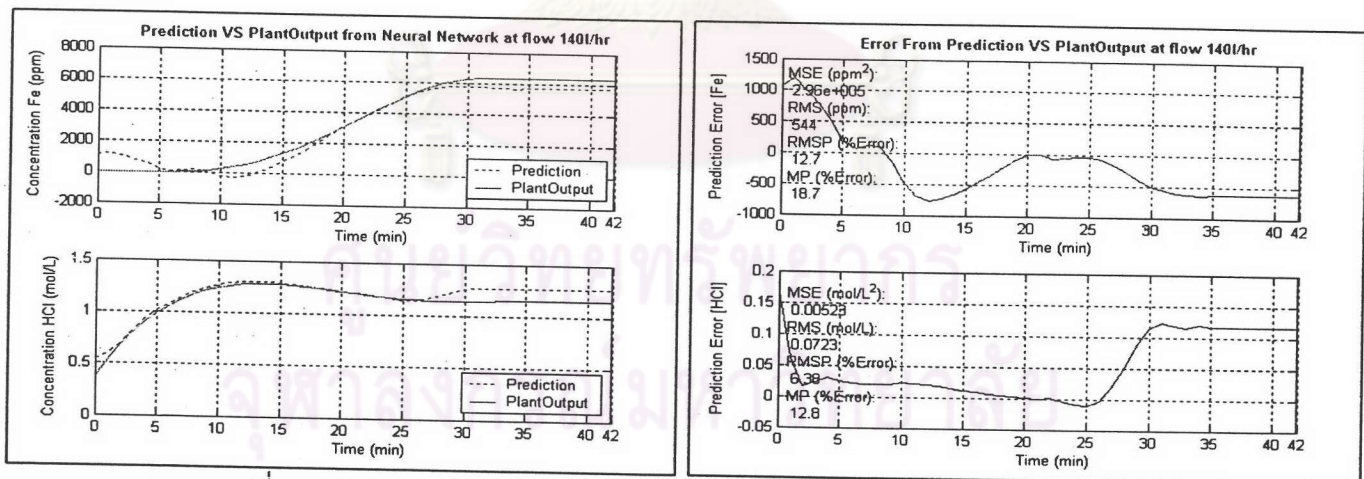
รูปที่ ข.50 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 5-1 [5-11-13-2] / [5-3-7-2]

สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-11-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-3-7-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 7 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

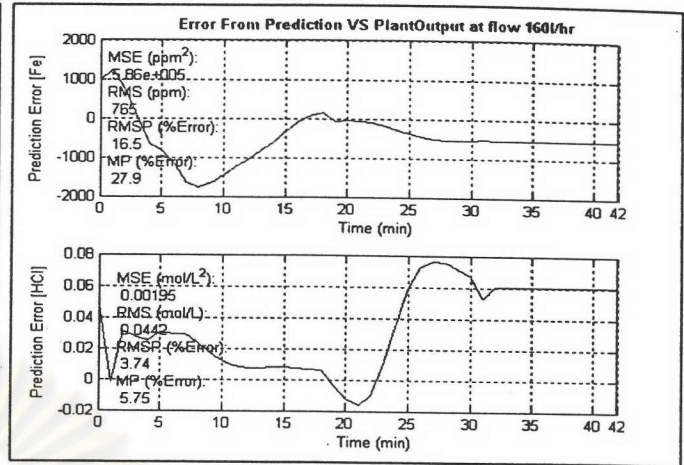
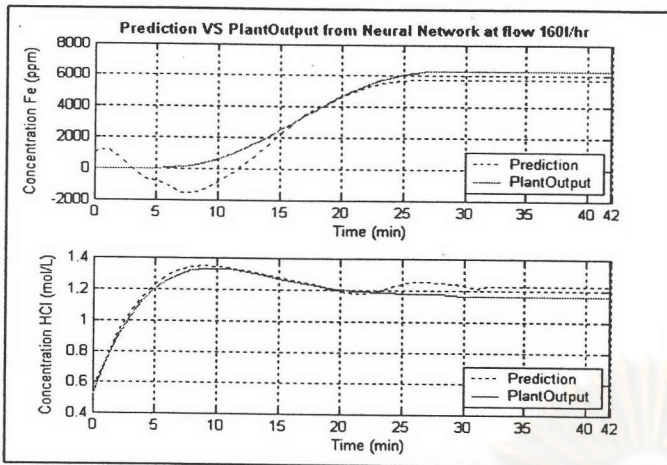


รูปที่ ข.51 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

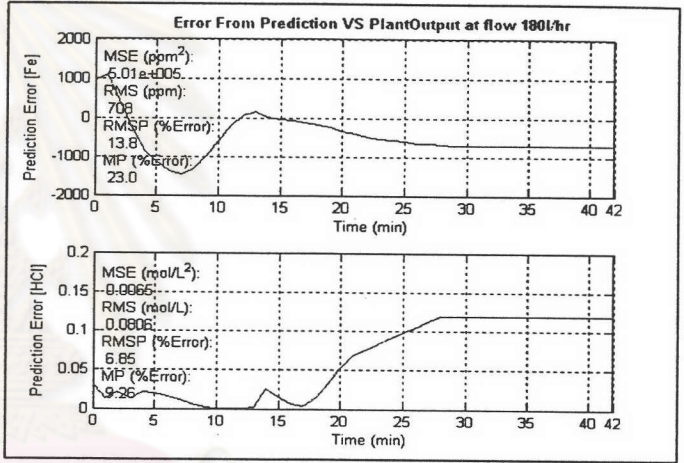
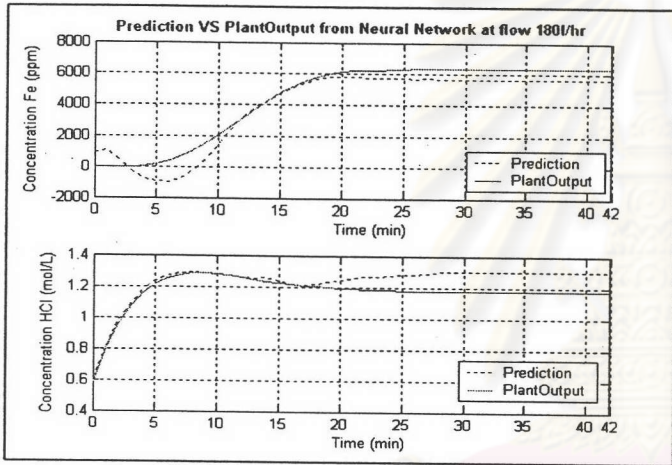


รูปที่ ข.52 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

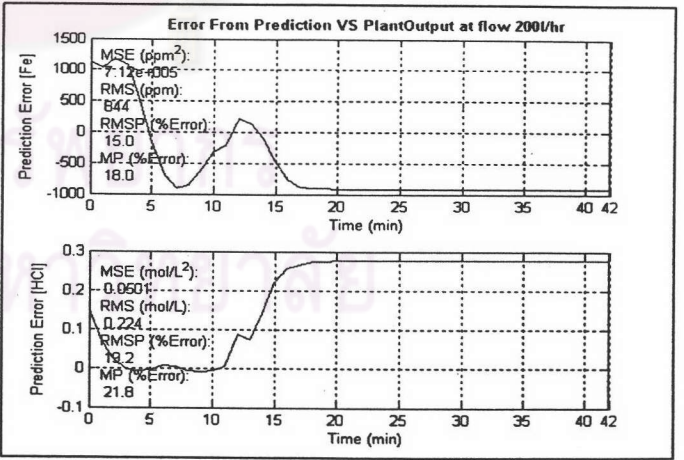
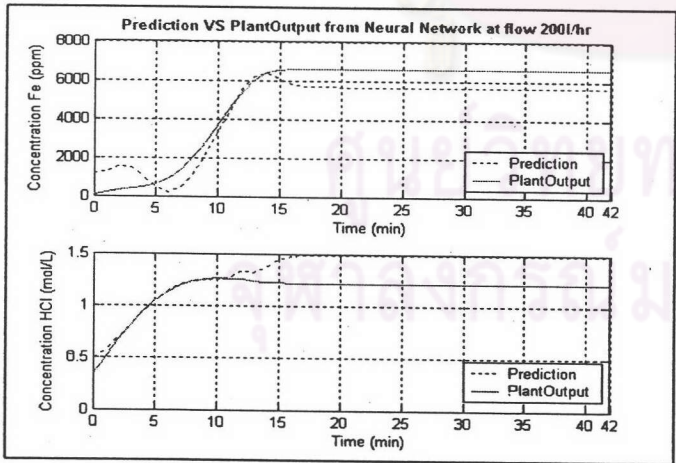




รูปที่ ข.53 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



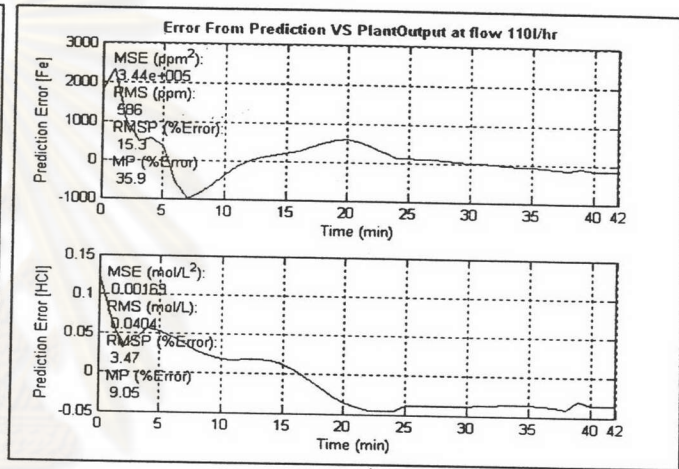
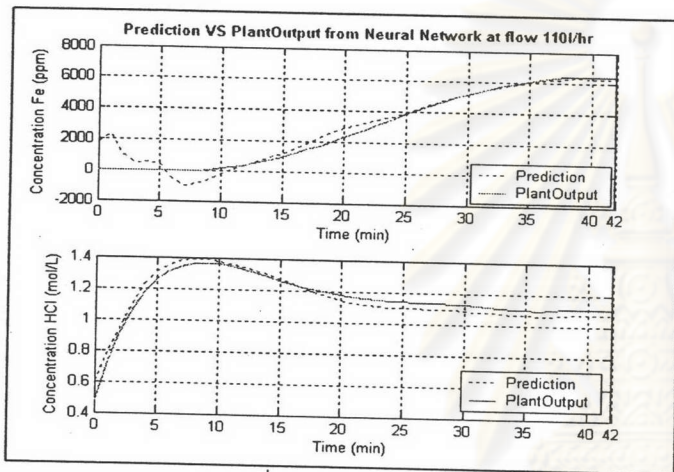
รูปที่ ข.54 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



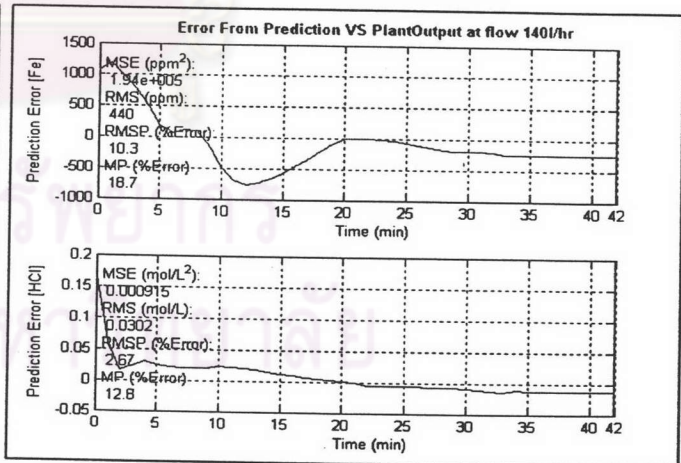
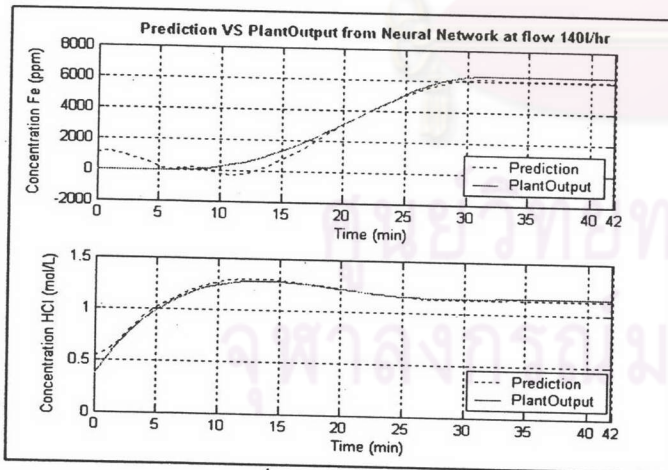
รูปที่ ข.55 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 5-2 [5-11-13-2] / [5-8-9-2]

สำหรับพฤติกรรมกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-11-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-8-9-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 8 โนด ชั้นซ่อนสอง 9 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

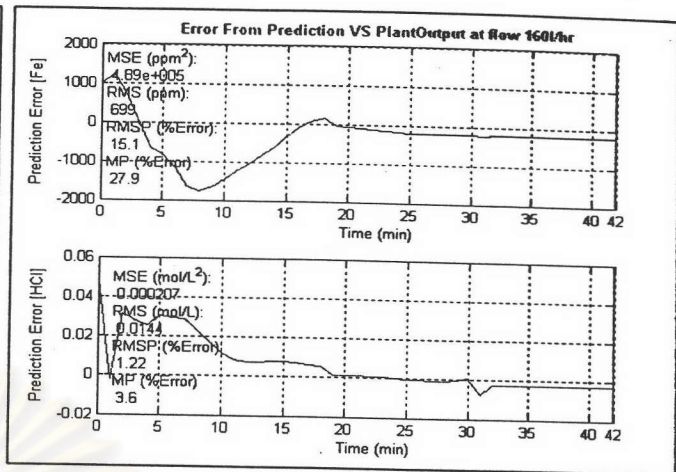
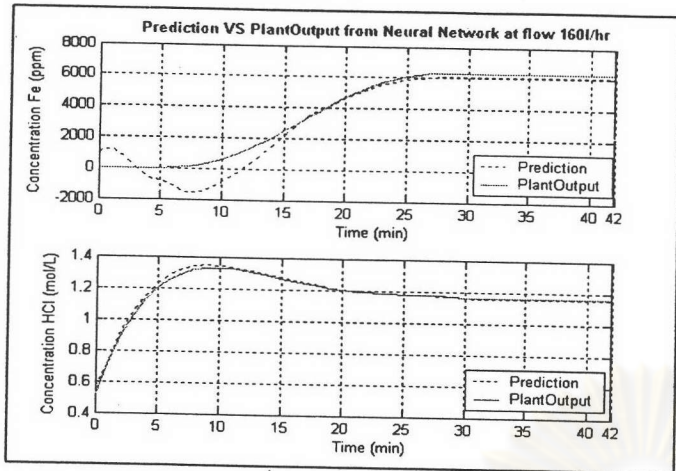


รูปที่ ข.56 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

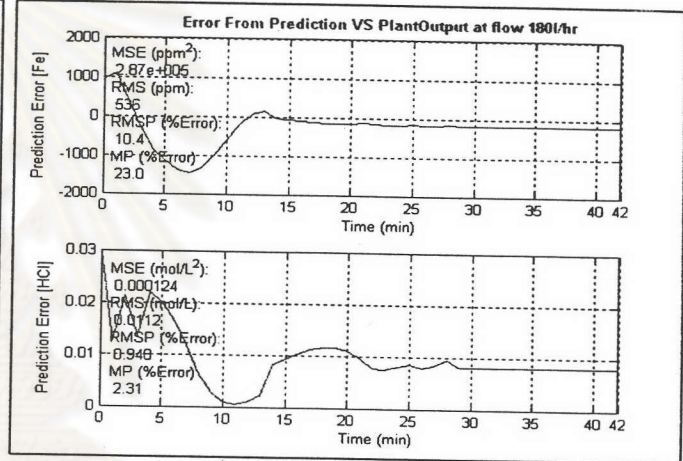
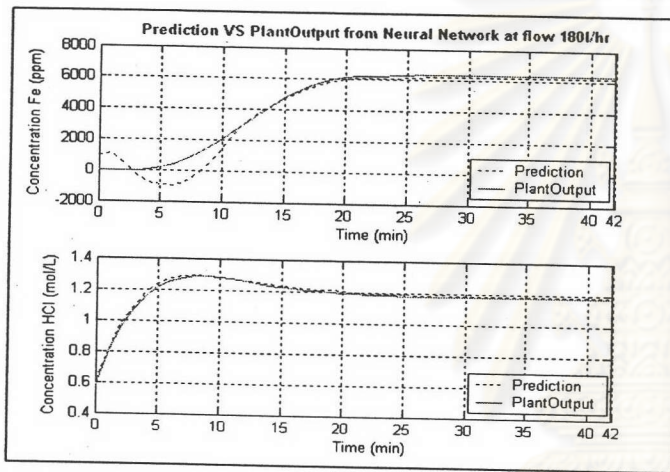


รูปที่ ข.57 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

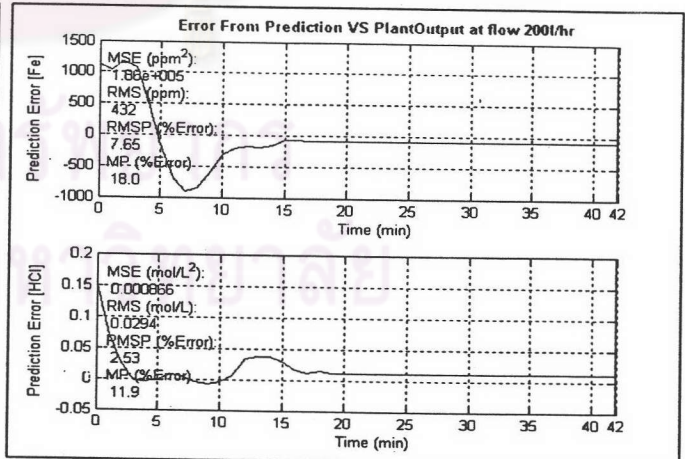
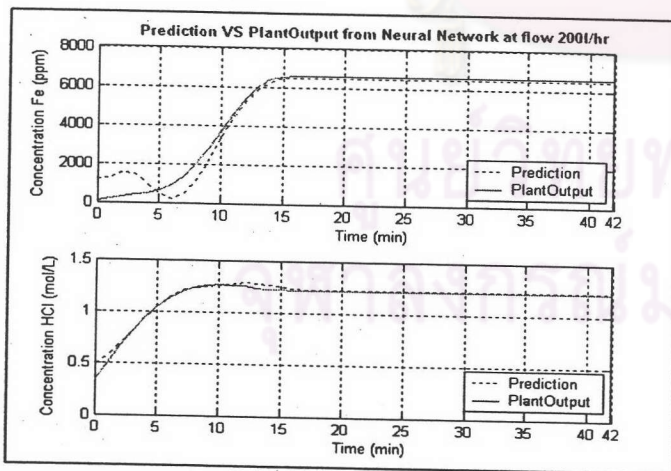




รูปที่ ข.58 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



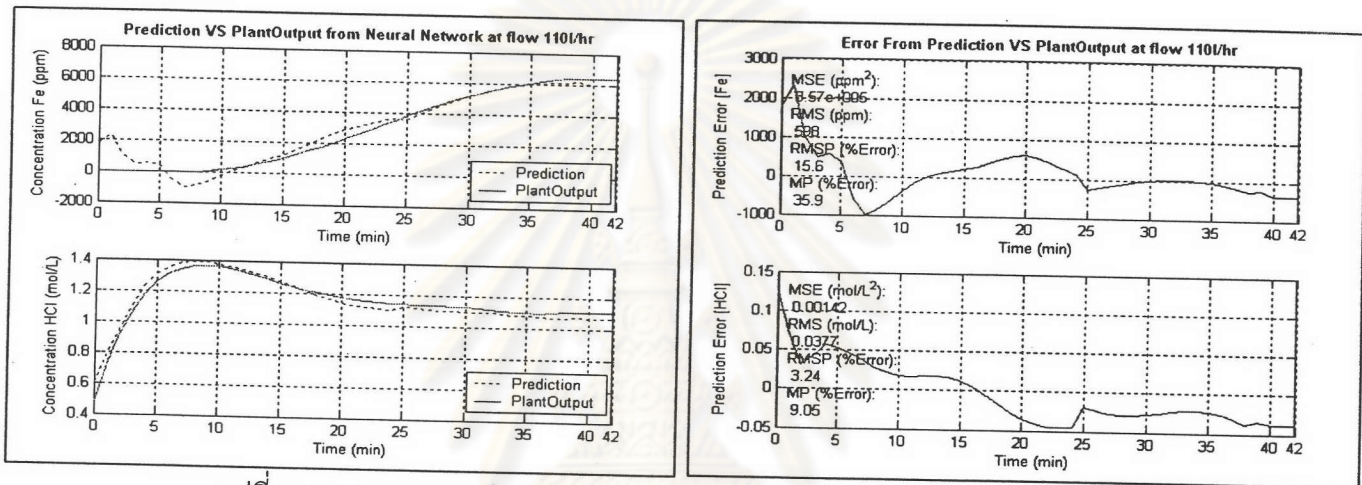
รูปที่ ข.59 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



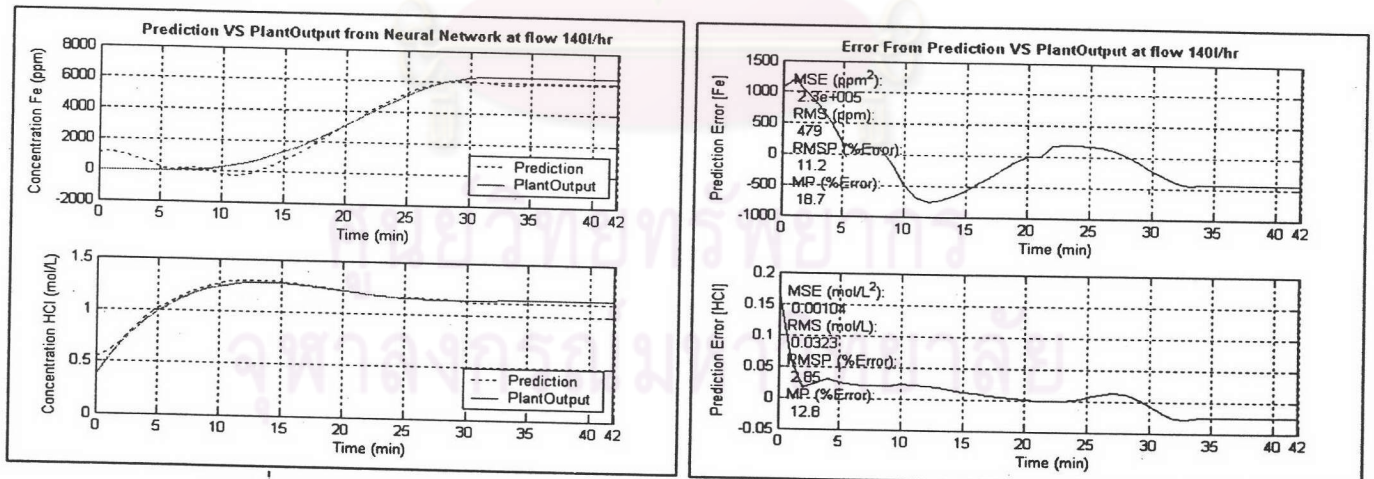
รูปที่ ข.60 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 5-3 [5-11-13-2] / [5-11-9-2]

สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-11-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-11-9-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุต 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 9 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

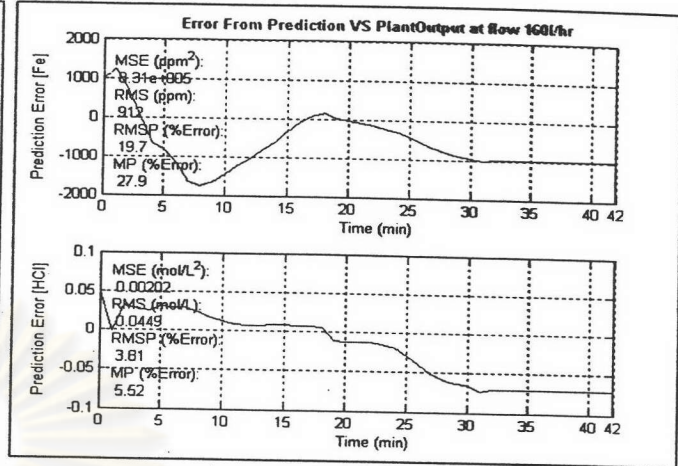
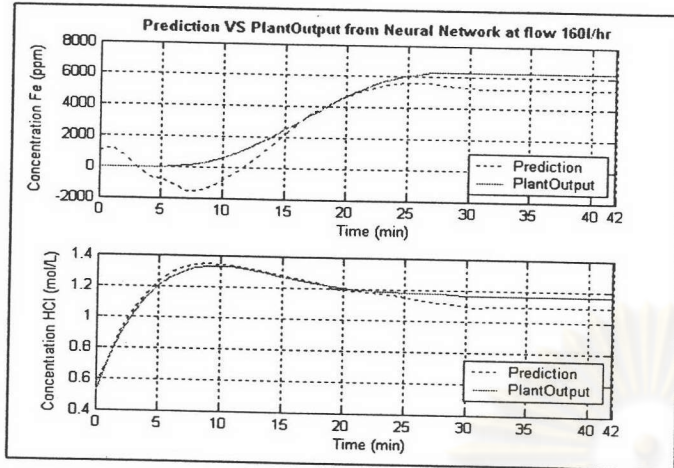


รูปที่ ข.61 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

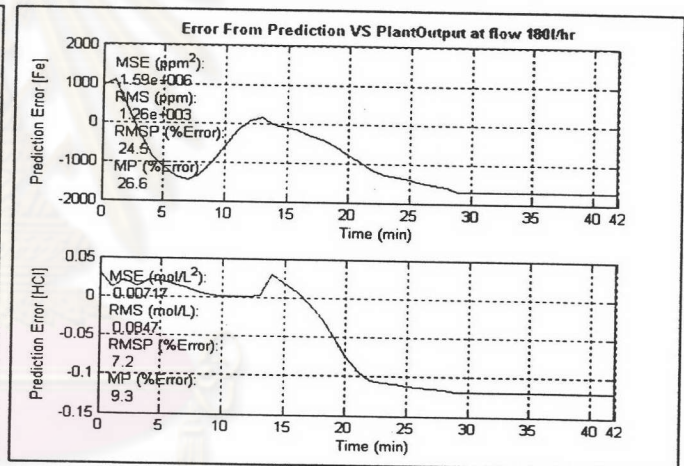
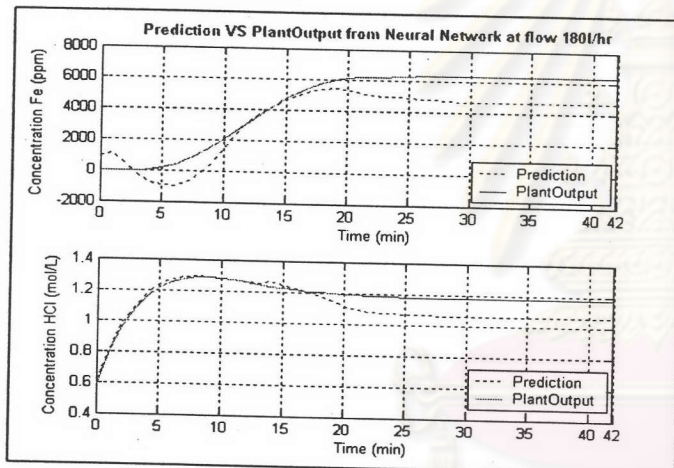


รูปที่ ข.62 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

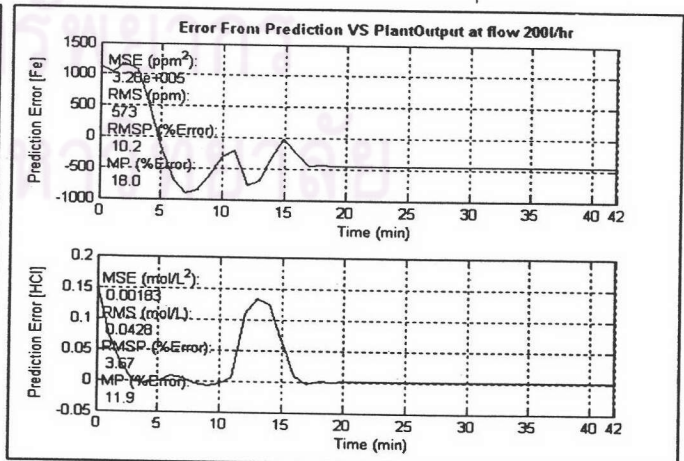
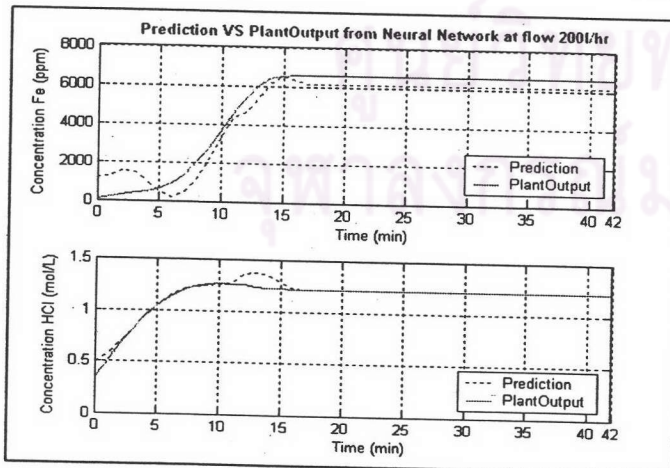




รูปที่ ข.63 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



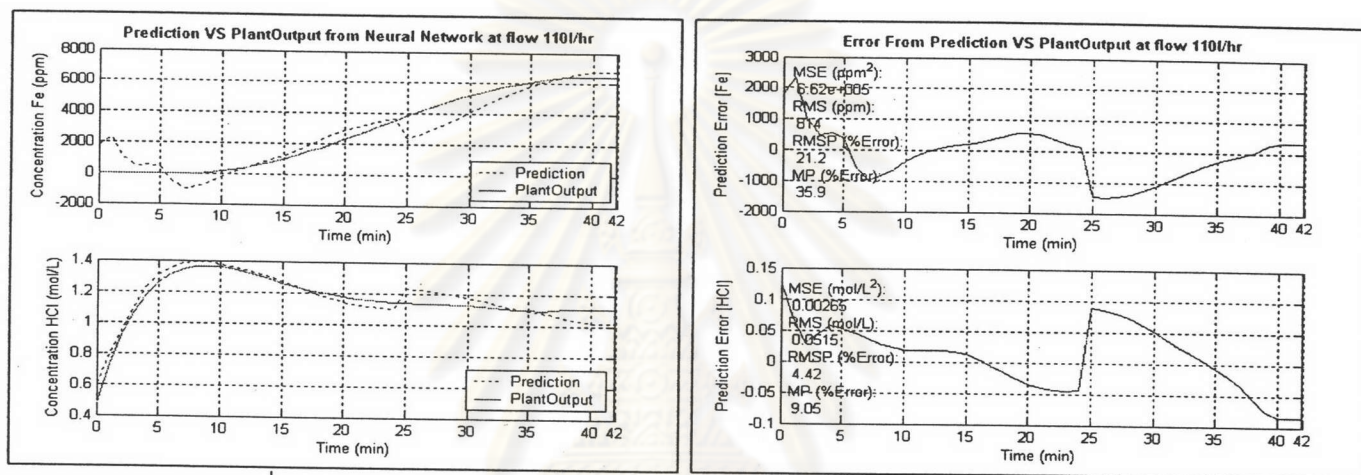
รูปที่ ข.64 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



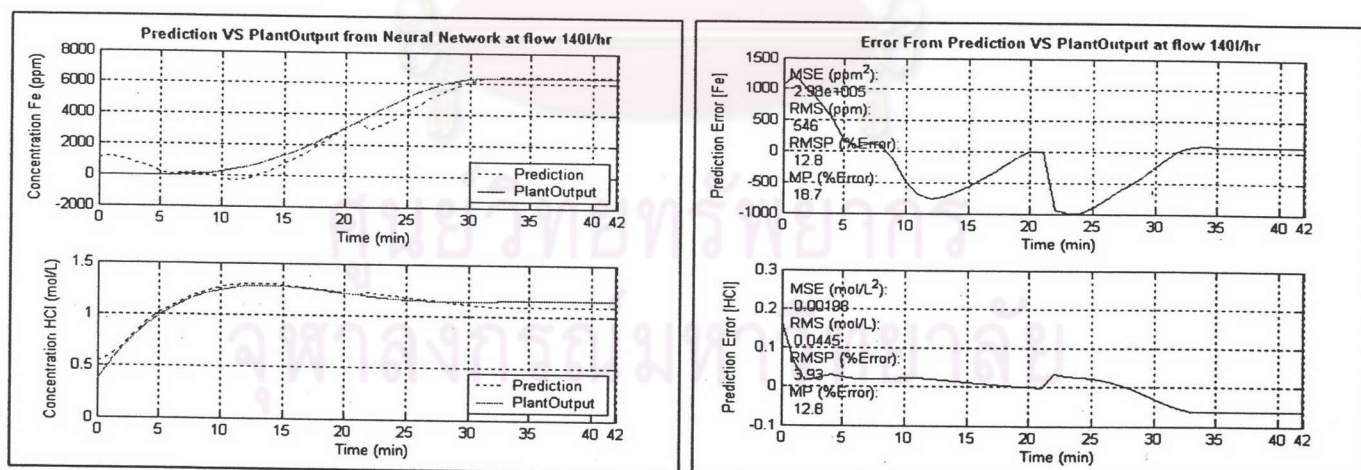
รูปที่ ข.65 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

### แบบจำลองที่ 5-4 [5-11-13-2] / [5-13-13-2]

สำหรับพฤติกรรมกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-11-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-13-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

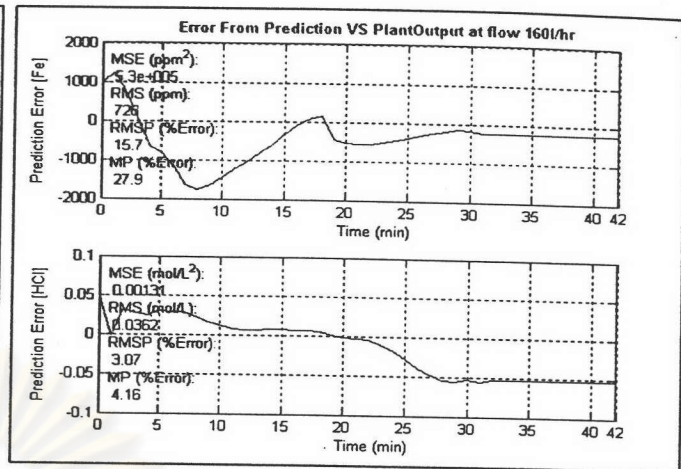
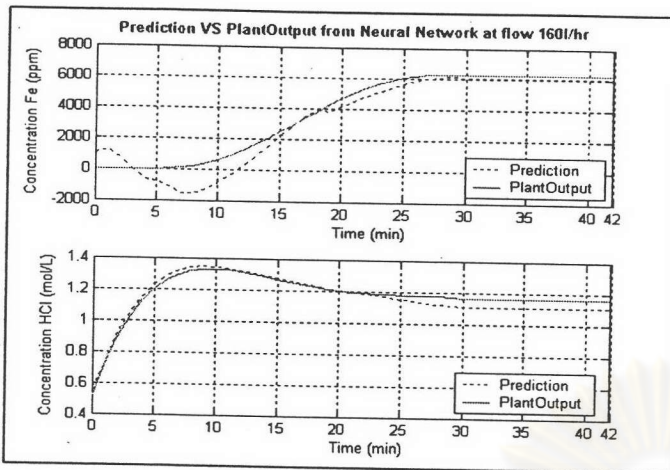


รูปที่ ข.66 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

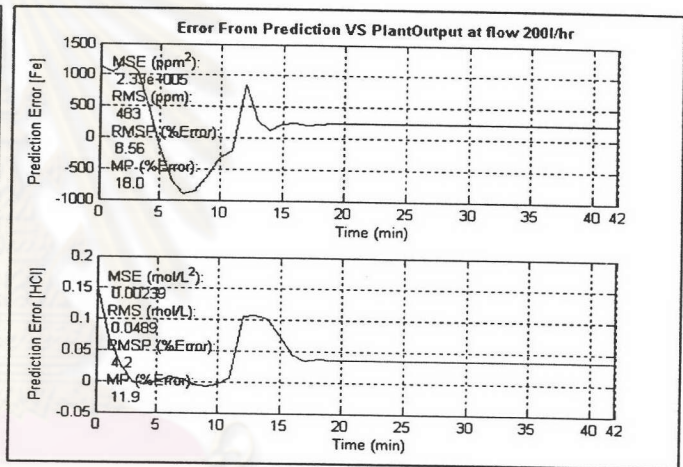
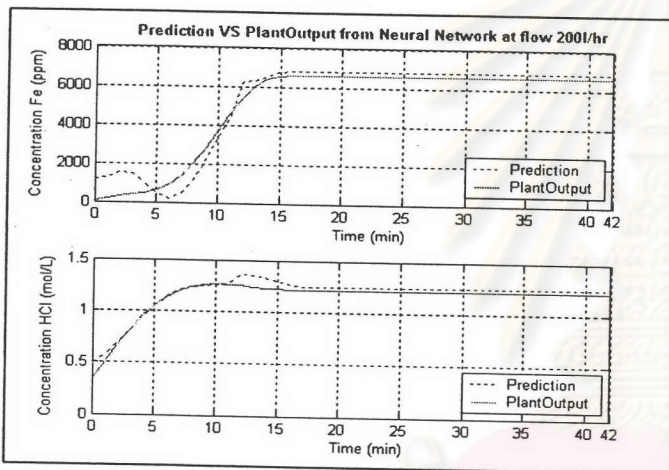


รูปที่ ข.67 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

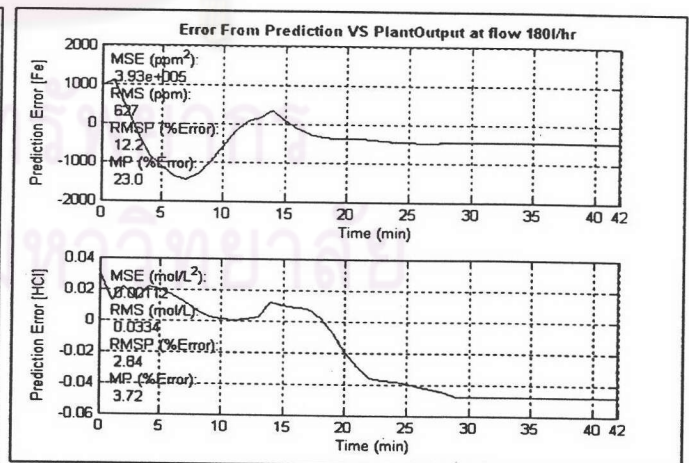
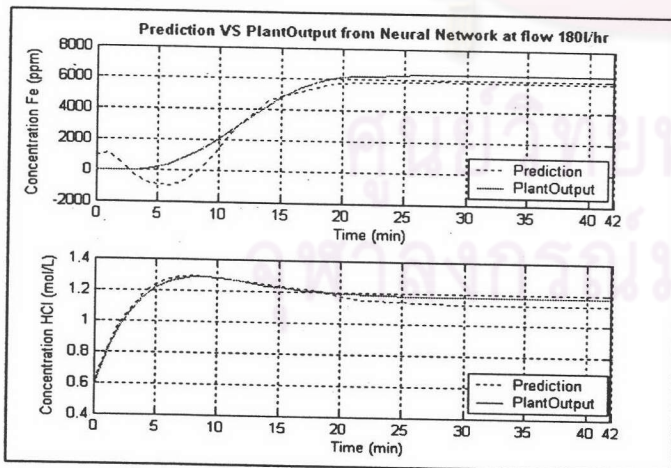




รูปที่ ข.68 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



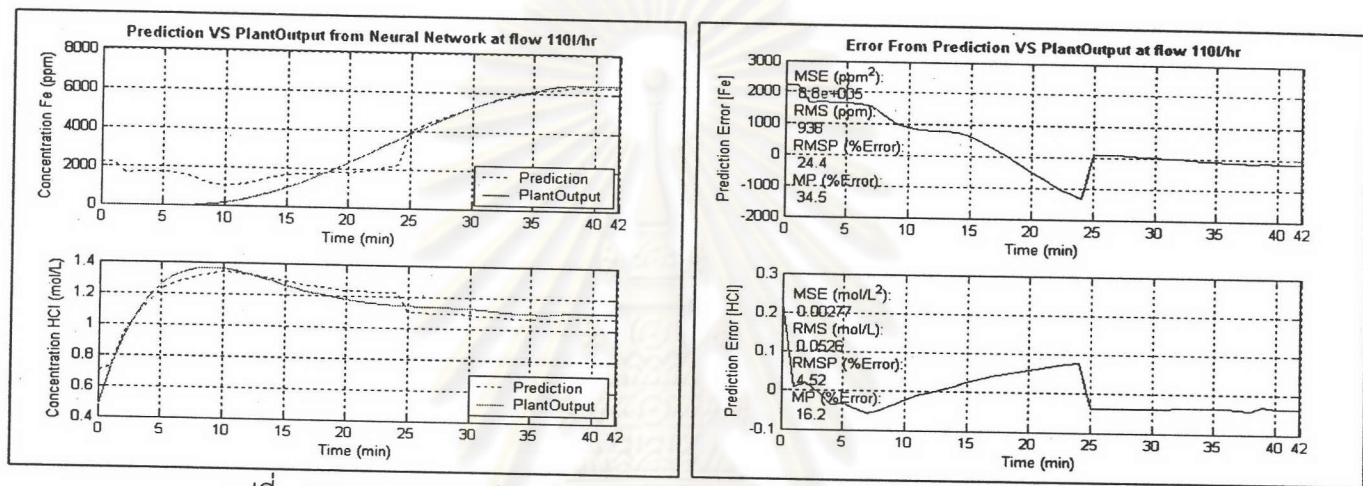
รูปที่ ข.69 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



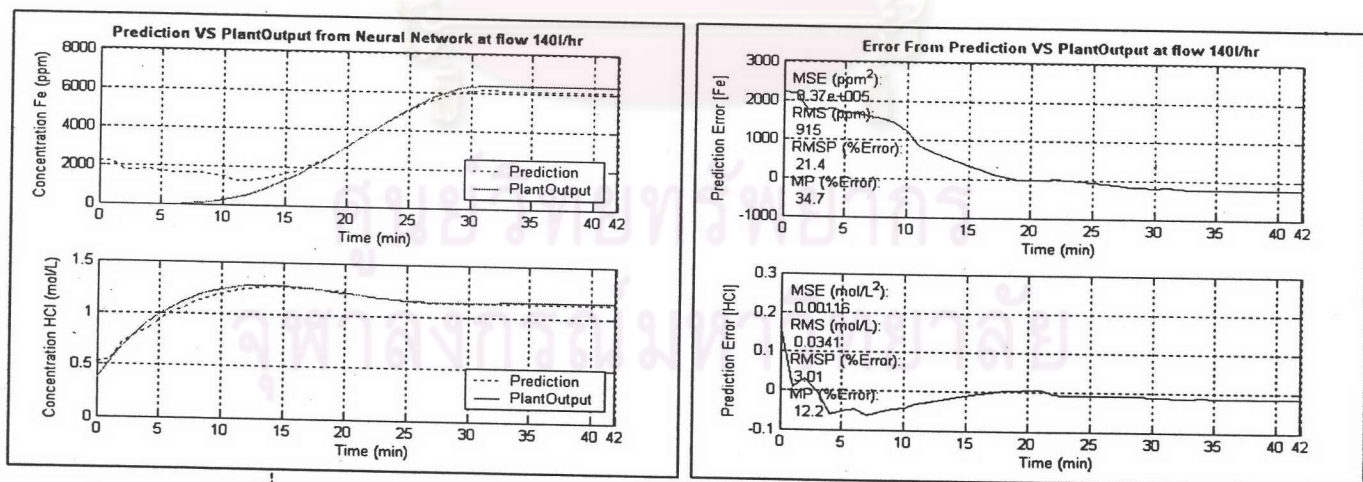
รูปที่ ข.70 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 6-1 [5-13-8-2] / [5-3-7-2]

สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-13-8-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด ชั้นซ่อนสอง 8 โนด และเอาต์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-3-7-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 7 โนด และเอาต์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

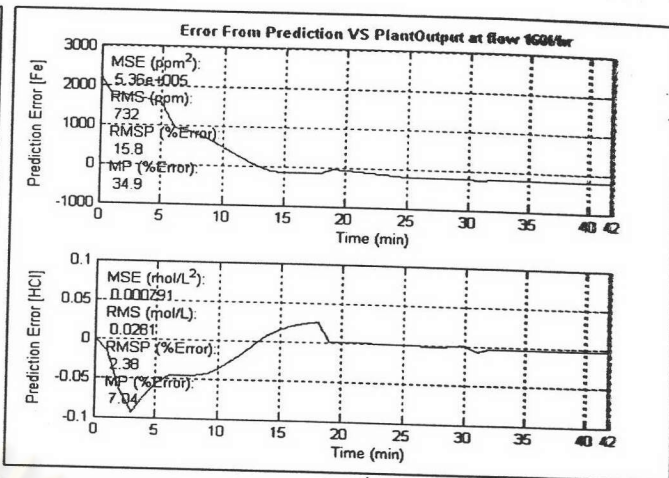
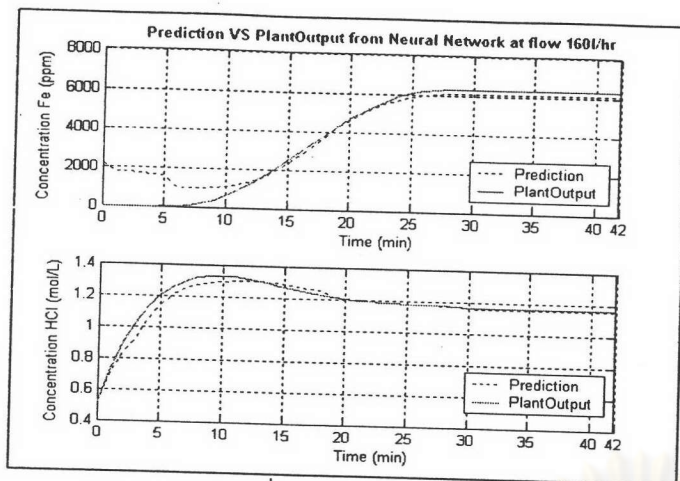


รูปที่ ข.71 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

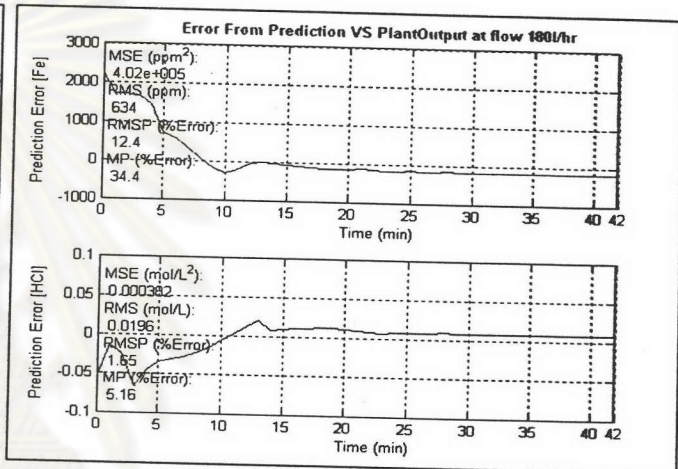
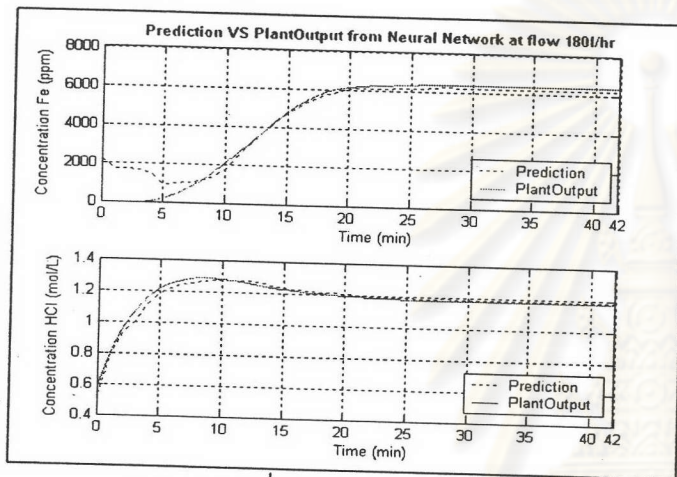


รูปที่ ข.72 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

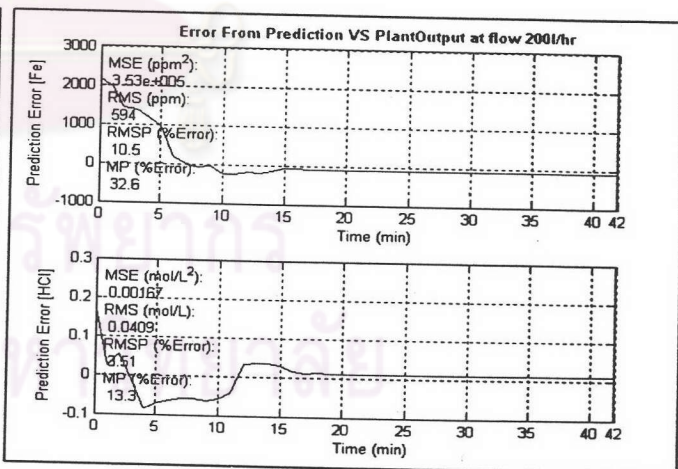
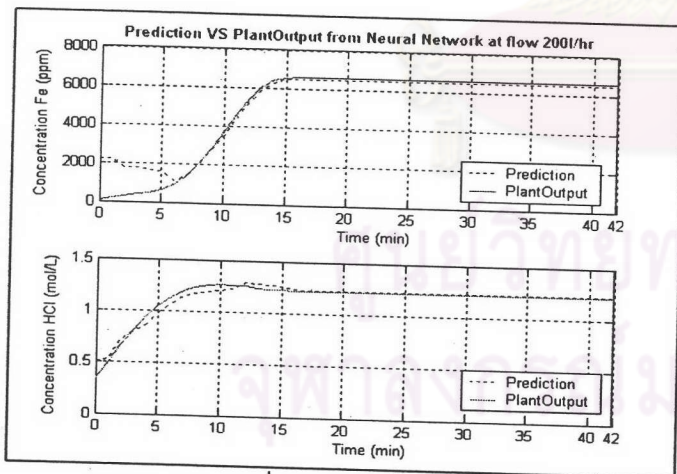




รูปที่ ข.73 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



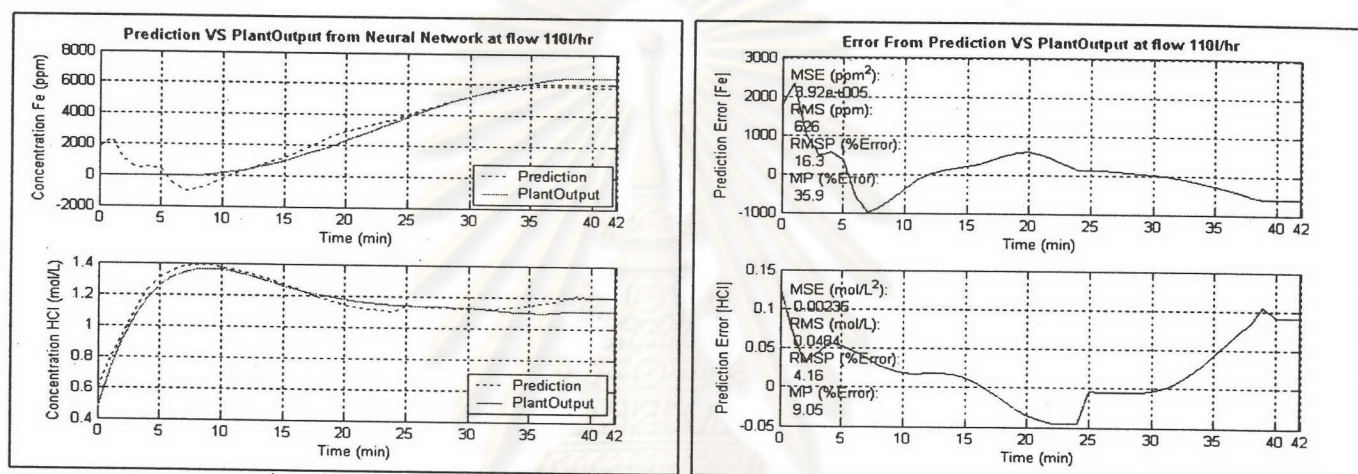
รูปที่ ข.74 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



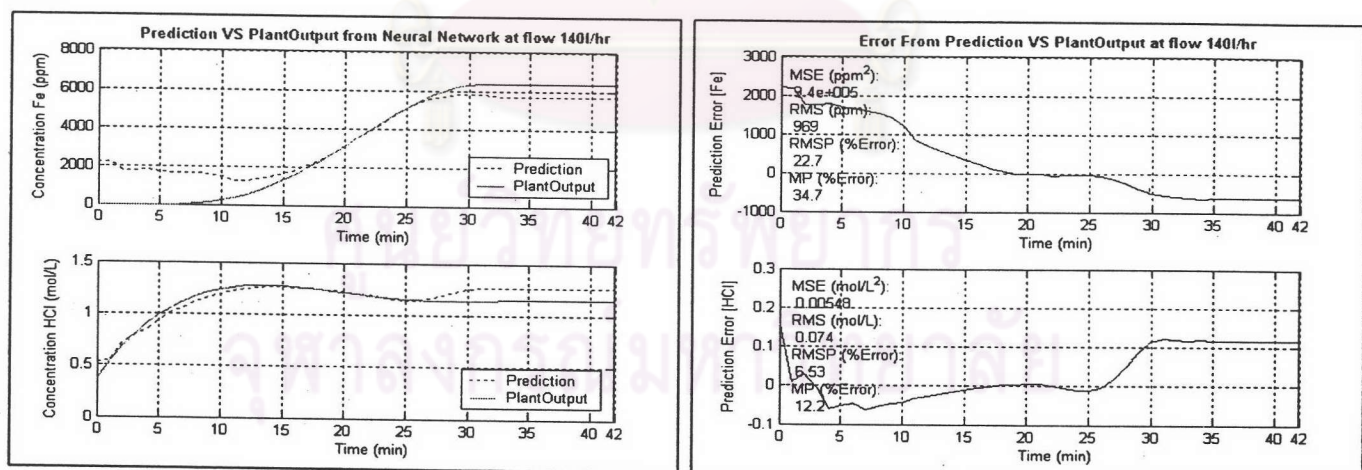
รูปที่ ข.75 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

### แบบจำลองที่ 6-2 [5-13-8-2] / [5-8-9-2]

สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-13-8-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โคนด์ ชั้นช้อนแรก 13 โคนด์ ชั้นช้อนสอง 8 โคนด์ และเอาท์พุท 2 โคนด์ 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-8-9-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โคนด์ ชั้นช้อนแรก 8 โคนด์ ชั้นช้อนสอง 9 โคนด์ และเอาท์พุท 2 โคนด์ ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

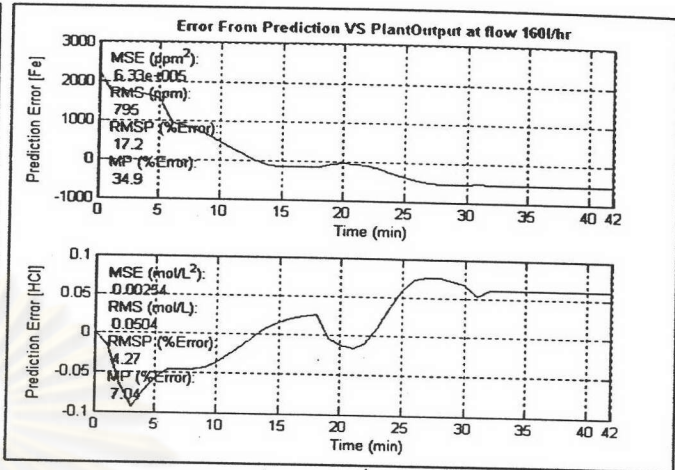
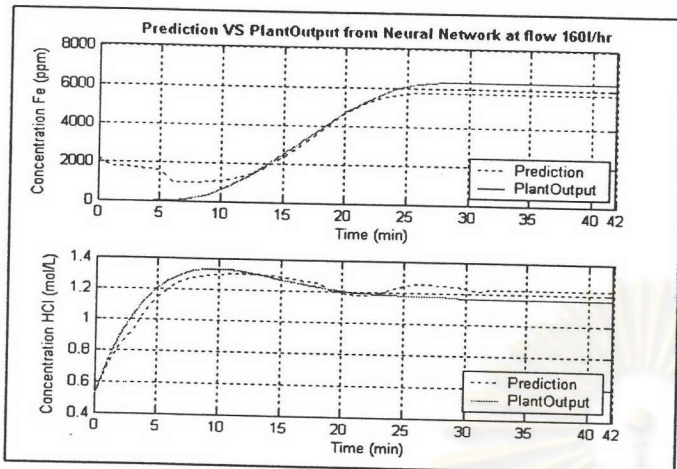


รูปที่ ๗.๖ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

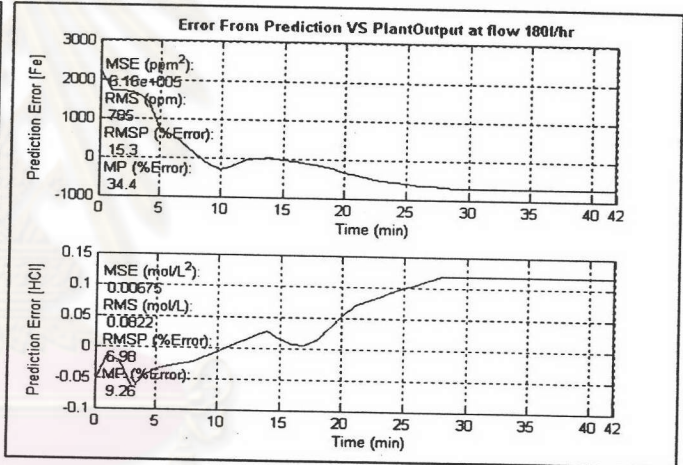
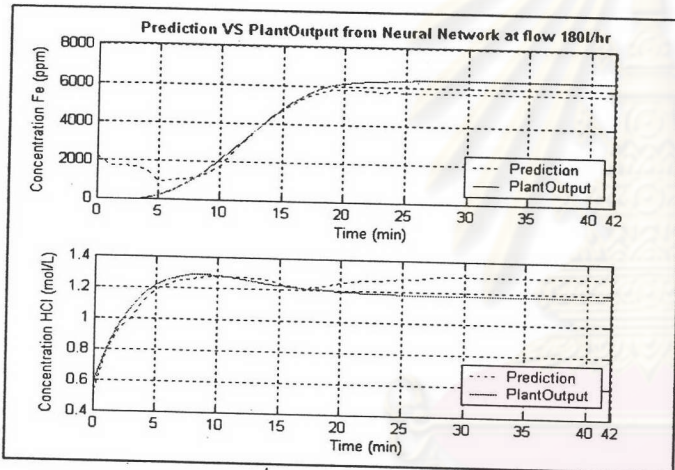


รูปที่ ๗.๗ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

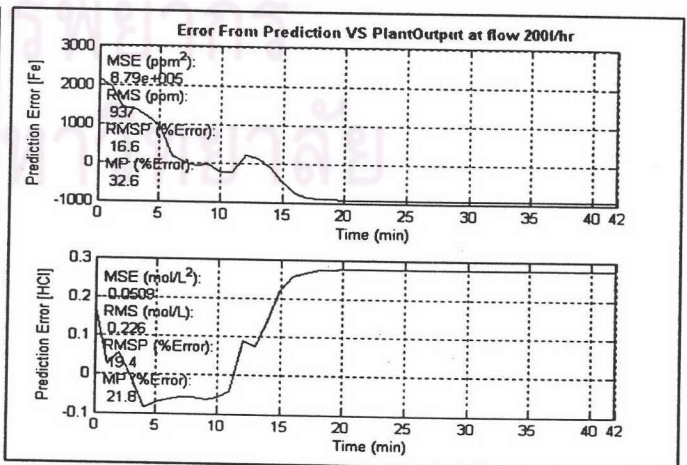
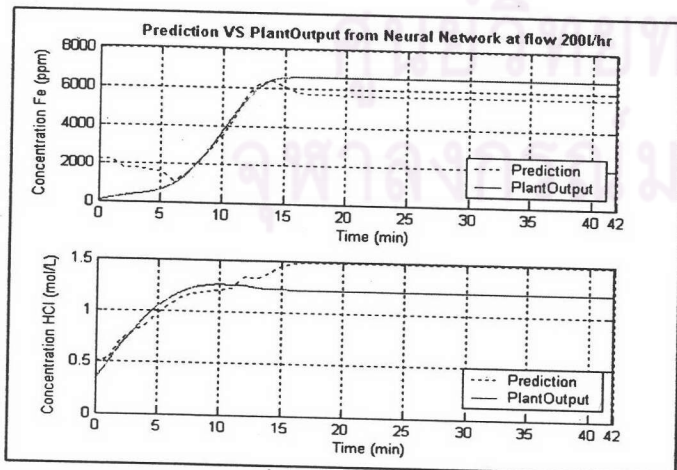




รูปที่ ข.78 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



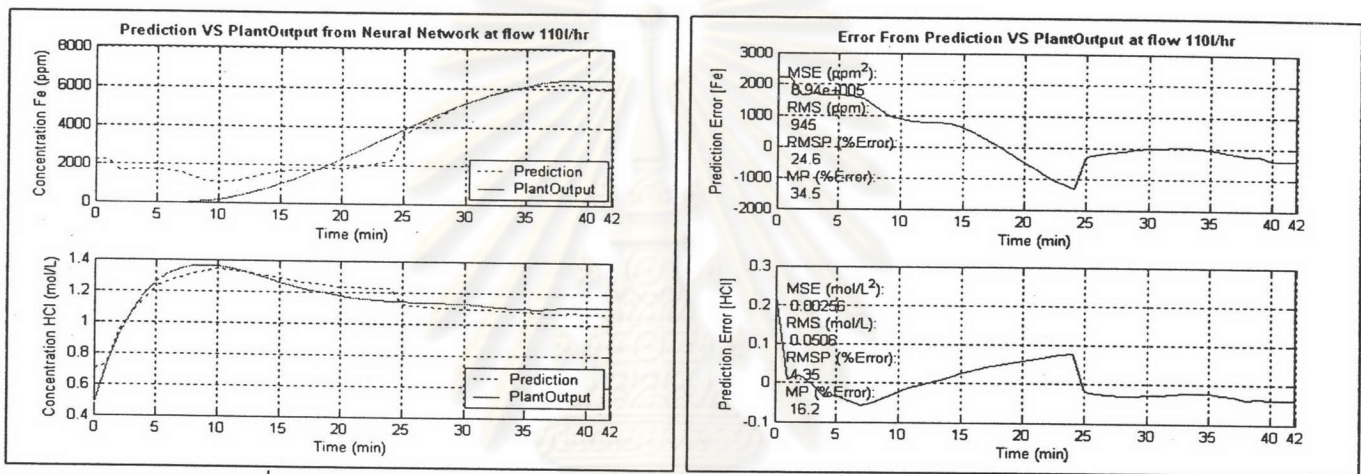
รูปที่ ข.79 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



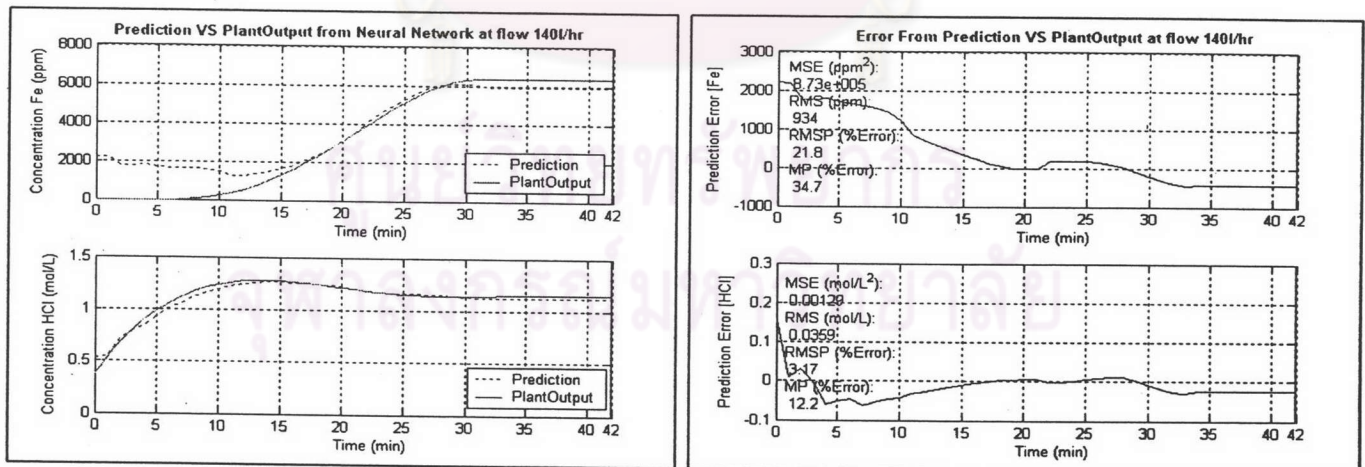
รูปที่ ข.80 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 6-3 [5-13-8-2] / [5-11-9-2]

สำหรับพฤติกรรมการณ์แลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-13-8-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด ชั้นซ่อนสอง 8 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-11-9-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 9 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

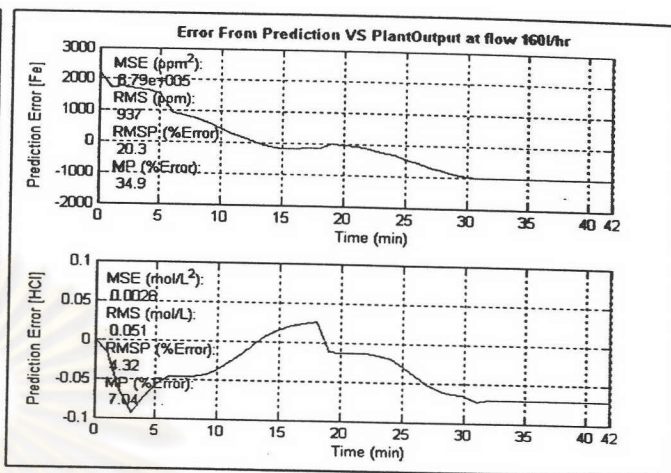
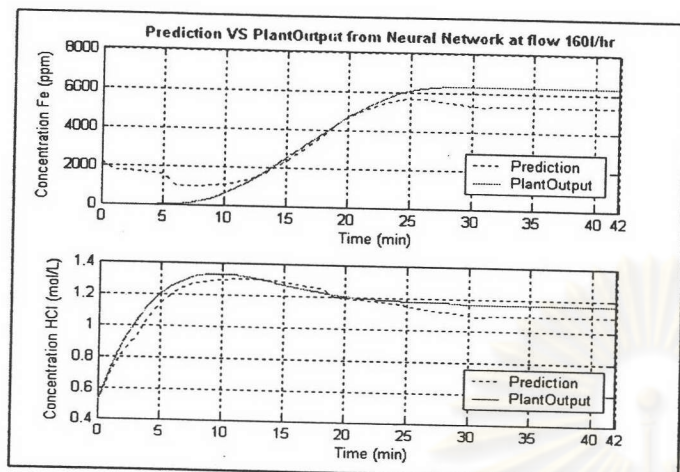


รูปที่ ข.81 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

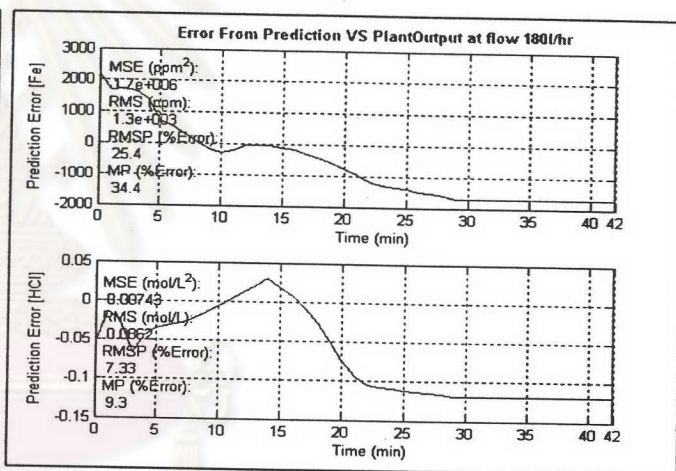
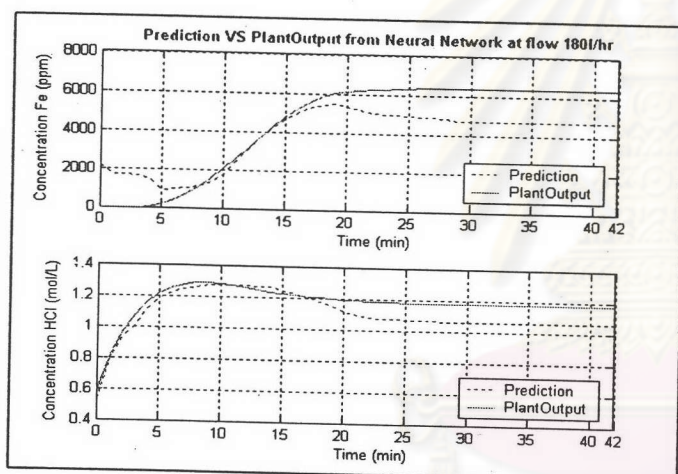


รูปที่ ข.82 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

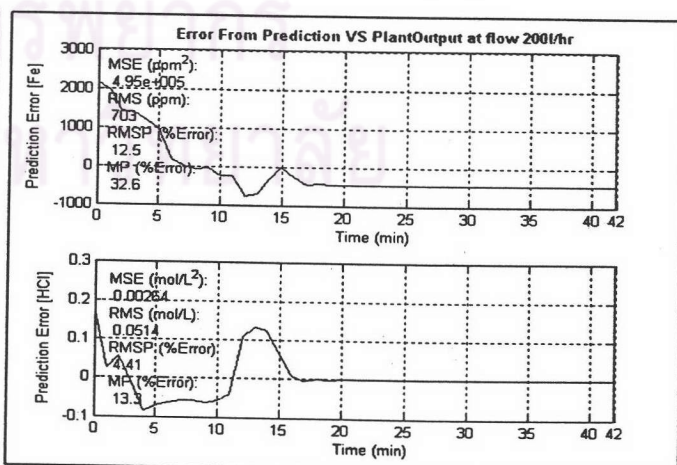
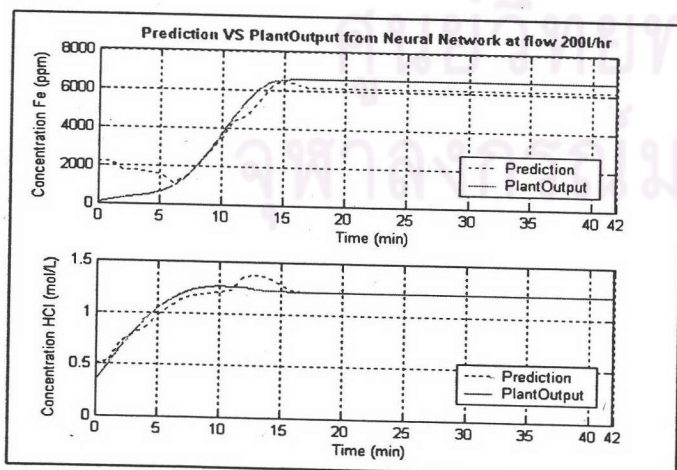




รูปที่ ข.83 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



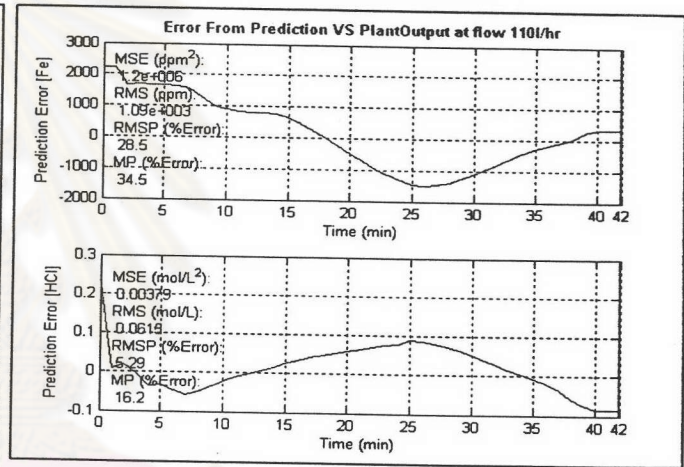
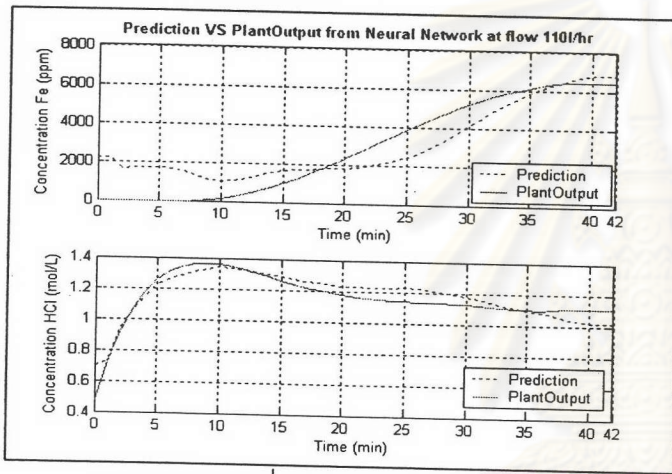
รูปที่ ข.84 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



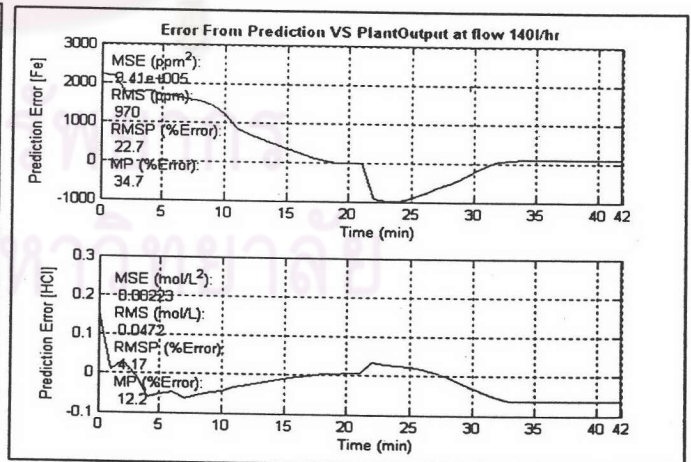
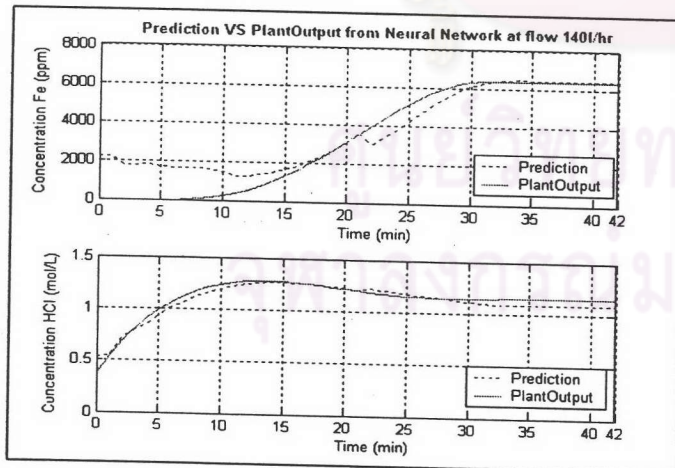
รูปที่ ข.85 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 6-4 [5-13-8-2] / [5-13-13-2]

สำหรับพฤติกรรมการณ์แลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-13-8-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด ชั้นซ่อนสอง 8 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มข้นไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่างาน [5-13-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

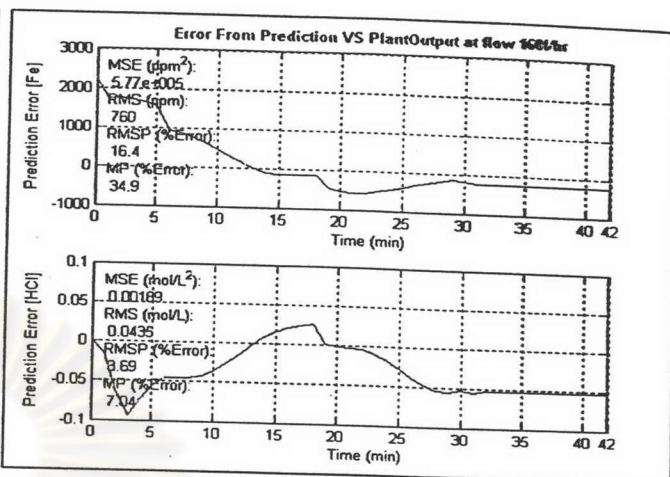
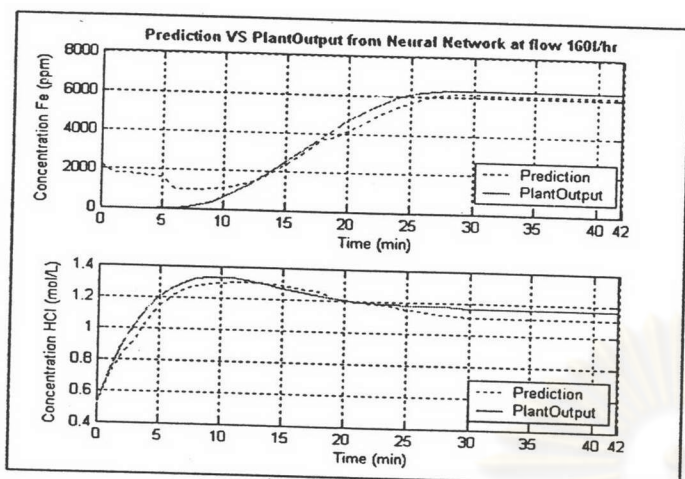


รูปที่ ข.86 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

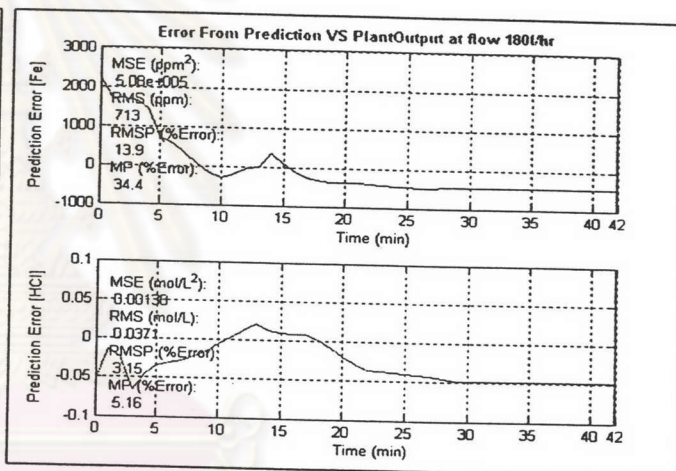
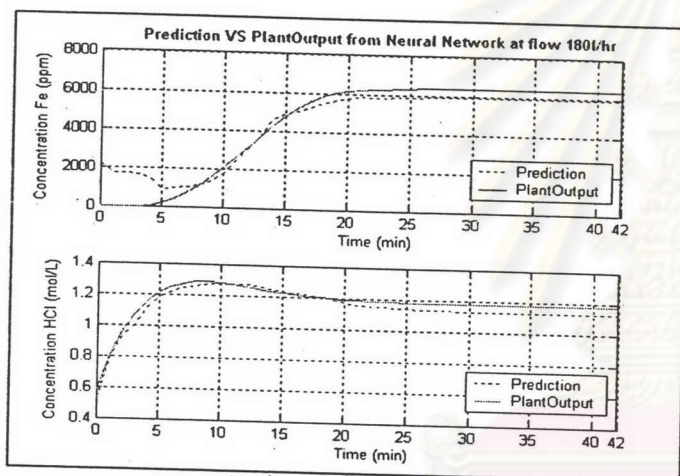


รูปที่ ข.87 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

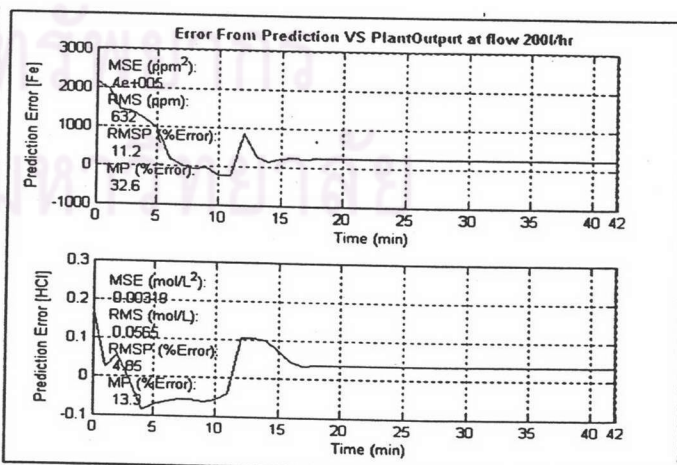
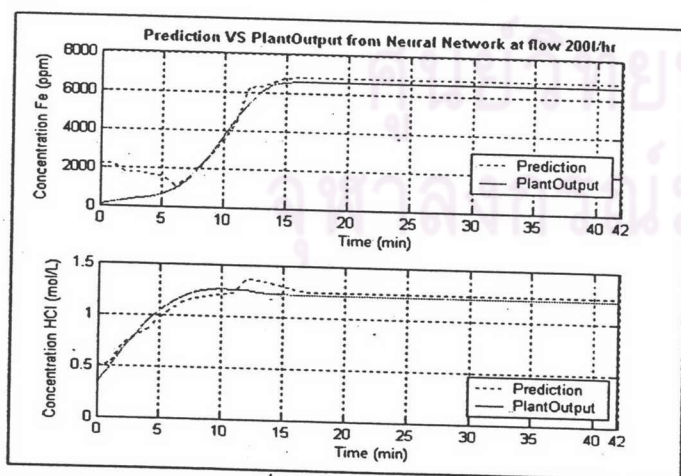




รูปที่ ข.88 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



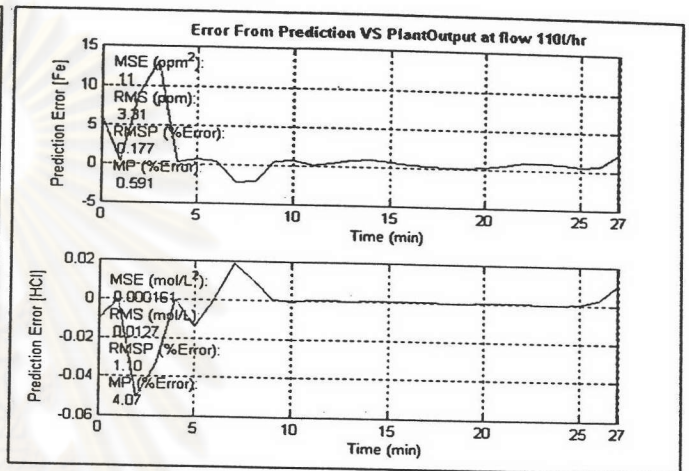
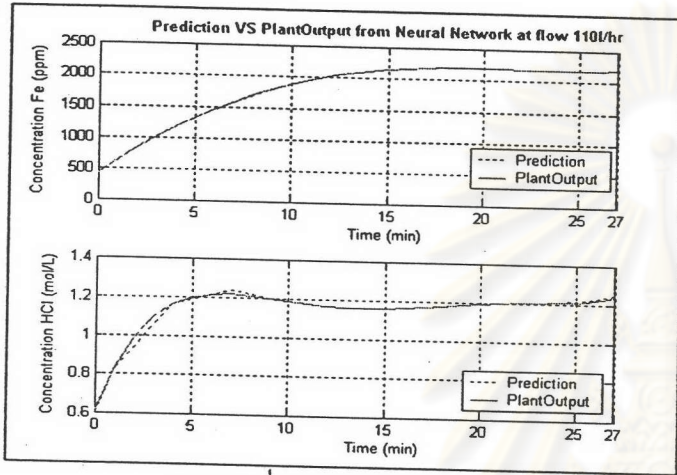
รูปที่ ข.89 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



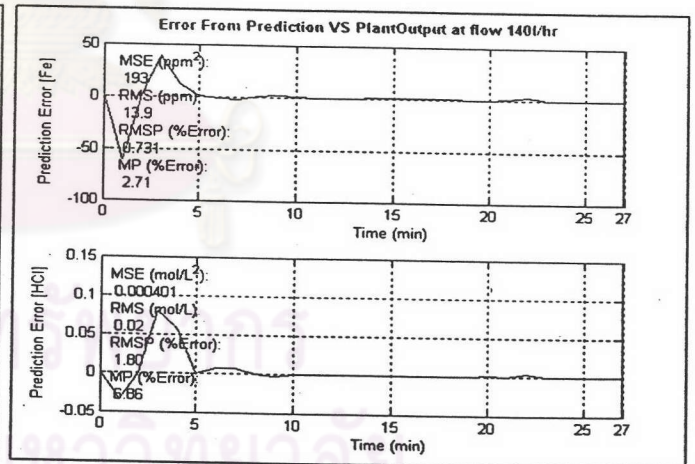
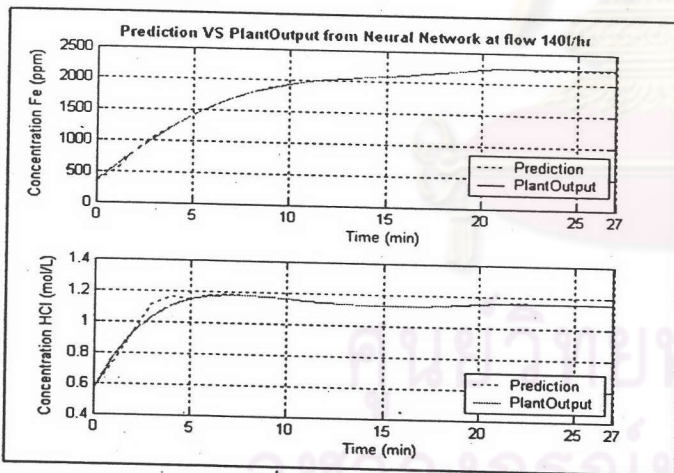
รูปที่ ข.90 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 7-1 [5-3-11-2]

สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ จะใช้ข่างาน [5-3-11-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 3 โนด ชั้นซ่อนสอง 11 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

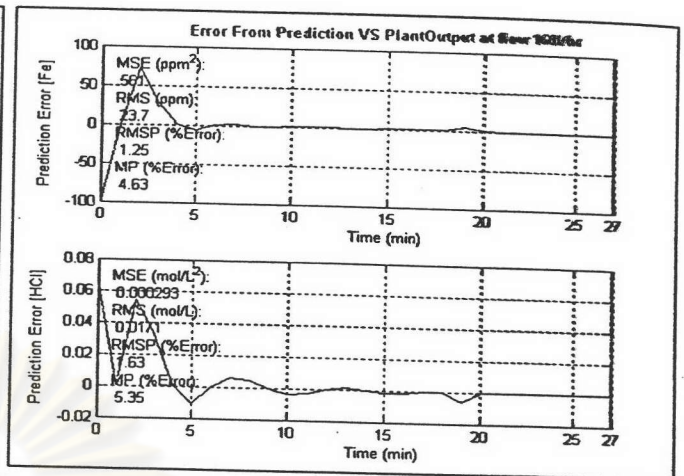
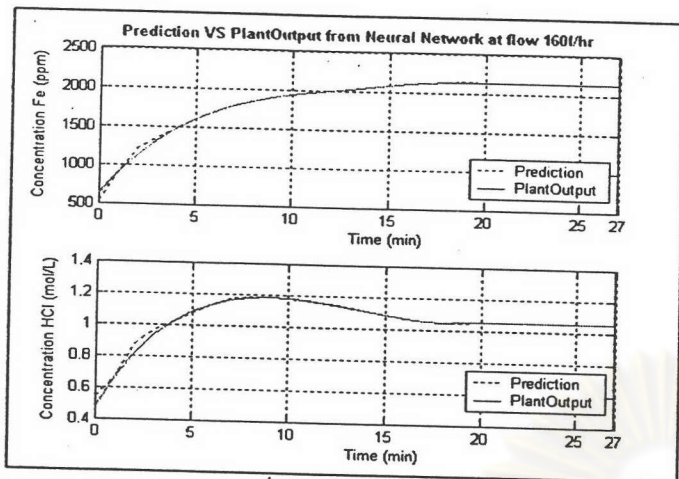


รูปที่ ข.91 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

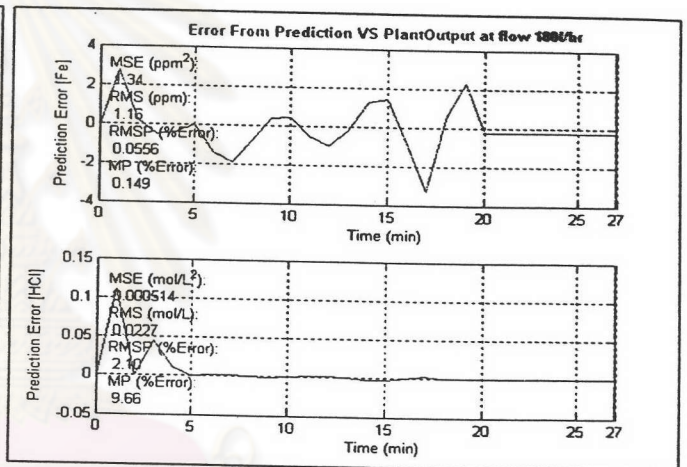
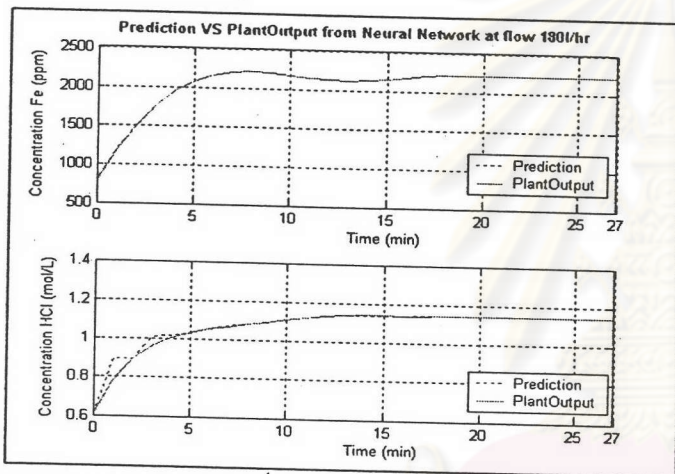


รูปที่ ข.92 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

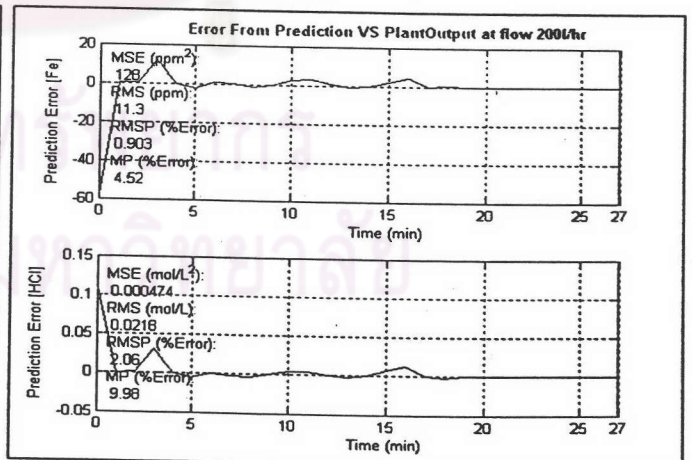
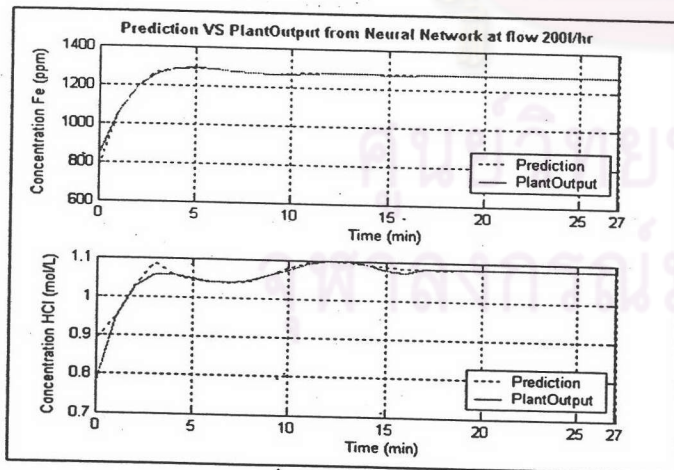




รูปที่ ข.93 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



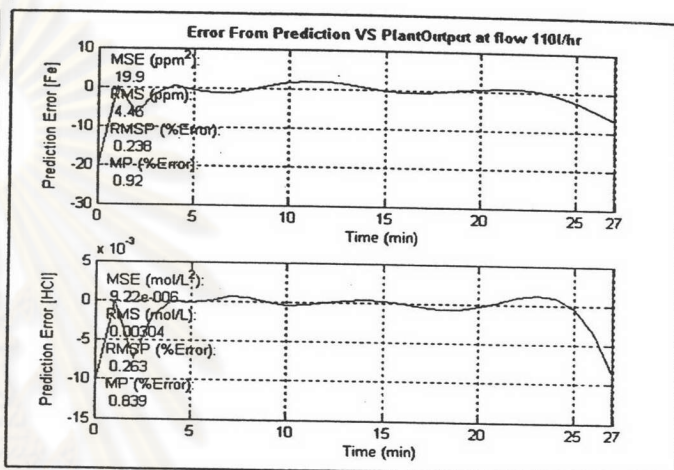
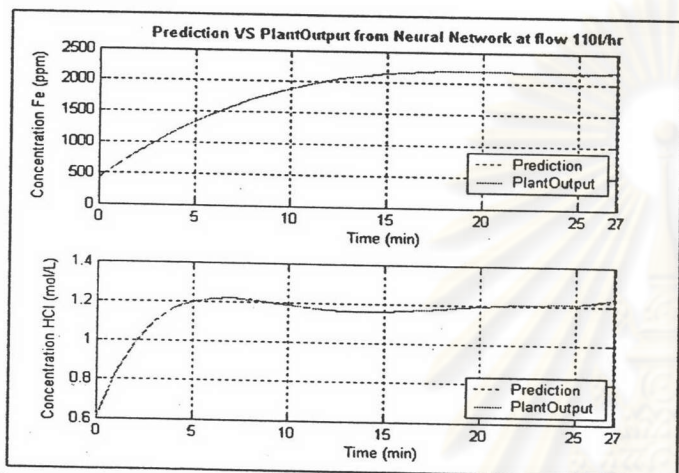
รูปที่ ข.94 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



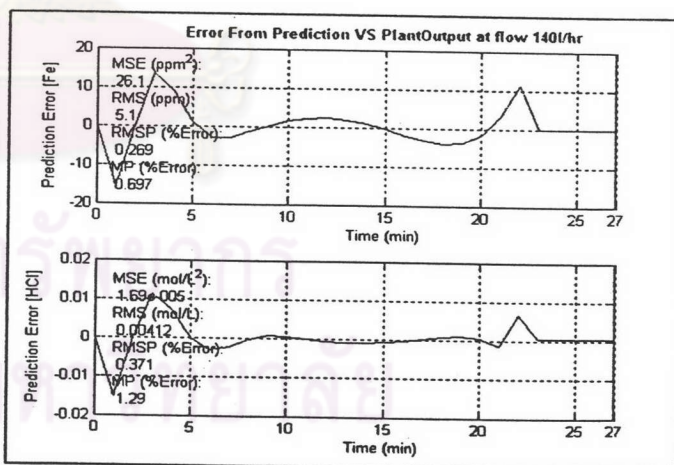
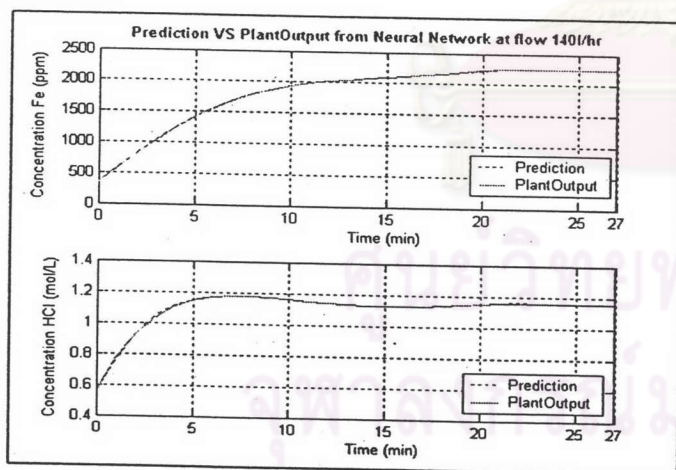
รูปที่ ข.95 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 7-2 [5-8-7-2]

สำหรับพฤติกรรมการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ จะใช้ขำยงาน [5-3-11-2] แสดงถึง ขำยงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 8 โนด ชั้นซ่อนสอง 7 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

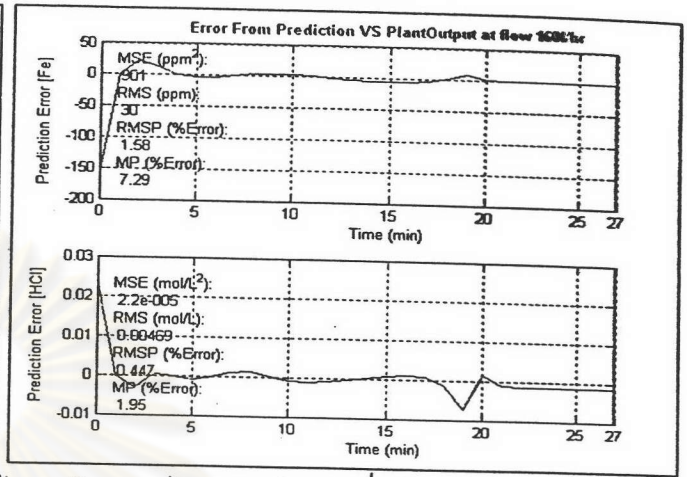
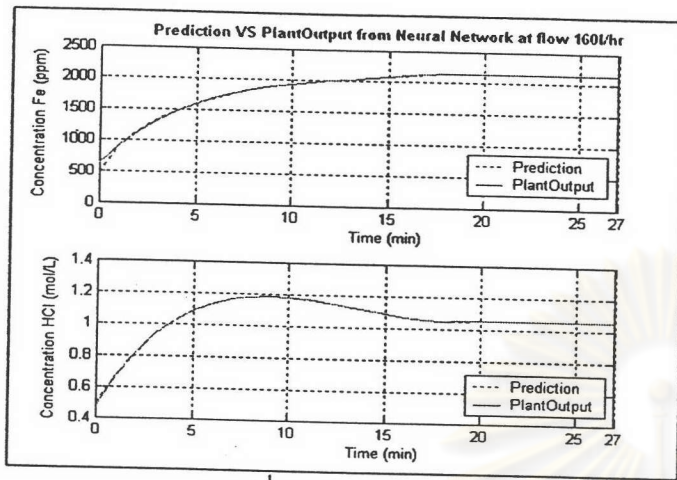


รูปที่ ข.96 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

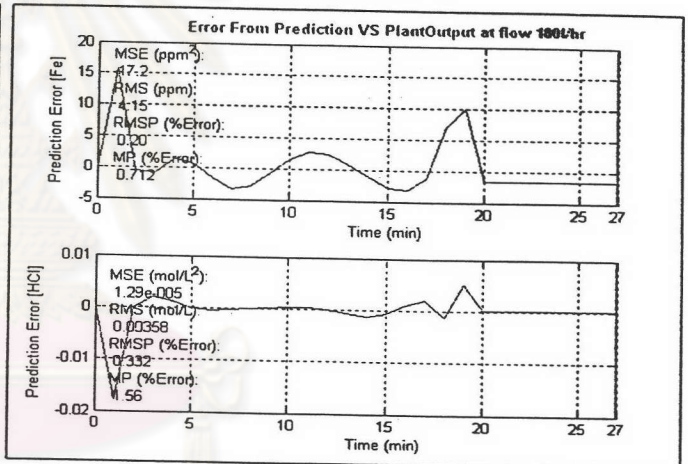
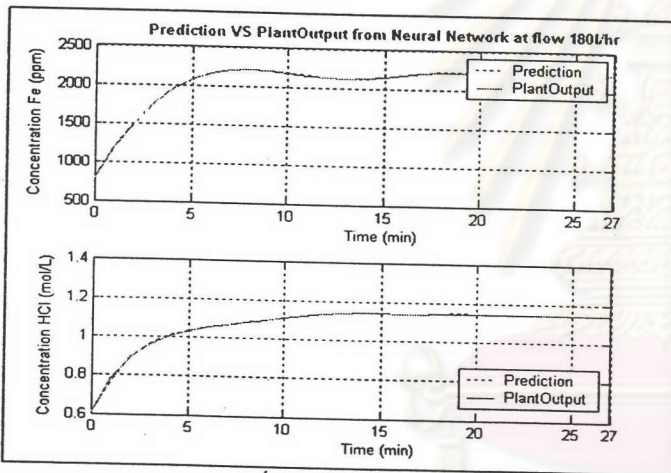


รูปที่ ข.97 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

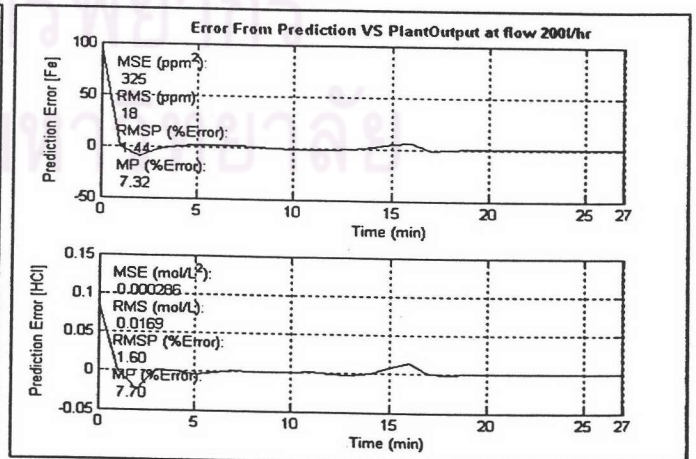
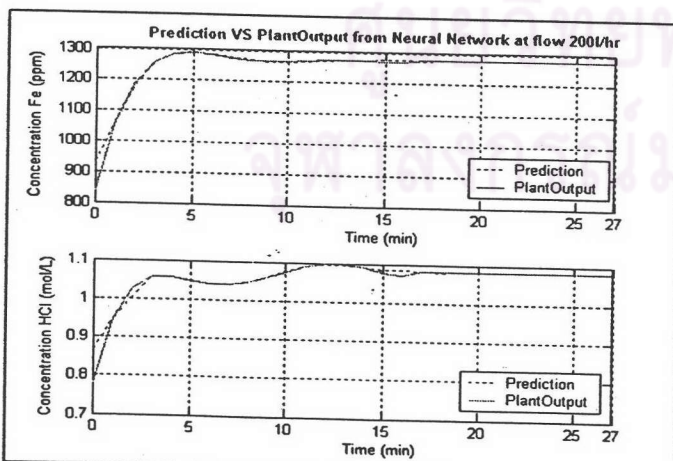




รูปที่ ข.98 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



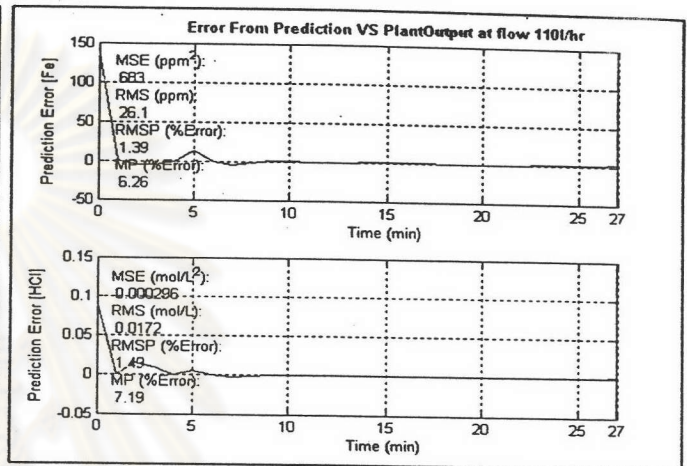
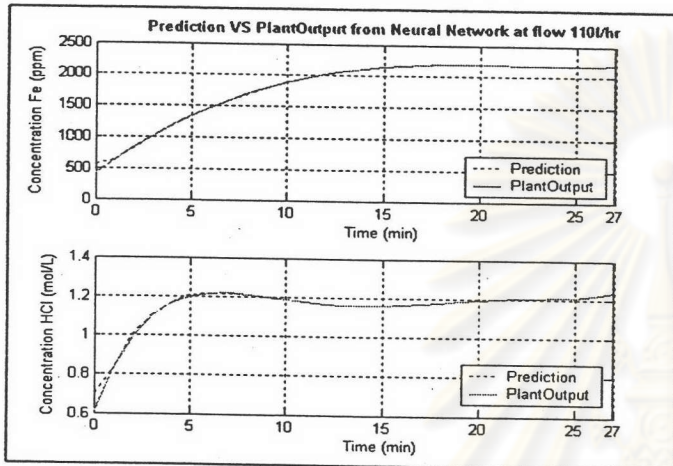
รูปที่ ข.99 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



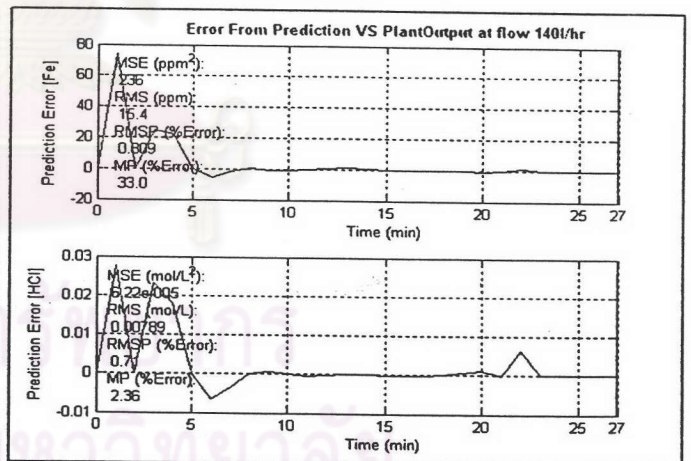
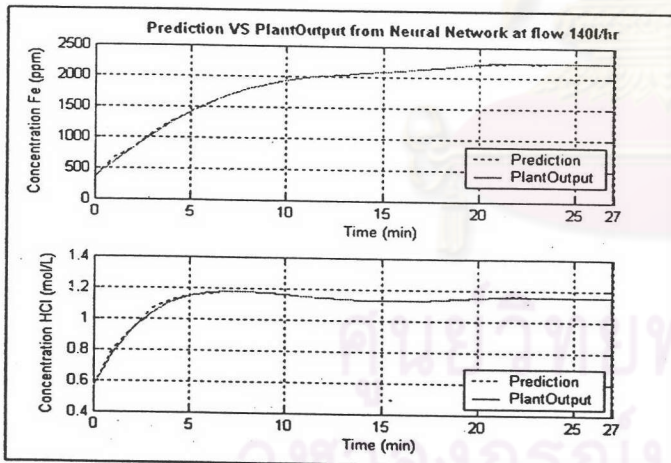
รูปที่ ข.100 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 7-3 [5-11-11-2]

สำหรับพฤติกรรมการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ จะใช้ข่างาน [5-3-11-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 11 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้

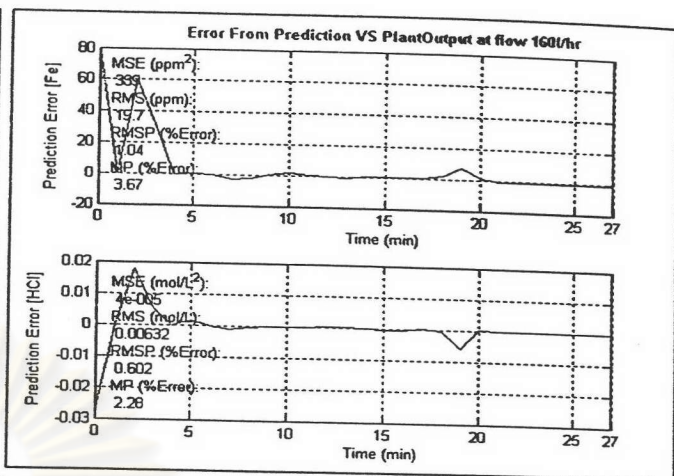
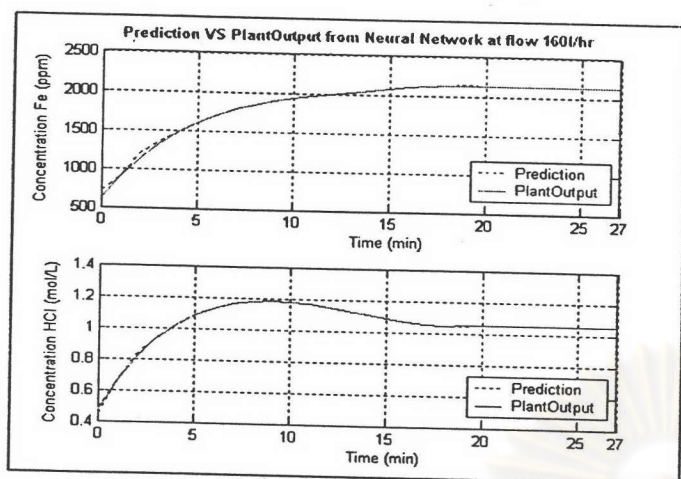


รูปที่ ข.101 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

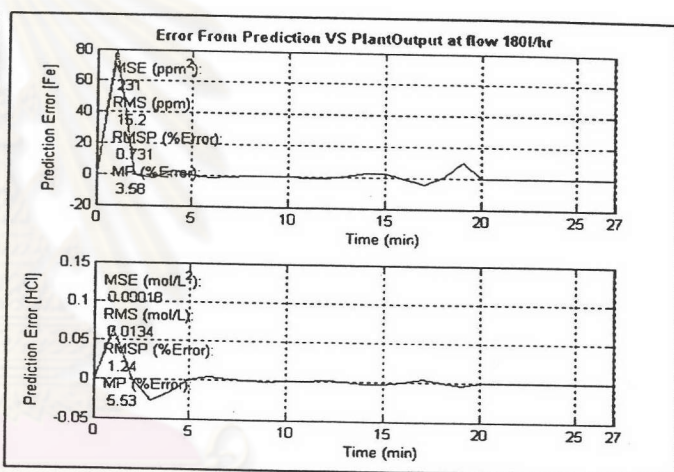
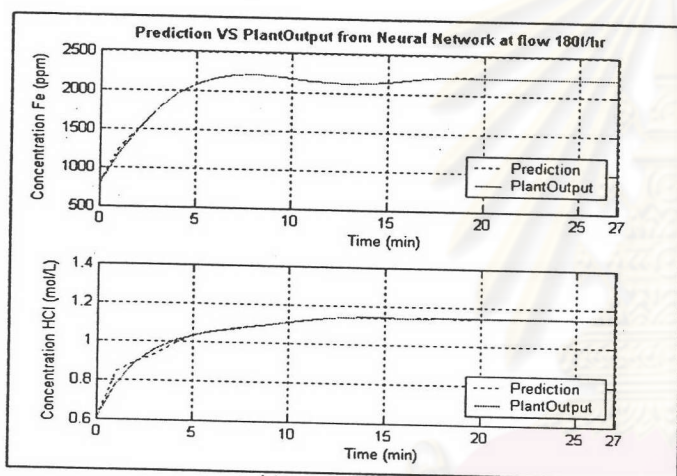


รูปที่ ข.102 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

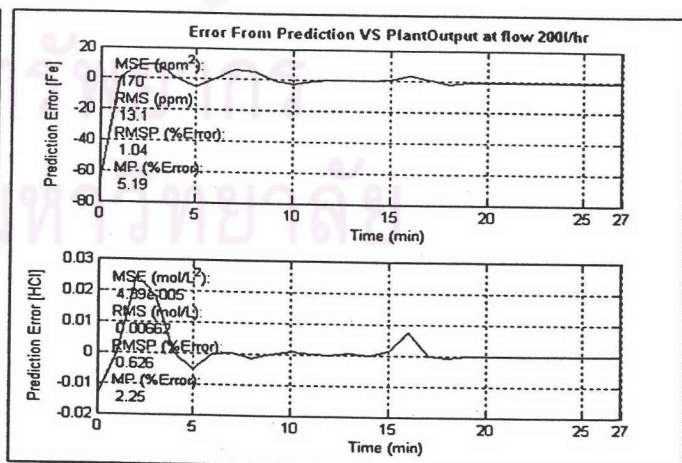
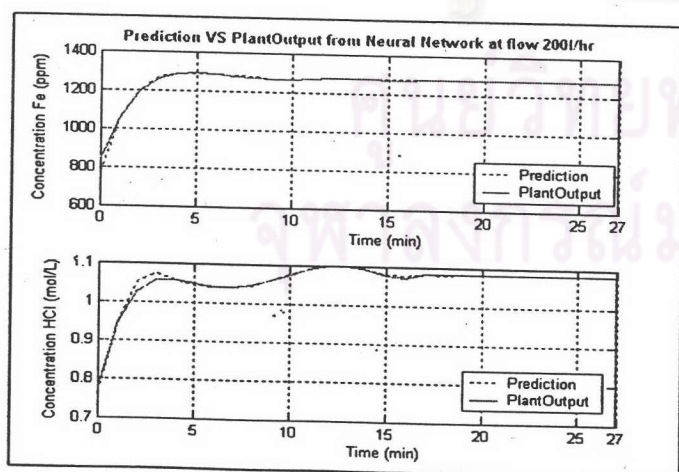




รูปที่ ข.103 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



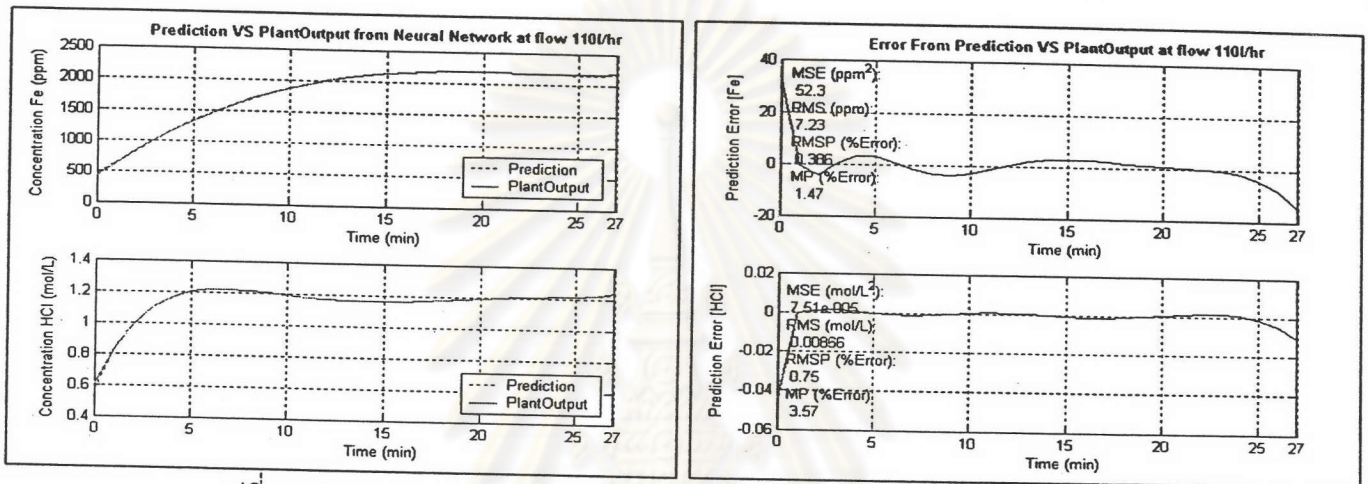
รูปที่ ข.104 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



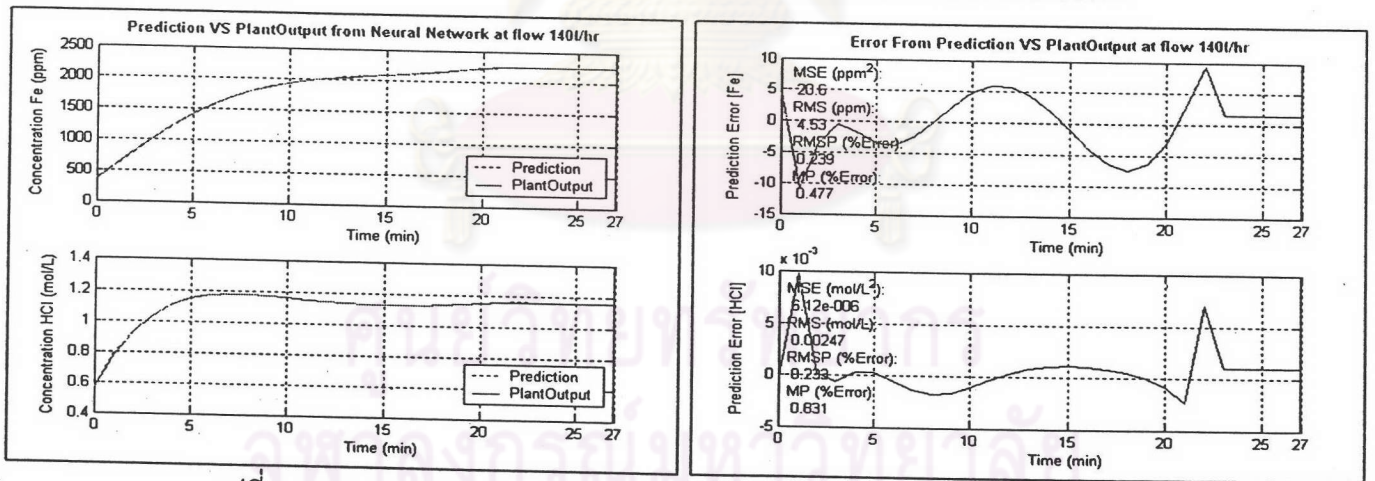
รูปที่ ข.105 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 7-4 [5-13-13-2]

สำหรับพฤติกรรมการณ์การแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ จะใช้ข่างาน [5-13-13-2] แสดงถึง ข่างานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 13 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการ ทำนายได้ดังนี้

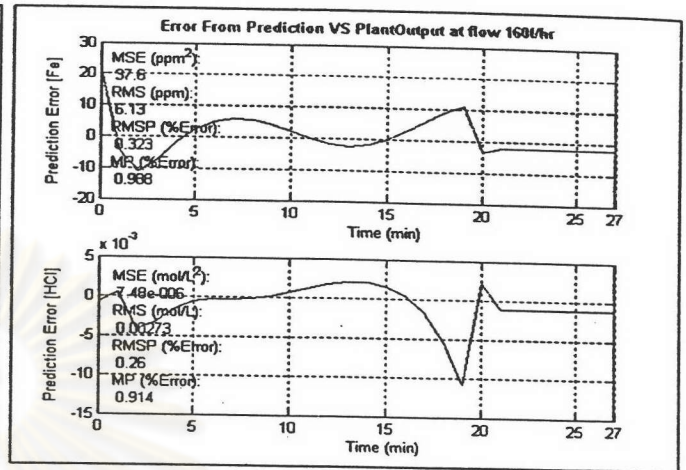
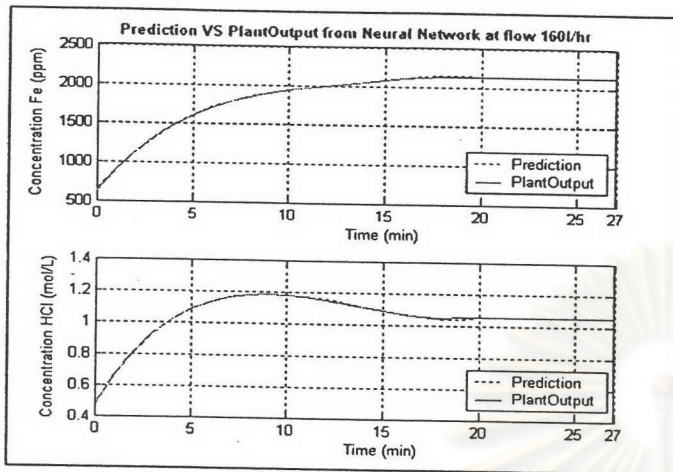


รูปที่ ข.106 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง

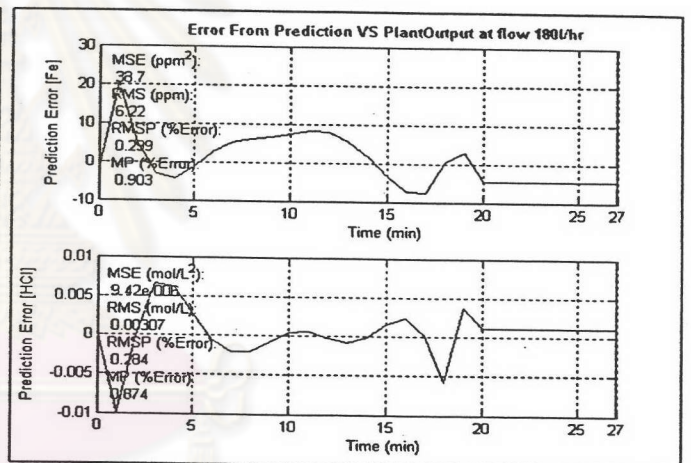
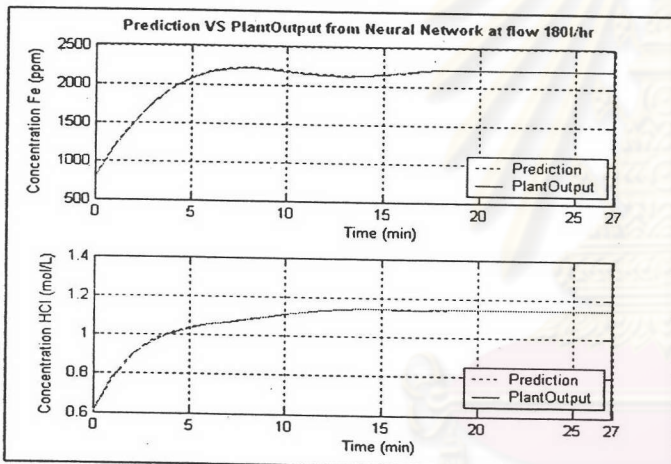


รูปที่ ข.107 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง

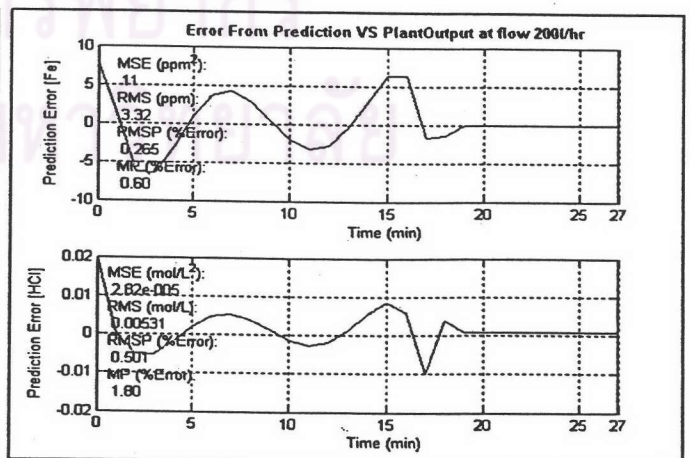
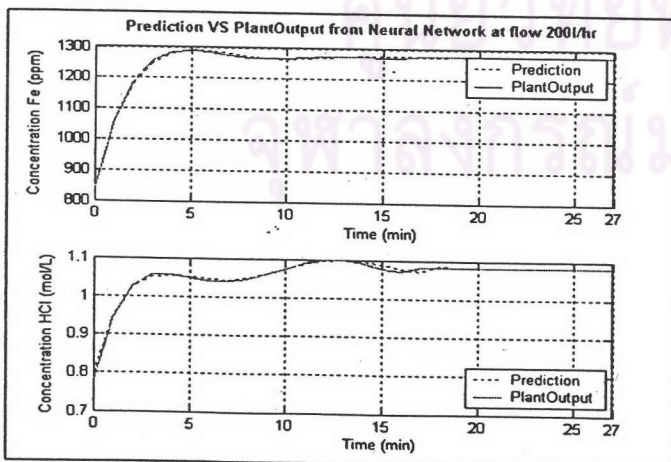




รูปที่ ข.108 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.109 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.110 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพันธพงศ์ ตั้งธีระสุนันท์ เกิดวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2522 ณ จังหวัดภูเก็ต สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปีการศึกษา 2543 และศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย