

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

เครื่องอวัลย์ มงคลพาณิชย์. การนำกรดซัลฟูริกกลับมาใช้จากน้ำทิ้งโดยกระบวนการแลกเปลี่ยน

ไอกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาศึกษาครุภัณฑ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 2543.

จุฑาทิพย์ เพชรเชิดศักดิ์. การใช้ข่ายงานนิวรัลชนิดป้อนไปข้างหน้าแบบหลายชั้น สำหรับกระบวนการ  
ระบบ การประมาณค่าฟังก์ชัน และการควบคุมชั้นสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต  
สาขาวิชาศึกษาครุภัณฑ์ ภาควิชาศึกษาครุภัณฑ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ประไพรัตน์ เอกนันท์. การออกแบบระบบการนำกลับกรดทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมรีด  
เหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาศึกษาครุภัณฑ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

มั่นสิน ตัณฑเวศม์. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2.กรุงเทพฯ:longpimพ. ก. วิวัฒน์: 2526-2527.

อาทรอ ฤทธิ์สัตย์วงศ์กุล. การปรับปรุงกระบวนการนำกลับกรดไฮโดรคลอริกจากกรดเสียที่มีเหล็ก  
ผสมอยู่ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนไออกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิชา  
ศึกษาครุภัณฑ์ ภาควิชาศึกษาครุภัณฑ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 2545.

### ภาษาอังกฤษ

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

Ben F.BrianIII. 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.Gomm., "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 Genesse 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 Iones 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 ChulPark 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) ในกระบวนการการทำงานเคมีสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วนคือ การถ่ายเทโนเมนตัม การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทมวล โดยทั่วไปสมการการถ่ายเทหั้งส่วนมีลักษณะคล้ายกัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Rate of a transfer process} = \text{driving force} / \text{resistance}$$

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

โดยผู้ที่ตั้งกฎเกี่ยวกับอัตราการแพร่ของสาร ว่า อัตราการถ่ายเทมวลต่อพื้นที่ตั้งจากกับการถ่ายเทมวลจะแปรผันโดยตรงกับเกรเดียนท์ของความเข้มข้น (หรือผลต่างความเข้มข้น หารด้วยระยะทางระหว่างความเข้มข้นทั้งสอง) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

$\dot{J}_{AZ}$  คืออัตราการแพร่ของสารถูกดูดซับ A ในสารละลาย Fluid ในทิศทางต่อพื้นที่ตั้งจากกับการแพร่ (molar flux)

$D_{AB}$  คือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารถูกดูดซับ ไปยัง ตัวดูดซับ

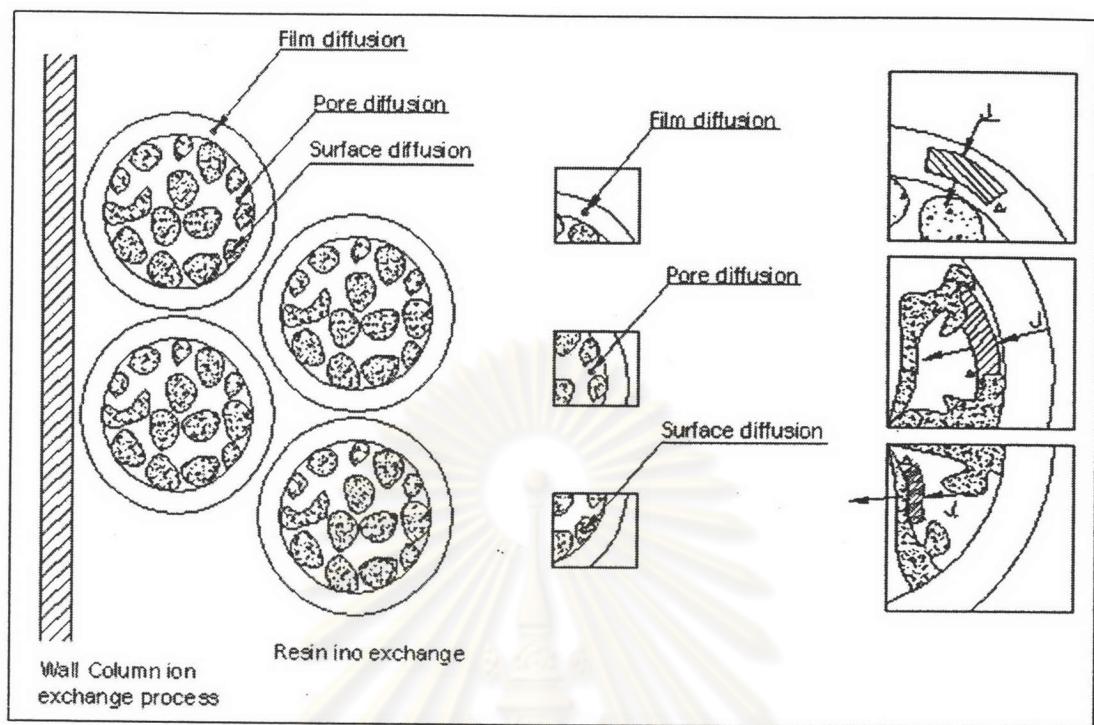
$c_A$  คือความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ A ในชั้นของเหลว

$z$  คือระยะห่างระหว่างความเข้มข้นของสารถูกดูดซับคงที่

ในการทำสมดุลมวลสารของการดูดซับ ซึ่งจะได้สมการทางคณิตศาสตร์ของการดูดซับ ทั้งหมดจะมีลักษณะเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation, PDE) สามารถแบ่งได้ 2 ส่วน ด้วยกันคือ

#### 1. Microscopic Balance Equation

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



รูปที่ ก.1 แสดงกลไกการแพร่ ละการดูดซับภายในเม็ดเรชิน

➤ **Film Diffusion Balance** : เมื่อพิจารณาจากภาพการถ่ายเทนวัลภายในคราฟาร์มารถสร้างสมการอนุรักษ์รอบขั้นฟิล์มและผิวดูดซับ หรือผิวเม็ดเรชิน ดังนี้

$$\begin{aligned}
 & \text{[input]} - \text{[output]} + \text{[Rate of reaction]} = \text{[Rate of accumulate]} \\
 & 4\pi r^2 \Delta r [c|_{r+\Delta r} - c|_r] + \cancel{\text{[Rate of reaction]}}^0 = (4\pi r^2 J_r|_r - 4\pi(r+\Delta r)^2 J_r|_{r+\Delta r}) \Delta t \\
 & \div 4\pi r^2 \Delta r \Delta t \quad \frac{[c|_{r+\Delta r} - c|_r]}{\Delta t} = \frac{r^2 J_r|_r - (r+\Delta r)^2 J_r|_{r+\Delta r}}{r^2 \Delta r} \\
 & \lim_{\Delta r \rightarrow 0} \quad \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{1}{r^2} \frac{\Delta r^2 J_r}{\Delta r} \\
 & \frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{1}{r^2} \frac{\partial r^2 J_r}{\partial r}; J_r = -D \frac{\partial c}{\partial r} \\
 & \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D \frac{\partial c}{\partial r} \right) \quad \text{Film Diffusion} \quad \text{สมการ ก.3}
 \end{aligned}$$

ซึ่งเป็นการแสดงถึงการถ่ายเทนวัลในส่วนของขั้นฟิล์ม เป็นขั้นแรกก่อนการถ่ายเทต่อไปยังโพรงรูพุน และส่งต่อไปยังรูพุน ของตัวดูดซับ โดยความเข้มข้นของสารถูกดูดซับนั้นจะแปรผันตามเวลา และระยะระหว่างตัวดูดซับ และ ขั้นฟิล์ม ดังรูปที่ ก.1

➤ Pore Diffusion Balance เมื่อพิจารณาจากภาพการถ่ายเทมวัลภายในออกเราสามารถสร้างสมการอนุรักษ์รอบบริเวณโพรงรูพนของตัวคุณชับ

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

ซึ่งเป็นการแสดงถึงการถ่ายเทมวัลในส่วนของโพรงรูพน เป็นขั้นสองในขั้นนี้ความเข้มข้นสารถูกคุณชับได้เคลื่อนตัวเข้าไปในโพรงรูพน โดยความเข้มข้นของสารถูกคุณชับนั้นจะแปรผันตามเวลาและระยะระหว่างตัวคุณชับ และ โพรงรูพน และความเข้มข้นที่แพร่เข้ามายังอยู่ในขั้นของเหลว และขั้นตัวคุณชับดังรูปที่ ก.1

➤ Surface Diffusion Balance เมื่อพิจารณาจากภาพการถ่ายเทมวัลภายในออกเราสามารถสร้างสมการอนุรักษ์รอบบริเวณผิวรูพนของตัวคุณชับ

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

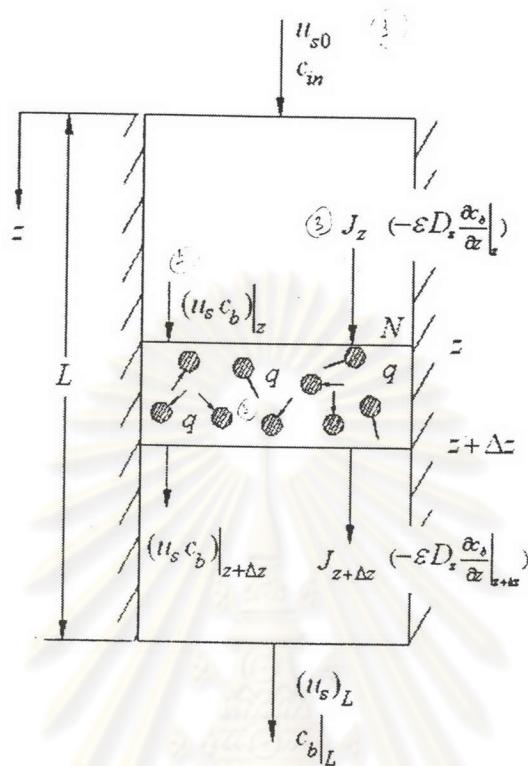
ซึ่งเป็นการแสดงถึงการถ่ายเทมวลในส่วนของผิวพื้นที่ เป็นขั้นสุดท้าย ในขั้นนี้ความเข้มข้นสารถูกดูดซับได้เคลื่อนตัวจากพื้นผิว พร้อมกับสูญเสียความเข้มข้นของสารถูกดูดซับนั้นจะแปรผันตามเวลาและระยะระหว่างผิวพื้นที่ของตัวดูดซับ และลักษณะความเข้มข้นที่เพริ่มขึ้นมาอยู่ในขั้นตัวดูดซับดังรูปที่ ก.1

## 2. Macroscopic Balance Equation

คือการทำสมดุลมวลสารในส่วนมหาภาค ซึ่งในส่วนนี้เราจะพิจารณาเกี่ยวกับพฤติกรรมพลศาสตร์ของการดูดซับ ขั้นการดูดซับ และขั้นการถ่ายเทมวลที่มีความสัมพันธ์สมการอัตรา ที่เหมาะสมกับเงื่อนไขเริ่มต้น และเงื่อนไขขอบของกระบวนการดูดซับ โดยการตั้งสมการอนุรักษ์มวลรอบๆ คลัมน์ จะได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่นำไปใช้ทำนายพฤติกรรมการดูดซับ เช่นการทำนายโพไฟล์ความเข้มข้นโดยใช้วิธีการจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Simulation) ด้วยวิธีการที่ต่างๆ กัน 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 การพิจารณาตั้งสมการอนุรักษ์มวลของพิกเบดแบบคลัมน์ (Fixed – bed Macroscopic Conservation Equation) นี้จะประกอบด้วยการให้ผลของของไหล และตัวดูดซับ (adsorbent pellets) ซึ่งเราจะเริ่มพิจารณาจากสมการการเปลี่ยนแปลงของขั้นตัวดูดซับ (the pellets phase) และขั้นของไหล (fluid phase) สำหรับการดูดซับแบบหนึ่งองค์ประกอบ (single-component adsorption) ภายใต้อุณหภูมิคงที่ (isothermal)

## 2. สมการอนุรักษ์มวลรวม

โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงการดูดซับในระดับจุลภาค (Microscopic) เราจะพิจารณาได้ 2 ส่วนคือ 1. Pore Diffusion 2. Surface Diffusion แต่เมื่อกล่าวถึงการดูดซับในระดับมหาภาค (Macroscopic) เราจะพิจารณาถึง การดำเนินงานในรูปแบบต่างๆ เช่นแบบเบตท์ (Batch) , แบบพิกเบด (Fixed-bed) , แบบฟูอิดไดเบด (Fluidized-bed) เป็นต้น และการตั้งสมการอนุรักษ์มวลรวมของกระบวนการเริ่มต้นด้วยการกำหนดขอบเขต หรือที่เรียกว่า Control Volume เพื่อเป็นการกำหนดขอบเขตมวลสารที่ไหลเข้า-ออก โดยขอบเขตนี้กำหนดด้วยขอบของอุปกรณ์ในการดูดซับ และการตั้งสมการอนุรักษ์มวลรวมอย่างง่ายเป็นดังนี้



รูปที่ ก.2 แสดงการกำหนดขอบเขตมวลสารเข้า-ออกแบบพิกเบด

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

ในที่นี้  $\varepsilon$  คืออัตราส่วนของการอนุรักษณ์มวลรวมของการดูดซับแบบพิกเบด (Fixed-bed adsorption) ดังนี้

- อัตราการสะสมของสารถูกดูดซับในชั้นของไหลด Rate of accumulation of adsorbate mass:

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

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

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

3. อัตราการเข้าออกของสารถูกดูดซับในตัวดูดซับ Rate of adsorbate efflux:

- อัตราการแพร่เข้าสู่ตัวดูดซับ

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

- อัตราการแพร่เข้าสู่ตัวดูดซับ

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

พิจารณารวมทั้ง 3 ส่วนดังนี้

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

นำ Fick's Law มาประยุกต์ใช้ในสมการจะได้

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

ส่วนสมการการเปลี่ยนแปลงของสารถูกดูดซับที่ที่เข้าสู่สมดุลระหว่างในชั้นของไนล และตัวดูดซับ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

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

โดยที่  $k_f$  คือสัมประสิทธิ์อัตราการถ่ายเทmv;  $c_p$  คือความเข้มข้นของสารถูกดูดซับในผิวเรซิโน;  $R_p$  คือรัศมีของเม็ดเรซิโน. และแทนค่ากลับเข้าสู่สมการ ก.10 จะได้สมการตามบทที่ 4 ดังนี้

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

และเพื่อให้ความเข้มข้นสามารถนำสมการนี้มาพิจารณา เพื่อให้สามารถทราบถึงพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของการดูดซับของกระบวนการแลกเปลี่ยนไอกอนได้

## ภาคผนวก ๙

### ๑. ทดสอบการใช้ประวัติความซึ่งมีผลตับและการรักษาโรคทางหัวใจและหลอดเลือดที่ความเข้มข้นในออกอนเนล็อก และครามาเร็กซ์ทั่วไป

ตารางที่ ๗. ๑ ทดสอบรักษาด้วยยาปฏิชีวนิกและยาปฏิชีวนิกที่ไม่ใช้ยาปฏิชีวนิก

Cation 110 l.hr										Cation 140 l.hr										Cation 160 l.hr																	
ความต้องการเบื้องต้น																																					
[Fe] mol/L	6,360.00	ppm	[Fe] mol/L	6,280.00	ppm	[Fe] mol/L	6,340.00	ppm	[Fe] mol/L	6,3880	ppm	[Fe] mol/L	1 BV 13L	1 BV 13L	[Fe] mol/L	1 BV 13L	[Fe] mol/L	1 BV 13L	[Fe] mol/L	1 BV 13L	[Fe] mol/L	1 BV 13L	[Fe] mol/L	1 BV 13L	[Fe] mol/L	1 BV 13L	[Fe] mol/L	1 BV 13L	[Fe] mol/L	1 BV 13L							
Cation HCl 110 l.hr	Conc HCl 140 l.hr	Conc HCl 160 l.hr	Conc HCl 180 l.hr	Conc HCl 200 l.hr	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	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	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	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	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								
line	By	[Fe] ppm	[HCl] unit	[HCl] unit	By	[Fe] ppm	[HCl] unit	[HCl] unit	By	By	[Fe] ppm	[HCl] unit	[HCl] unit	By	By	[Fe] ppm	[HCl] unit	[HCl] unit	By	By	[Fe] ppm	[HCl] unit	[HCl] unit	By	By	[Fe] ppm	[HCl] unit	[HCl] unit	By	By	[Fe] ppm	[HCl] unit	[HCl] unit				
0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	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				
3	0.4	3.01	ppm	0.11	ppm	0.0005	0.5	13.30	ppm	0.14	ppm	0.021	0.6	8.00	ppm	0.23	ppm	0.0013	0.7	13.33	ppm	0.29	ppm	0.0021	0.8	45.86	ppm	0.32	ppm	0.0070	0.9	54.88	ppm	0.41	ppm	0.0145	
6	0.6	5.53	ppm	0.31	ppm	0.0009	1.1	18.56	ppm	0.42	ppm	0.021	1.2	22.31	ppm	0.59	ppm	0.0035	1.4	6.25	ppm	0.63	ppm	0.0010	1.5	117.90	ppm	0.32	ppm	0.0180	1.6	195.00	ppm	0.56	ppm	0.0298	
9	1.3	11.24	ppm	0.36	ppm	0.0114	1.6	26.12	ppm	0.56	ppm	0.040	1.8	70.21	ppm	0.62	ppm	0.0111	2.1	6.20	ppm	0.81	ppm	0.0100	2.3	117.90	ppm	0.32	ppm	0.0180	2.4	195.00	ppm	0.56	ppm	0.0298	
12	1.7	8.01	ppm	0.59	ppm	0.0113	2.2	10.08	ppm	0.69	ppm	0.016	2.5	12.70	ppm	0.83	ppm	0.0080	2.8	9.97	ppm	0.92	ppm	0.0150	3.1	41.65	ppm	1.04	ppm	0.0350	3.2	195.00	ppm	0.56	ppm	0.0298	
15	2.1	9.70	ppm	1.25	ppm	0.0115	2.7	41.35	ppm	0.84	ppm	0.0166	3.1	102.31	ppm	1.11	ppm	0.0161	3.5	75.00	ppm	1.04	ppm	0.0150	3.8	622.25	ppm	1.04	ppm	0.0950	3.9	700.00	ppm	1.10	ppm	0.1059	
18	2.5	11.24	ppm	1.32	ppm	0.0018	3.2	50.66	ppm	0.88	ppm	0.0081	3.7	126.80	ppm	1.17	ppm	0.0200	4.2	82.12	ppm	1.21	ppm	0.0150	4.6	463.40	ppm	1.21	ppm	0.0248	4.7	917.00	ppm	1.09	ppm	0.1400	
21	3.0	13.63	ppm	1.30	ppm	0.0121	3.8	66.63	ppm	0.95	ppm	0.0106	4.3	120.46	ppm	1.24	ppm	0.0130	5.5	375.00	ppm	1.27	ppm	0.0200	6.2	565.20	ppm	1.25	ppm	0.1400	6.3	1,362.40	ppm	1.16	ppm	0.2090	
24	3.4	14.88	ppm	1.37	ppm	0.0023	4.3	73.55	ppm	1.05	ppm	0.0117	4.9	145.82	ppm	1.29	ppm	0.0230	6.2	126.80	ppm	1.32	ppm	0.0150	6.9	1,875.00	ppm	1.26	ppm	0.2853	7.0	2,901.65	ppm	1.26	ppm	0.4330	
27	3.8	12.00	ppm	1.36	ppm	0.0119	4.8	69.74	ppm	1.13	ppm	0.0111	5.5	146.82	ppm	1.32	ppm	0.0230	6.2	75.00	ppm	1.30	ppm	0.0150	6.9	1,362.40	ppm	1.16	ppm	0.2090	7.1	1,362.40	ppm	1.16	ppm	0.2090	
30	4.2	18.24	ppm	1.34	ppm	0.0029	5.4	126.80	ppm	1.12	ppm	0.0152	6.2	196.34	ppm	1.32	ppm	0.0310	6.9	968.75	ppm	1.30	ppm	0.1550	7.7	1,875.00	ppm	1.26	ppm	0.2853	7.8	2,901.65	ppm	1.26	ppm	0.4330	
33	4.7	21.38	ppm	1.34	ppm	0.0034	5.9	145.82	ppm	1.20	ppm	0.0232	6.8	424.78	ppm	1.34	ppm	0.0670	7.6	1,425.00	ppm	1.32	ppm	0.2280	8.5	484.60	ppm	1.28	ppm	0.5320	8.6	5,320.00	ppm	1.28	ppm	0.7080	
36	5.1	53.64	ppm	1.36	ppm	0.0084	6.5	202.88	ppm	1.29	ppm	0.0323	7.4	659.36	ppm	1.31	ppm	0.1040	8.3	1,687.50	ppm	1.29	ppm	0.2700	9.2	3,484.60	ppm	1.28	ppm	0.9330	9.3	6,452.10	ppm	1.28	ppm	0.9330	
39	5.5	62.30	ppm	1.26	ppm	0.0129	7.0	317.00	ppm	1.24	ppm	0.0246	8.0	662.24	ppm	1.32	ppm	0.1350	9.0	2,587.50	ppm	1.27	ppm	0.4140	9.8	4,637.40	ppm	1.21	ppm	0.9330	9.9	10.8	5659.20	ppm	1.25	ppm	0.9330
42	6.9	120.84	ppm	1.27	ppm	0.0190	7.5	570.60	ppm	1.29	ppm	0.0609	8.6	1,090.46	ppm	1.30	ppm	0.1720	9.7	3,518.75	ppm	1.25	ppm	0.5650	10.6	6,569.20	ppm	1.25	ppm	0.9330	10.7	11.5	6,569.20	ppm	1.24	ppm	0.9330
45	6.3	443.25	ppm	1.24	ppm	0.0697	8.1	887.60	ppm	1.27	ppm	0.1413	9.2	1,616.70	ppm	1.29	ppm	0.2550	10.4	4,000.00	ppm	1.28	ppm	0.6400	11.3	1,362.40	ppm	1.24	ppm	0.9330	11.4	5,320.00	ppm	1.25	ppm	0.9330	
48	6.8	604.20	ppm	1.29	ppm	0.0950	8.6	1,046.10	ppm	1.33	ppm	0.1686	9.8	1,882.96	ppm	1.27	ppm	0.2970	11.1	4,300.00	ppm	1.22	ppm	0.6880	12.3	6,340.40	ppm	1.25	ppm	0.9330	12.4	10.8	4,300.00	ppm	1.25	ppm	0.9330
51	7.2	1,181.25	ppm	1.26	ppm	0.1957	9.2	1,350.42	ppm	1.30	ppm	0.2150	10.5	2,136.98	ppm	1.29	ppm	0.3370	11.8	4,837.50	ppm	1.23	ppm	0.7740	13.1	6,452.10	ppm	1.23	ppm	0.9330	13.2	10.8	5659.20	ppm	1.25	ppm	0.9330
54	7.6	1,538.12	ppm	1.23	ppm	0.2420	9.7	1,578.66	ppm	1.27	ppm	0.2614	11.1	3,049.54	ppm	1.25	ppm	0.4910	12.5	5,375.00	ppm	1.22	ppm	0.8600	13.8	6,504.15	ppm	1.21	ppm	0.9330	13.9	10.8	5659.20	ppm	1.25	ppm	0.9330
57	8.0	1,889.00	ppm	1.20	ppm	0.2658	10.2	1,838.60	ppm	1.27	ppm	0.2928	11.7	3,461.84	ppm	1.24	ppm	0.5460	13.2	5,375.00	ppm	1.22	ppm	0.8500	14.6	6,438.65	ppm	1.22	ppm	0.9330	14.7	10.8	5659.20	ppm	1.25	ppm	0.9330
60	8.5	1,780.80	ppm	1.22	ppm	0.2800	10.6	2,206.32	ppm	1.24	ppm	0.3513	12.3	3,848.36	ppm	1.24	ppm	0.6070	13.8	5,637.50	ppm	1.19	ppm	0.9200	14.5	6,569.20	ppm	1.21	ppm	0.9330	14.6	10.8	5659.20	ppm	1.25	ppm	0.9330
63	9.3	2,276.88	ppm	1.19	ppm	0.3580	11.8	2,826.00	ppm	1.16	ppm	0.4500	13.5	4,994.36	ppm	1.20	ppm	0.7570	14.2	6,056.25	ppm	1.19	ppm	0.9200	15.1	6,569.20	ppm	1.25	ppm	0.9330	15.2	10.8	5659.20	ppm	1.25	ppm	0.9330
66	9.9	2,371.50	ppm	1.15	ppm	0.4273	12.4	3,516.80	ppm	1.18	ppm	0.5600	14.8	6,143.75	ppm	1.17	ppm	0.8050	16.6	6,143.75	ppm	1.18	ppm	0.9200	17.5	6,212.50	ppm	1.16	ppm	0.9330	17.6	6,212.50	ppm	1.18	ppm	0.9330	
72	10.2	3,001.92	ppm	1.18	ppm	0.4720	12.9	4,171.72	ppm	1.20	ppm	0.6643	14.8	5,014.34	ppm	1.17	ppm	0.9050	16.6	6,212.50	ppm	1.18	ppm	0.9200	17.7	6,212.50	ppm	1.16	ppm	0.9330	17.8	6,212.50	ppm	1.18	ppm	0.9330	
75	10.6	3,106.00	ppm	1.19	ppm	0.5008	13.5	4,647.22	ppm	1.18	ppm	0.7403	16.4	5,344.62	ppm	1.18	ppm	0.8430	17.3	6,212.50	ppm	1.18	ppm	0.9200	17.4	6,212.50	ppm	1.18	ppm	0.9330	17.5	6,212.50	ppm	1.18	ppm	0.9330	
78	11.0	3,201.88	ppm	1.17	ppm	0.5080	14.0	4,793.04	ppm	1.13	ppm	0.7632	16.0	6,156.14	ppm	1.18	ppm	0.9710	18.0	6,200.00	ppm	1.17	ppm	0.9200	18.7	6,166.25	ppm	1.16	ppm	0.9330							

ตารางที่ 7.2 แสดงข้อมูลค่าจากการรับดูกรดเสียผ่านห้องปฏิบัติการและถ่ายทอดในรูปแบบ

time	Anion 110 นาที						Anion 140 นาที						Anion 160 นาที						Anion 180 นาที						Anion 200 นาที					
	ค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด						ค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด						ค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด						ค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด						ค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด					
	[Fe] mol/L	[HCl] mol/L	Ca ppm	[HCl]0 mol/L	Ca ppm	[HCl]0 mol/L	Cu ppm	[HCl]0 mol/L	Cu ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	[HCl]0 mol/L	Co ppm	
<b>Conc HCl 110 นาที</b>																														
0	0.00	0.00	ppm	0.00	mol/L	0.0000	0.0	ppm	0.00	mol/L	0.0000	ppm	0.00	mol/L	0.0000	ppm	0.00	mol/L	0.0000	ppm	0.00	mol/L	0.0000	ppm	0.00	mol/L	0.0000	ppm	0.00	mol/L
3	0.4	0.17	ppm	0.17	mol/L	0.0650	0.5	ppm	0.23	mol/L	0.0650	ppm	0.22	mol/L	0.0768	ppm	0.27	mol/L	0.1030	ppm	0.39	mol/L	0.45	ppm	0.45	mol/L	0.45	ppm	0.45	mol/L
6	0.8	0.31	ppm	0.51	mol/L	0.1200	1.1	ppm	0.48	mol/L	0.1200	ppm	0.40	mol/L	0.2880	ppm	0.14	mol/L	0.3300	ppm	0.64	mol/L	0.6200	ppm	0.90	mol/L	0.6200	ppm	0.90	mol/L
9	1.3	0.46	ppm	0.69	mol/L	0.3000	1.6	ppm	0.74	mol/L	0.3000	ppm	0.62	mol/L	0.2420	ppm	0.21	mol/L	0.5930	ppm	0.79	mol/L	0.5930	ppm	0.94	mol/L	0.5930	ppm	0.94	mol/L
12	1.7	0.61	ppm	1.01	mol/L	0.3000	2.2	ppm	0.83	mol/L	0.3000	ppm	0.25	mol/L	0.3270	ppm	0.84	mol/L	0.5460	ppm	0.28	mol/L	0.6620	ppm	0.98	mol/L	0.6620	ppm	0.98	mol/L
15	2.1	0.76	ppm	1.14	mol/L	0.5000	2.7	ppm	1.09	mol/L	0.5000	ppm	0.99	mol/L	0.6340	ppm	0.35	mol/L	0.7740	ppm	0.38	mol/L	0.9400	ppm	1.01	mol/L	0.9400	ppm	1.01	mol/L
18	2.5	0.91	ppm	1.17	mol/L	0.5689	3.2	ppm	1.11	mol/L	0.6240	ppm	1.07	mol/L	0.7360	ppm	0.46	mol/L	0.9000	ppm	0.46	mol/L	0.9740	ppm	1.03	mol/L	0.9740	ppm	1.03	mol/L
21	3.0	1.06	ppm	1.16	mol/L	0.6011	3.8	ppm	1.14	mol/L	0.6700	ppm	1.11	mol/L	0.7880	ppm	0.48	mol/L	0.9980	ppm	0.54	mol/L	1.0000	ppm	1.05	mol/L	1.0000	ppm	1.05	mol/L
24	3.4	1.21	ppm	1.19	mol/L	0.6650	4.3	ppm	1.16	mol/L	0.6960	ppm	1.16	mol/L	0.7710	ppm	0.55	mol/L	1.0950	ppm	0.62	mol/L	0.9347	ppm	1.12	mol/L	0.9347	ppm	1.12	mol/L
27	3.6	1.26	ppm	1.18	mol/L	0.7480	4.8	ppm	1.03	mol/L	0.7480	ppm	1.16	mol/L	0.7840	ppm	0.62	mol/L	1.0920	ppm	0.62	mol/L	0.9883	ppm	1.18	mol/L	0.9883	ppm	1.18	mol/L
30	4.2	1.62	ppm	1.19	mol/L	0.7310	5.4	ppm	1.09	mol/L	0.8300	ppm	1.19	mol/L	0.8300	ppm	0.62	mol/L	1.1925	ppm	0.69	mol/L	1.0000	ppm	1.08	mol/L	1.0000	ppm	1.08	mol/L
33	4.7	1.60	ppm	1.19	mol/L	0.7220	5.9	ppm	1.02	mol/L	0.8720	ppm	1.14	mol/L	0.8460	ppm	0.68	mol/L	1.2030	ppm	0.76	mol/L	0.9886	ppm	1.06	mol/L	0.9886	ppm	1.06	mol/L
36	5.1	1.84	ppm	1.21	mol/L	0.6650	6.5	ppm	1.05	mol/L	0.8430	ppm	1.16	mol/L	0.9180	ppm	0.74	mol/L	1.2560	ppm	0.83	mol/L	0.9770	ppm	1.04	mol/L	0.9770	ppm	1.04	mol/L
39	5.5	1.97	ppm	1.21	mol/L	0.8890	7.0	ppm	1.04	mol/L	0.8890	ppm	1.14	mol/L	0.8660	ppm	0.80	mol/L	1.2096	ppm	0.92	mol/L	0.9957	ppm	1.08	mol/L	0.9957	ppm	1.08	mol/L
42	5.9	2.05	ppm	1.18	mol/L	0.9493	7.5	ppm	1.04	mol/L	0.8900	ppm	1.16	mol/L	0.8900	ppm	0.86	mol/L	1.2174	ppm	0.97	mol/L	0.9750	ppm	1.08	mol/L	0.9750	ppm	1.08	mol/L
45	6.3	2.08	ppm	1.19	mol/L	0.9310	8.1	ppm	1.06	mol/L	0.9510	ppm	1.12	mol/L	0.9020	ppm	0.92	mol/L	1.2459	ppm	1.10	mol/L	0.9840	ppm	1.08	mol/L	0.9840	ppm	1.08	mol/L
48	6.8	2.17	ppm	1.19	mol/L	0.9820	8.6	ppm	1.06	mol/L	0.9820	ppm	1.12	mol/L	0.9350	ppm	0.98	mol/L	1.2464	ppm	1.14	mol/L	0.9840	ppm	1.08	mol/L	0.9840	ppm	1.08	mol/L
51	7.2	2.19	ppm	1.19	mol/L	0.9740	9.2	ppm	1.05	mol/L	0.9740	ppm	1.11	mol/L	0.9740	ppm	1.05	mol/L	1.2077	ppm	1.11	mol/L	0.9740	ppm	1.08	mol/L	0.9740	ppm	1.08	mol/L
54	7.6	2.15	ppm	1.18	mol/L	0.9538	9.7	ppm	1.03	mol/L	0.9538	ppm	1.14	mol/L	1.0000	ppm	1.11	mol/L	1.2126	ppm	1.05	mol/L	0.9930	ppm	1.12	mol/L	0.9930	ppm	1.12	mol/L
57	8.0	2.16	ppm	1.16	mol/L	0.9770	10.2	ppm	1.04	mol/L	0.9870	ppm	1.16	mol/L	0.9870	ppm	1.17	mol/L	1.2164	ppm	1.12	mol/L	0.9840	ppm	1.18	mol/L	0.9840	ppm	1.18	mol/L
60	8.5	2.20	ppm	1.15	mol/L	0.9895	10.8	ppm	1.04	mol/L	0.9895	ppm	1.16	mol/L	1.0030	ppm	1.23	mol/L	1.2163	ppm	1.11	mol/L	0.9870	ppm	1.19	mol/L	0.9870	ppm	1.19	mol/L
63	8.9	2.15	ppm	1.17	mol/L	0.9710	11.3	ppm	1.04	mol/L	0.9710	ppm	1.16	mol/L	1.0030	ppm	12.9	mol/L	1.2163	ppm	1.13	mol/L	0.9870	ppm	1.20	mol/L	0.9870	ppm	1.20	mol/L
66	9.3	2.19	ppm	1.16	mol/L	0.9899	11.8	ppm	1.05	mol/L	0.9899	ppm	1.13	mol/L	0.9740	ppm	13.5	mol/L	1.2140	ppm	1.16	mol/L	0.9630	ppm	1.22	mol/L	0.9630	ppm	1.22	mol/L
70	10.2	2.20	ppm	1.20	mol/L	0.9770	12.4	ppm	1.00	mol/L	0.9770	ppm	1.14	mol/L	1.0000	ppm	14.2	mol/L	1.2162	ppm	1.04	mol/L	0.9870	ppm	1.23	mol/L	0.9870	ppm	1.23	mol/L
75	10.6	2.19	ppm	1.22	mol/L	0.9890	13.5	ppm	1.04	mol/L	0.9890	ppm	1.16	mol/L	0.9710	ppm	14.8	mol/L	1.2088	ppm	1.24	mol/L	0.9410	ppm	1.24	mol/L	0.9410	ppm	1.24	mol/L
78	11.0	2.16	ppm	1.21	mol/L	0.9890	14.0	ppm	1.00	mol/L	0.9890	ppm	1.24	mol/L	0.9770	ppm	14.0	mol/L	1.2000	ppm	1.24	mol/L	0.9411	ppm	1.24	mol/L	0.9411	ppm	1.24	mol/L
81	11.4	2.17	ppm	1.21	mol/L	0.9890	14.5	ppm	1.04	mol/L	0.9890	ppm	1.24	mol/L	1.0000	ppm	14.5	mol/L	1.2130	ppm	1.24	mol/L	0.9411	ppm	1.24	mol/L	0.9411	ppm	1.24	mol/L
84	11.8	2.16	ppm	1.19	mol/L	0.9890	15.0	ppm	1.05	mol/L	0.9890	ppm	1.26	mol/L	0.9955	ppm	15.0	mol/L	1.2125	ppm	1.26	mol/L	0.9411	ppm	1.26	mol/L	0.9411	ppm	1.26	mol/L
87	12.3	2.20	ppm	1.22	mol/L	0.9890	15.5	ppm	1.04	mol/L	0.9890	ppm	1.26	mol/L	0.9955	ppm	15.5	mol/L	1.2130	ppm	1.26	mol/L	0.9411	ppm	1.26	mol/L	0.9411	ppm	1.26	mol/L
90	12.7	2.19	ppm	1.22	mol/L	0.9890	16.0	ppm	1.04	mol/L	0.9890	ppm	1.26	mol/L	0.9955	ppm	16.0	mol/L	1.2125	ppm	1.26	mol/L	0.9411	ppm	1.26	mol/L	0.9411	ppm	1.26	mol/L

ตารางที่ 7.2 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.3 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.4 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.5 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.6 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.7 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.8 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.9 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.10 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.11 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.12 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.13 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.14 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.15 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.16 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

ตารางที่ 7.17 แสดงข้อมูลค่าคงตัวของสารตัวชี้วัด

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 0.000866	0.000915	0.000207	0.000124	
[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

\*\*\* แสดงแบบจำลองที่นำไปใช้ทำงานได้ดีที่สุดสำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนบวก

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						
6-1 NNs Model(l/hr)		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
[Fe]	RMS	945	934	937	1.30e+3
RMSP	% (Error index)	24.6	21.8	20.3	25.4
MP	% (Error index)	34.5	34.77	34.9	34.4
[HCl]	MSE	0.00256	0.00129	0.0026	0.00743
[HCl]	RMS	0.05060	0.0359	0.051	0.0862
RMSP	% (Error index)	4.35	3.17	4.32	7.33
MP	% (Error index)	16.2	12.2	7.04	9.3
					4.41
					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
[Fe]	RMS	1090	970	760	713
RMSP	% (Error index)	28.5	22.7	16.4	13.9
MP	% (Error index)	34.5	34.7	34.9	34.4
[HCl]	MSE	0.00379	0.00223	0.00189	0.00138
[HCl]	RMS	0.0615	0.0472	0.0435	0.0371
RMSP	% (Error index)	5.29	4.17	3.69	3.15
MP	% (Error index)	16.2	12.2	7.04	5.16
					4.85
					13.3

#### ตารางที่ ๔ สำหรับการแลกเปลี่ยนไออกอนลบ

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
[Fe]	RMS	17.3	4.39	4.11	4.26
RMSP	% (Error index)	0.885	0.231	0.216	0.205
MP	% (Error index)	3.92	0.36	0.47	0.483
[HCl]	MSE	254e-6	5.46e-6	8.82e-6	20.5e-6
[HCl]	RMS	0.01590	0.00234	0.00297	0.00453
RMSP	% (Error index)	1.32	0.21	0.28	0.42
MP	% (Error index)	6.44	0.60	0.85	1.89
					222e-6
					0.0149
					1.41
					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
[Fe]	RMS	3.31	13.9	23.7	1.16
RMSP	% (Error index)	0.177	0.731	1.25	0.0556
MP	% (Error index)	0.591	2.71	4.63	0.149
[HCl]	MSE	1.61e-4	4.01e-4	2.98e-4	5.14e-4
[HCl]	RMS	0.0127	0.02	0.0171	0.0227
RMSP	% (Error index)	1.10	1.80	1.63	2.10
MP	% (Error index)	4.07	6.86	5.35	9.66
					4.52
					4.74e-4
					0.0218
					2.06
					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)	110	140	160	180	200
---------------------	-----	-----	-----	-----	-----

## Testing Data Set:

[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)***	110	140	160	180	200
------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

## Testing Data Set:

[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

\*\*\* แสดงแบบจำลองที่นำไปใช้ทำงานได้ดีที่สุดสำหรับการแลกเปลี่ยนไอโอนลบ

2. แสดงค่าดัชนีความผิดพลาดของการทำนาย ด้วยแบบจำลองทั้ง 22 แบบจำลอง  
ตารางที่ ॥.3 สำหรับการแลกเปลี่ยนไอโอดินบวก

1 <sup>st</sup> NNs Model(l/hr)	110	140	160	180	200
<b>Testing Data Set:</b>					
[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
<b>3<sup>rd</sup> NNs Model</b>					
3-1 NNs Model(l/hr)	110	140	160	180	200
<b>Testing Data Set:</b>					
[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
<b>Testing Data Set:</b>					
[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
<b>Testing Data Set:</b>					
[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
[Fe]	RMS	850	634	705	809
RMSP	%(Error index)	22.1	14.8	15.2	15.8
MP	%(Error index)	51.5	34.0	47.0	57.3
[HCl]	MSE	0.00229	0.00178	0.00144	0.00124
[HCl]	RMS	0.04780	0.0422	0.038	0.0352
RMSP	%(Error index)	4.11	3.72	3.22	2.99
MP	%(Error index)	6.49	12.2	4.68	4.11

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
[Fe]	RMS	309	374	340	318
RMSP	%(Error index)	8.04	8.75	7.34	6.19
MP	%(Error index)	27.2	29.8	27.1	28.4
[HCl]	MSE	0.00388	0.0065	0.00221	0.00137
[HCl]	RMS	0.06230	0.0806	0.047	0.037
RMSP	%(Error index)	5.36	7.11	3.98	3.14
MP	%(Error index)	27.2	36.7	22.7	18.4

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
[Fe]	RMS	379	493	460	561
RMSP	%(Error index)	9.87	11.5	9.95	10.9
MP	%(Error index)	24.5	29.8	27.1	28.4
[HCl]	MSE	0.0046	0.0108	0.00395	0.00774
[HCl]	RMS	0.0678	0.104	0.0629	0.088
RMSP	%(Error index)	5.83	9.17	5.33	7.48
MP	%(Error index)	27.2	36.7	22.7	18.4

4-3 NNs Model(l/hr)	110	140	160	180	200
---------------------	-----	-----	-----	-----	-----

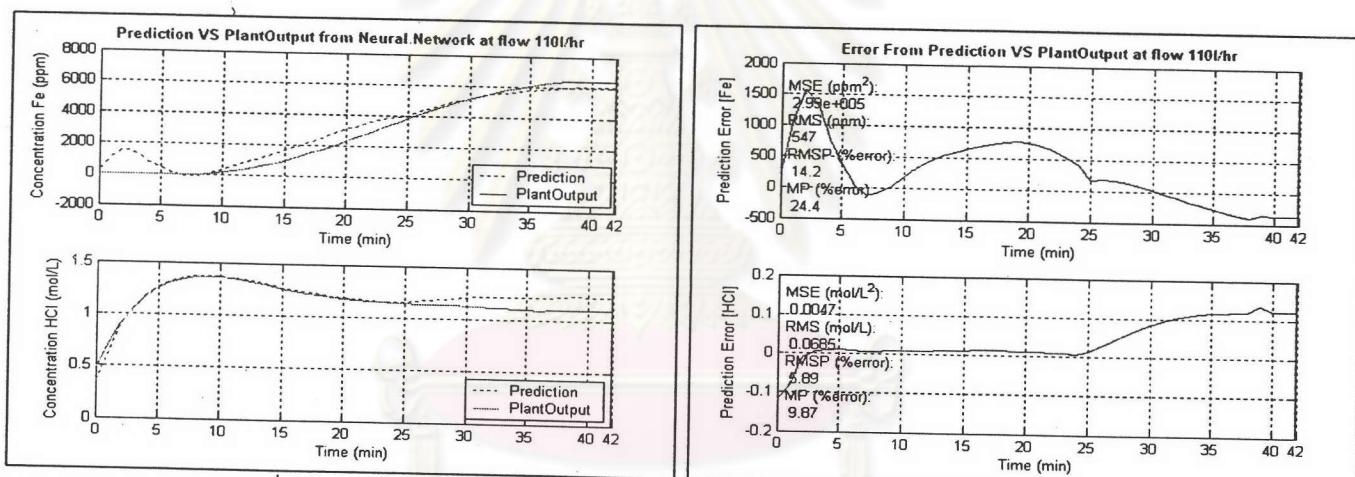
Testing Data Set:					
[Fe]	MSE	1.09e+5	1.76e+5	4.58e+5	1.40e+6
[Fe]	RMS	330	420	676	1.18e+3
RMSP	%(Error index)	8.6	9.81	14.6	23
MP	%(Error index)	24.5	29.8	27.1	28.4
[HCl]	MSE	0.00367	0.00663	0.00402	0.00842
[HCl]	RMS	0.0606	0.0814	0.0634	0.0917
RMSP	%(Error index)	5.21	7.18	5.37	7.8
MP	%(Error index)	27.2	36.7	22.7	18.4

### 3. แสดงผลการทำนายพฤติกรรมของการดูดซับตามอัตราการไหลต่างๆ

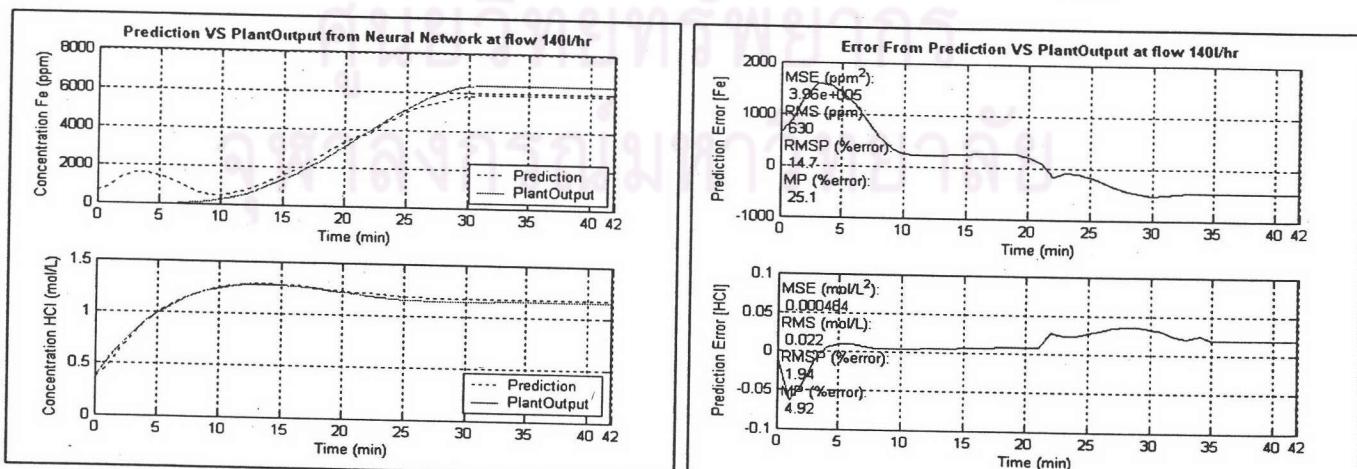
ในหัวข้อ 5.4 ได้แสดงถึงผลการทำนายพฤติกรรมของการดูดซับของแบบจำลองที่ 5-2 และแบบจำลองที่ 7-4 ที่เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมและดีที่สุดในการทำนายในส่วนนี้จะแสดงผลการทำนายพฤติกรรมทั้งหมดของงานวิจัยนี้

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

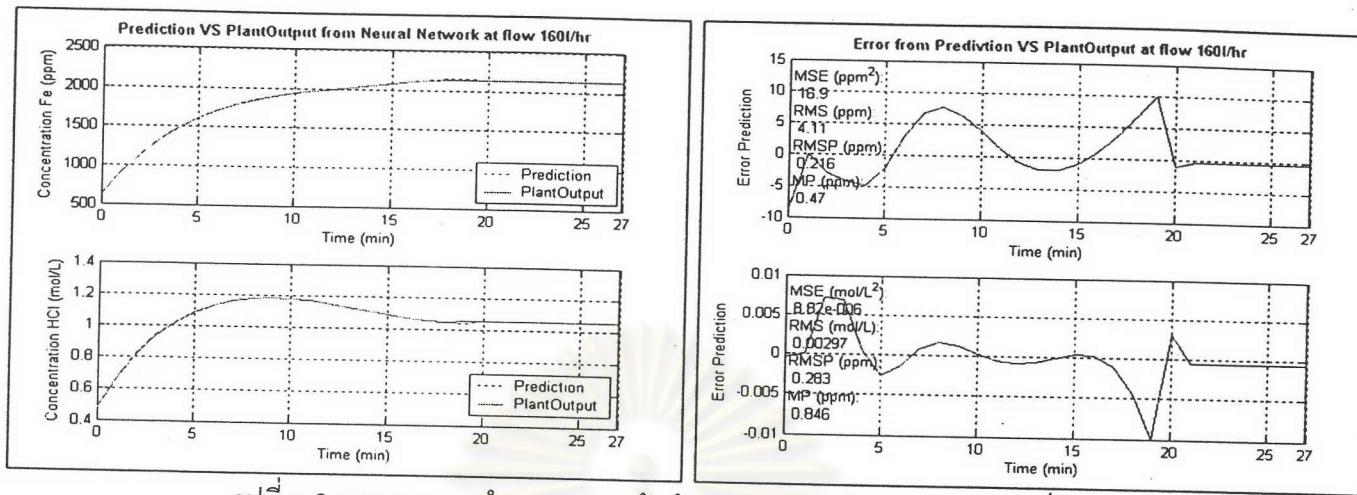
เป็นข่ายงานแบบหนึ่งชั้นช่อน และสำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-2] แสดงถึงข่ายงานที่อินพุท 5 ในด ชั้นช่อนแรก 13 ในด และเอาท์พุท 2 ในด 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในด ชั้นช่อนแรก 13 ในด และเอาท์พุท 2 ในด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้



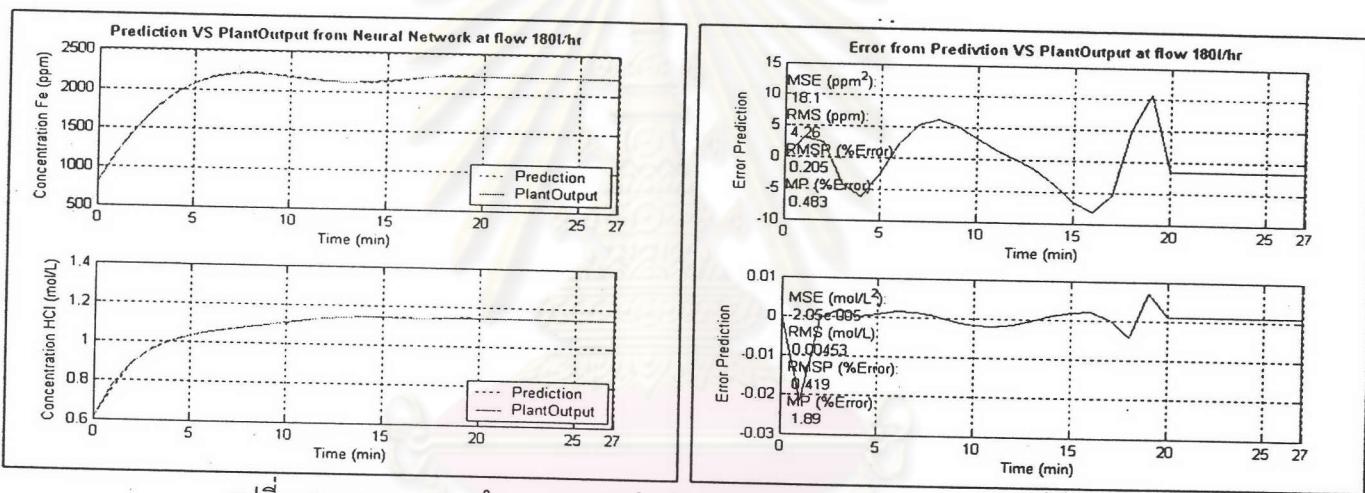
รูปที่ ข.1 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



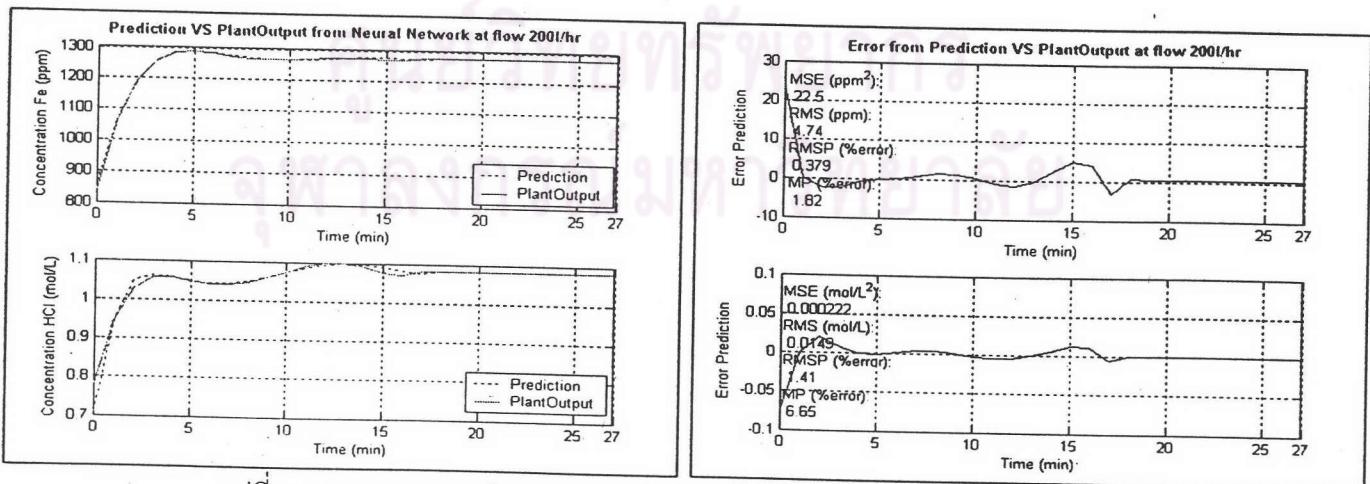
รูปที่ ข.2 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.8 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



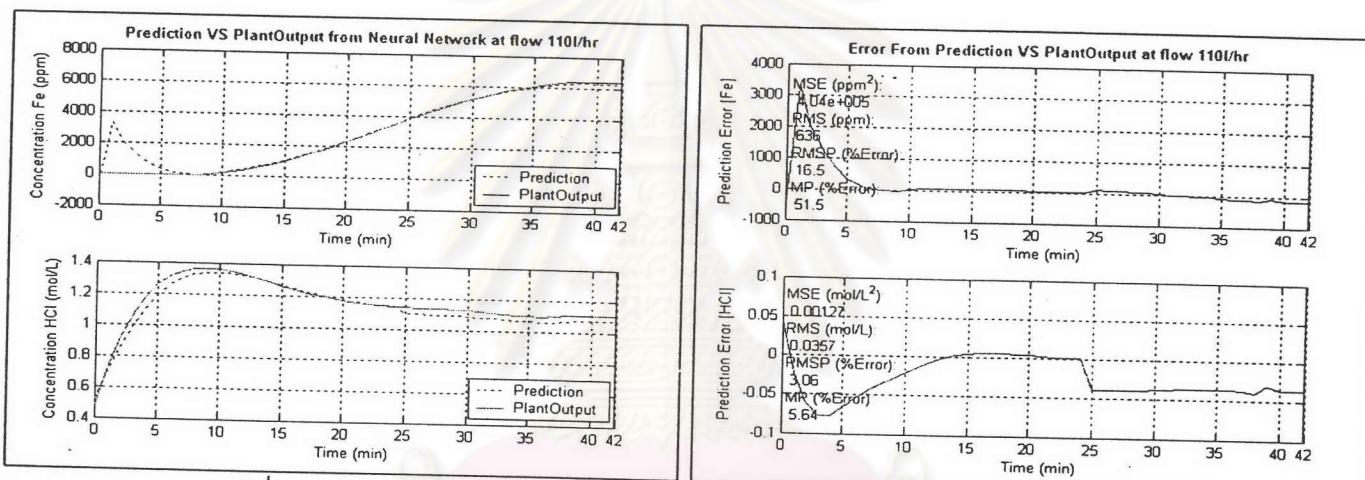
รูปที่ ข.9 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



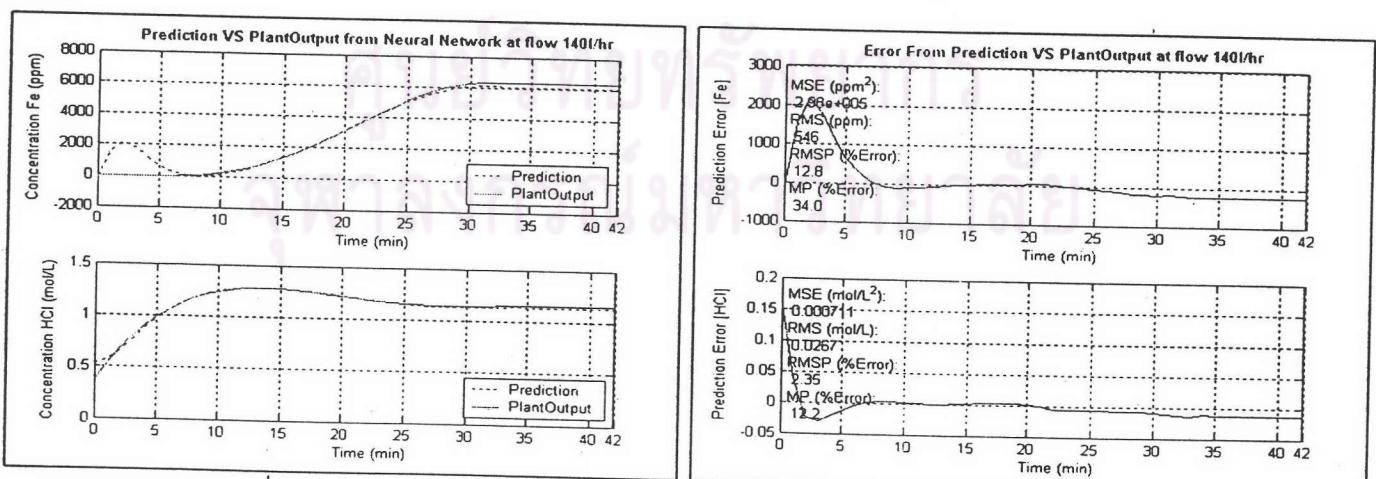
รูปที่ ข.10 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

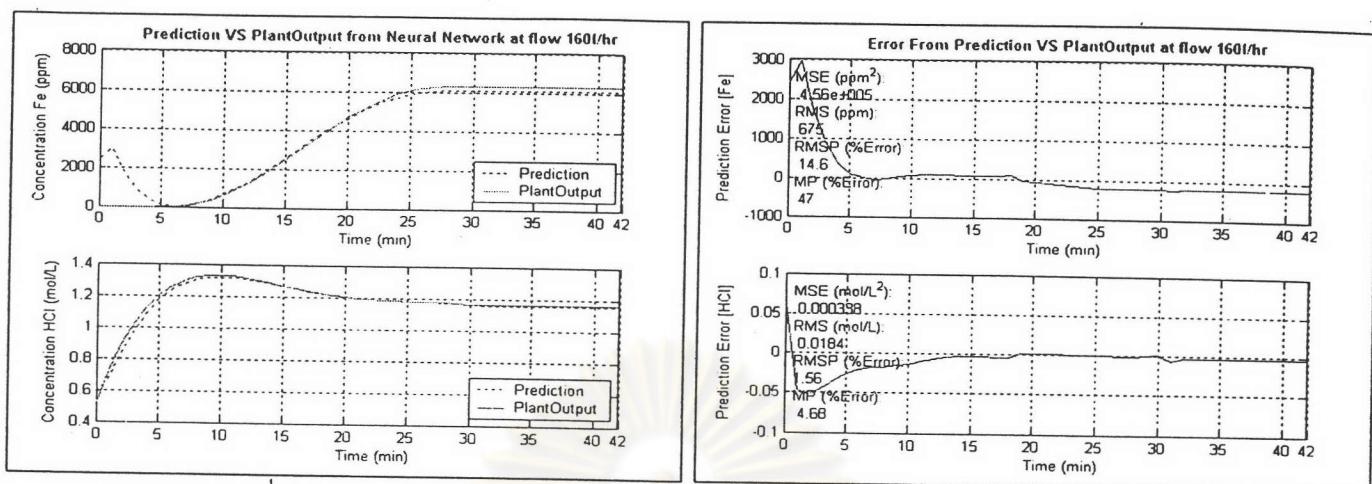
สำหรับพัฒนาระบบเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุต 5 ในดัชนีชั้นแรก 3 ในดัชนีชั้นสอง 13 ในดัชนีเอ้าท์พุต 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-7-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุต 5 ในดัชนีชั้นแรก 3 ในดัชนีชั้นสอง 7 ในดัชนีเอ้าท์พุต 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



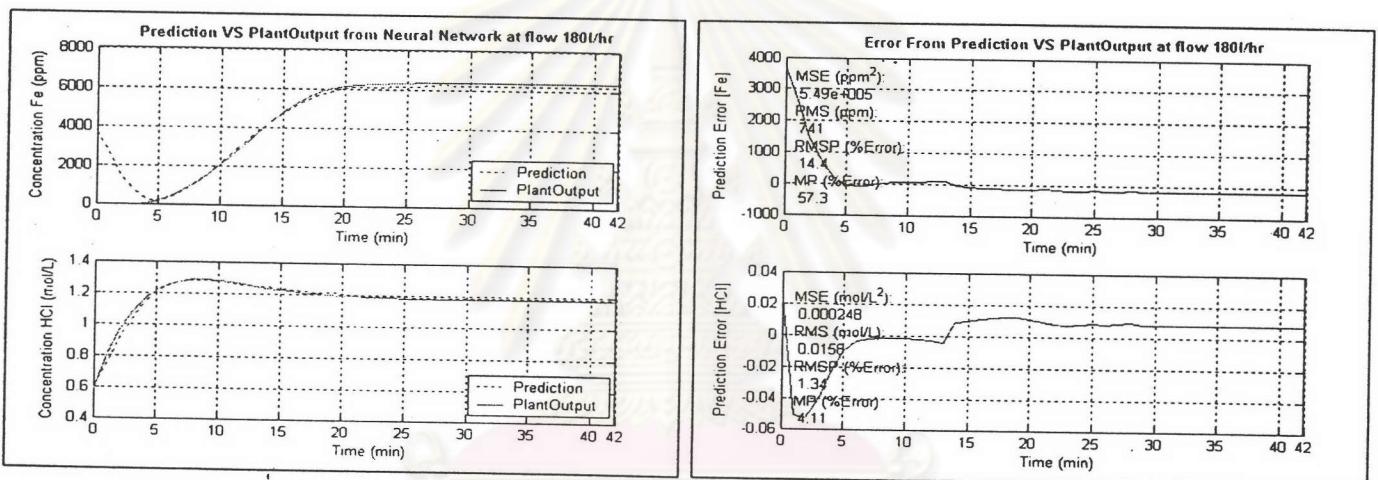
รูปที่ ข.11 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



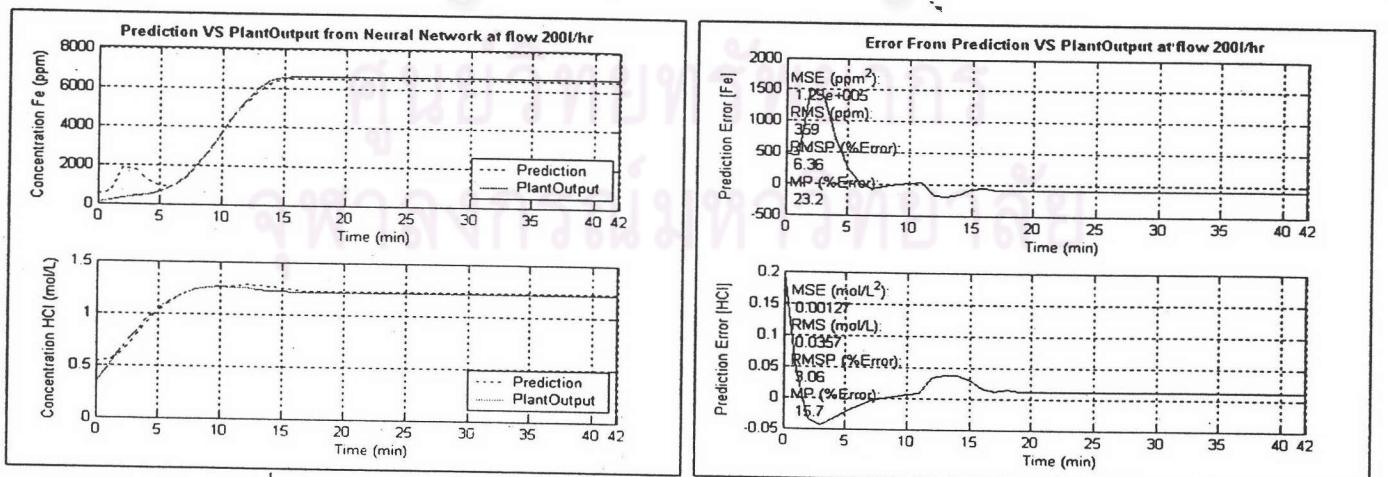
รูปที่ ข.12 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.13 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



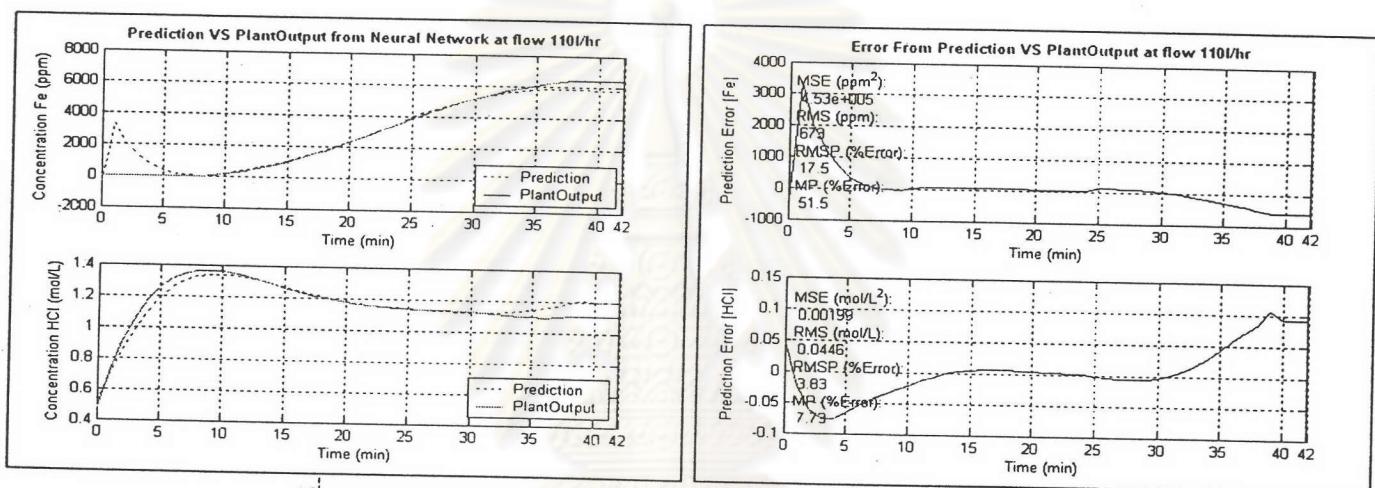
รูปที่ ข.14 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



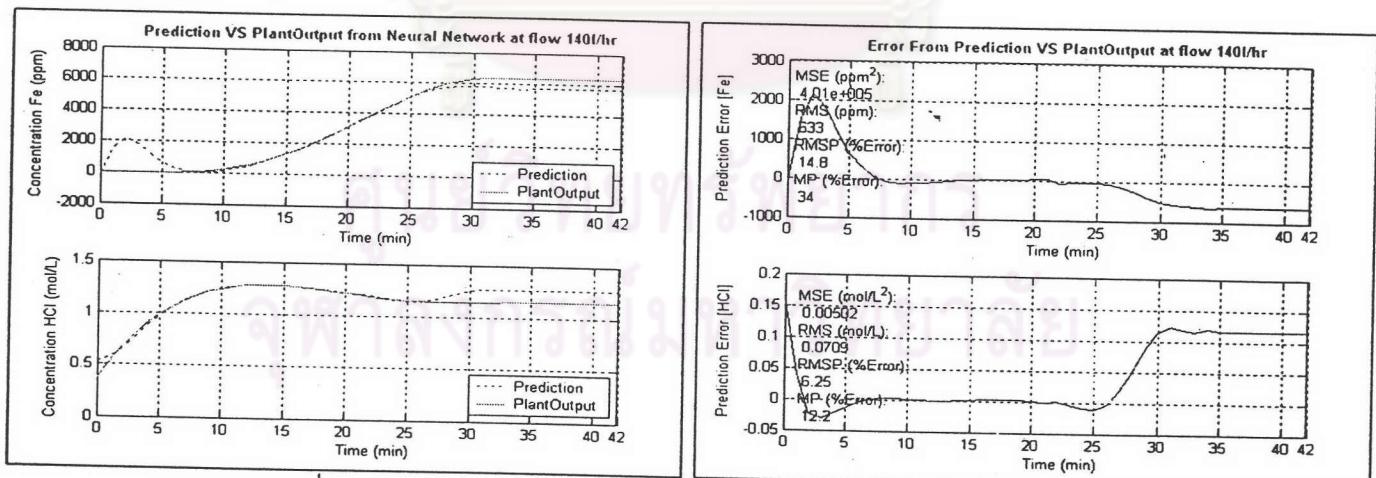
รูปที่ ข.15 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

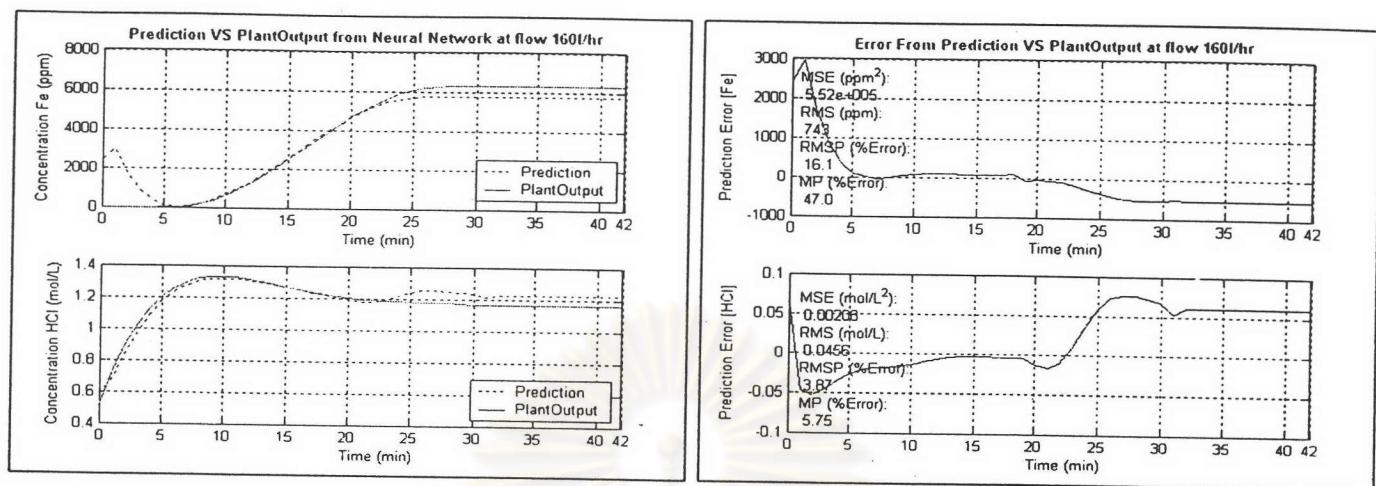
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 3 โนด ชั้นช่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 8 โนด ชั้นช่อนสอง 9 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



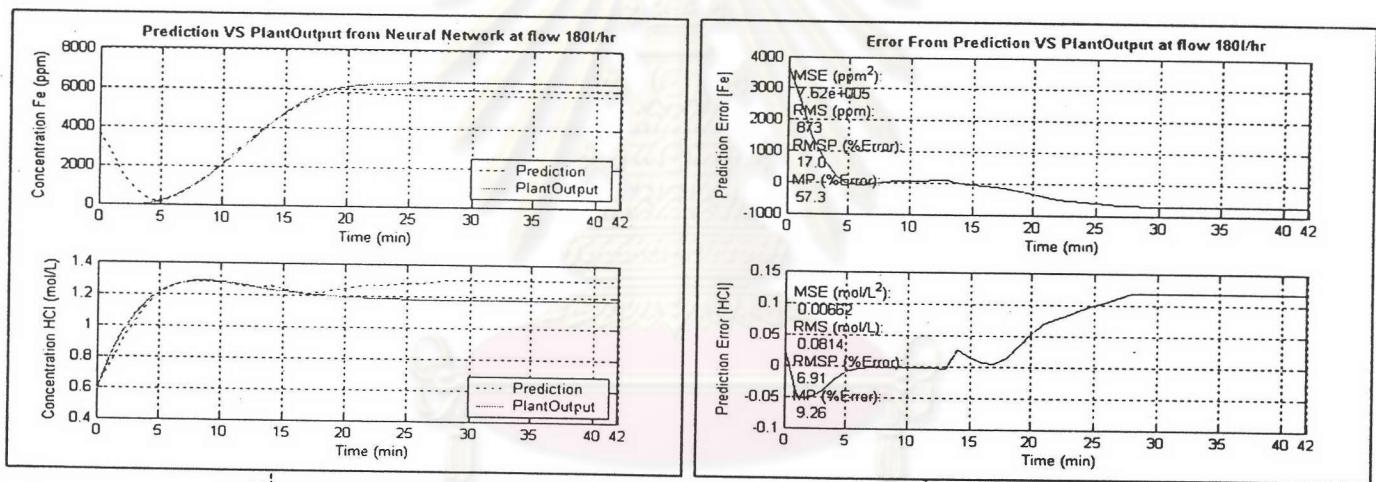
รูปที่ ข. 16 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



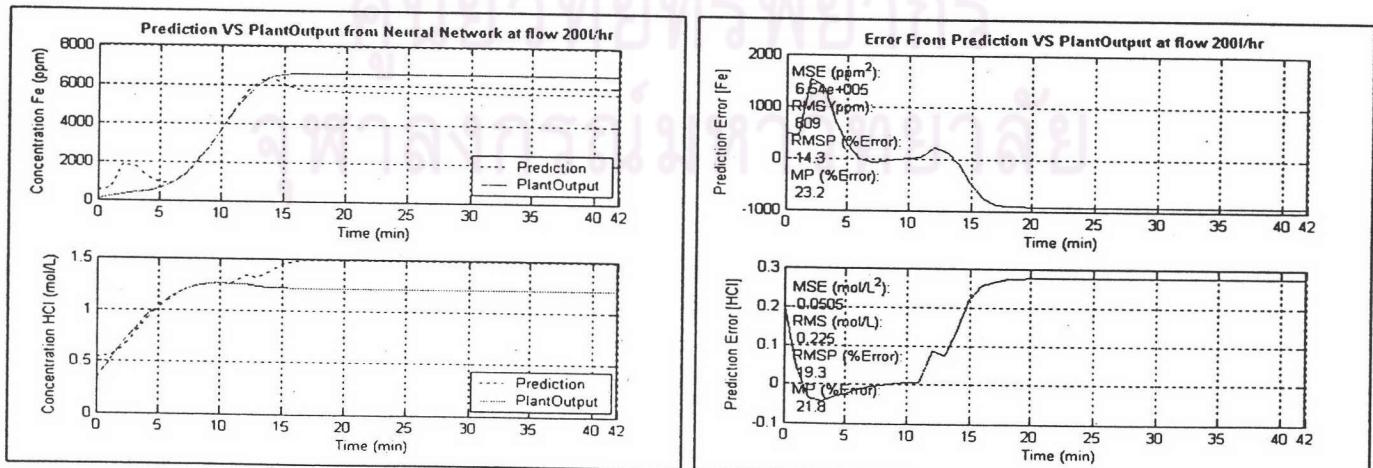
รูปที่ ข. 17 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.18 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



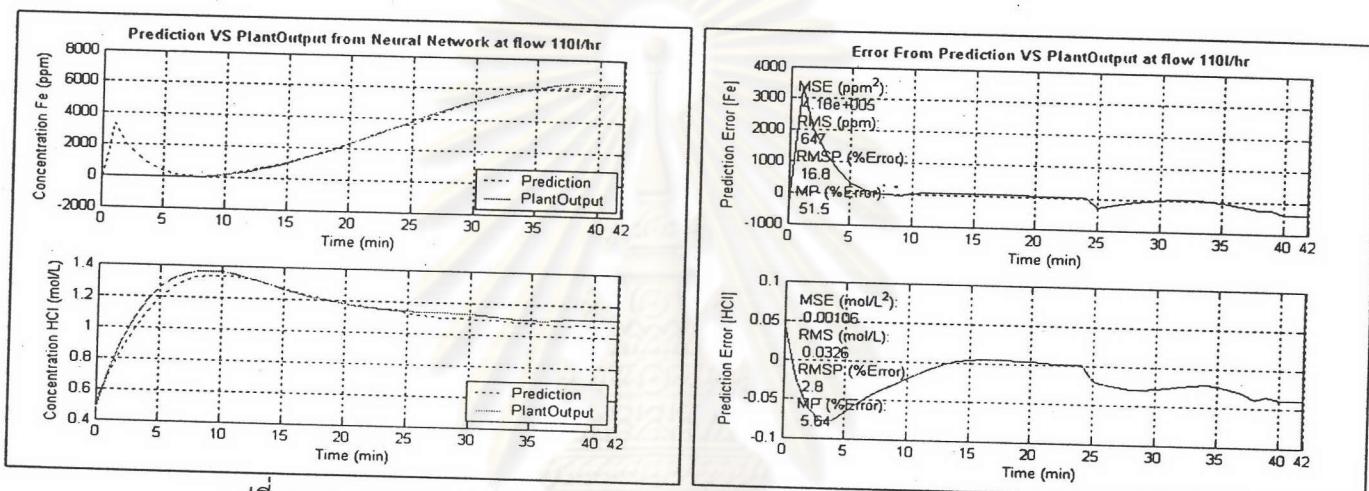
รูปที่ ข.19 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



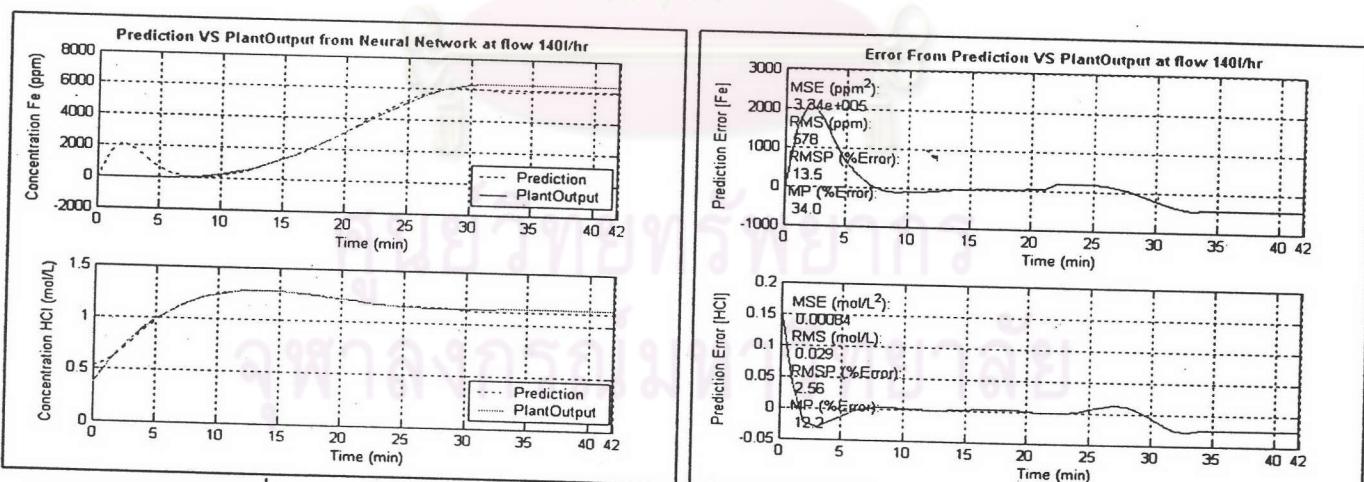
รูปที่ ข.20 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

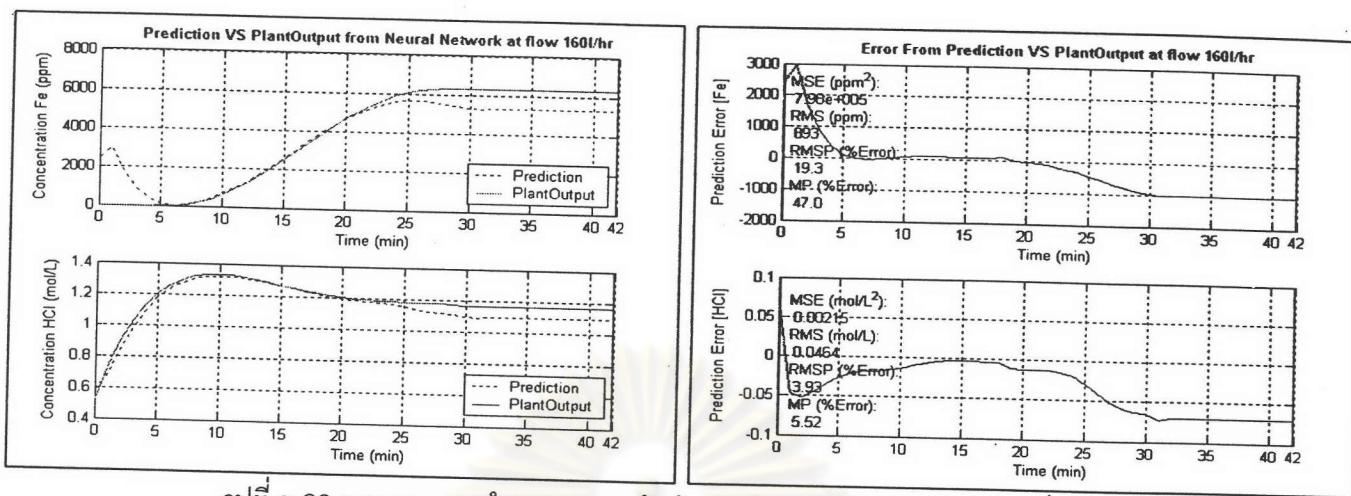
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 3 โนด ชั้นช่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 11 โนด ชั้นช่อนสอง 9 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



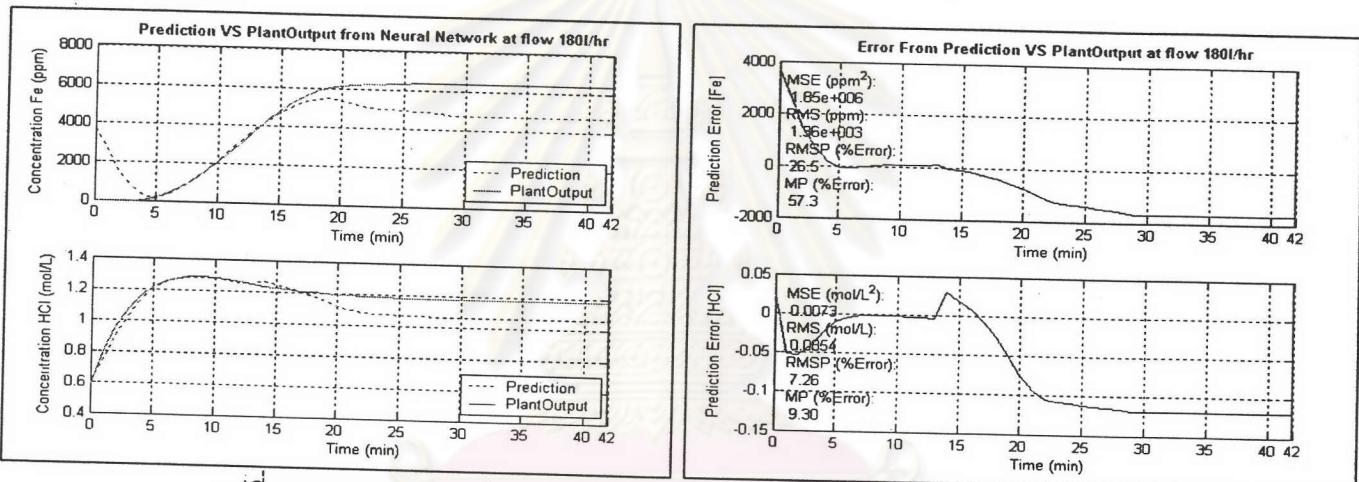
รูปที่ 3.21 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



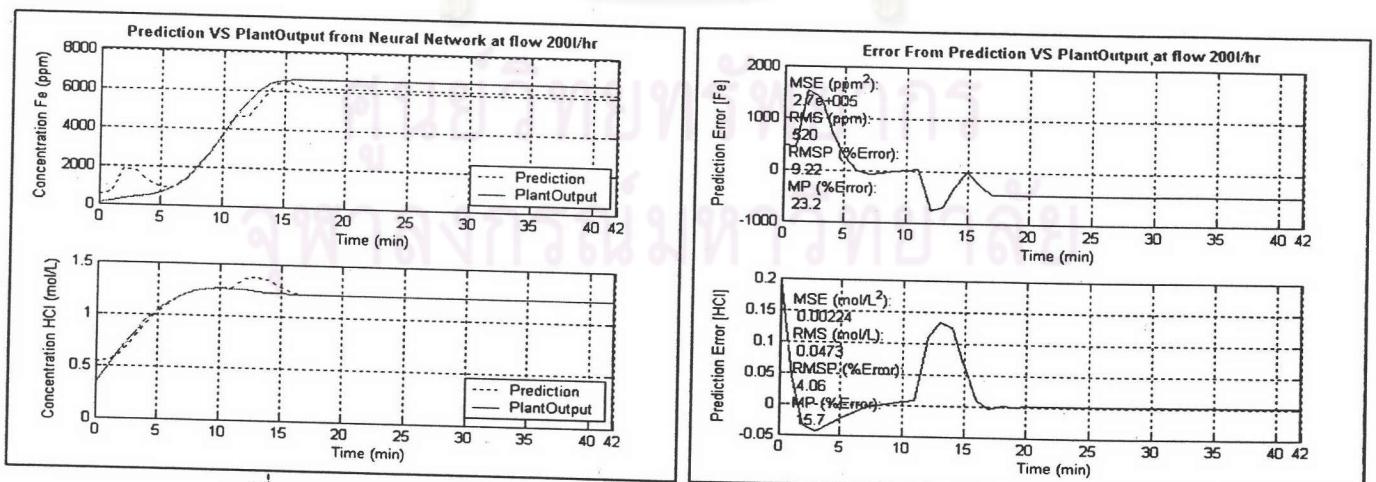
รูปที่ 3.22 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 11.23 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



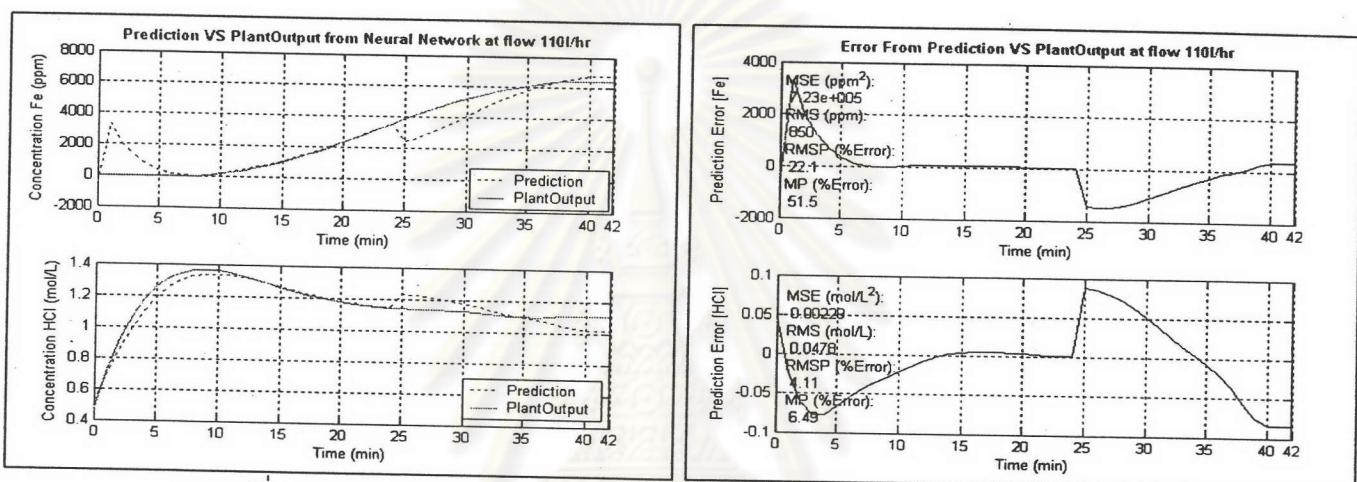
รูปที่ 11.24 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



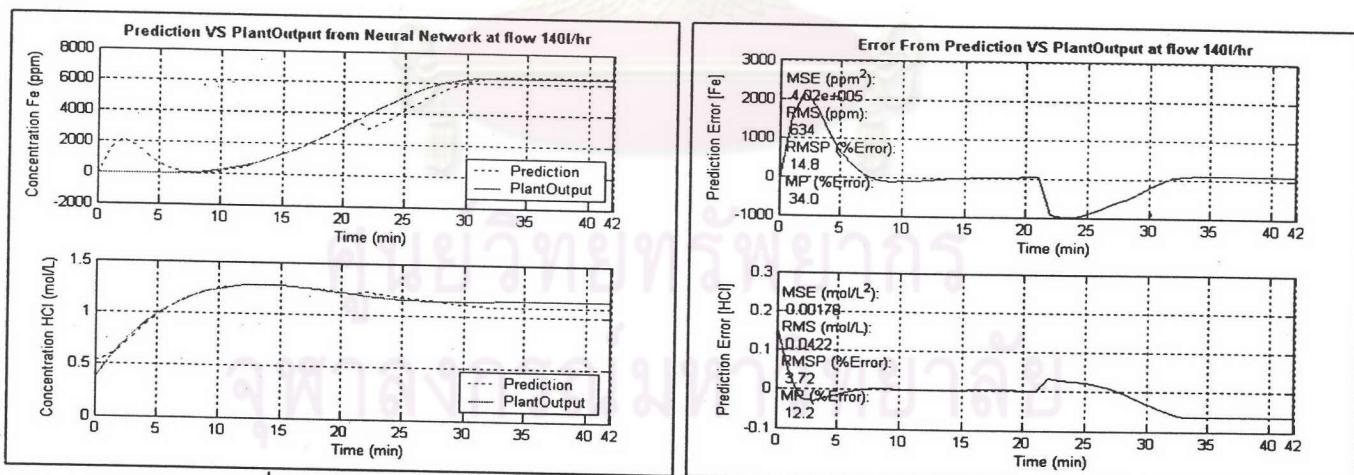
รูปที่ 11.25 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

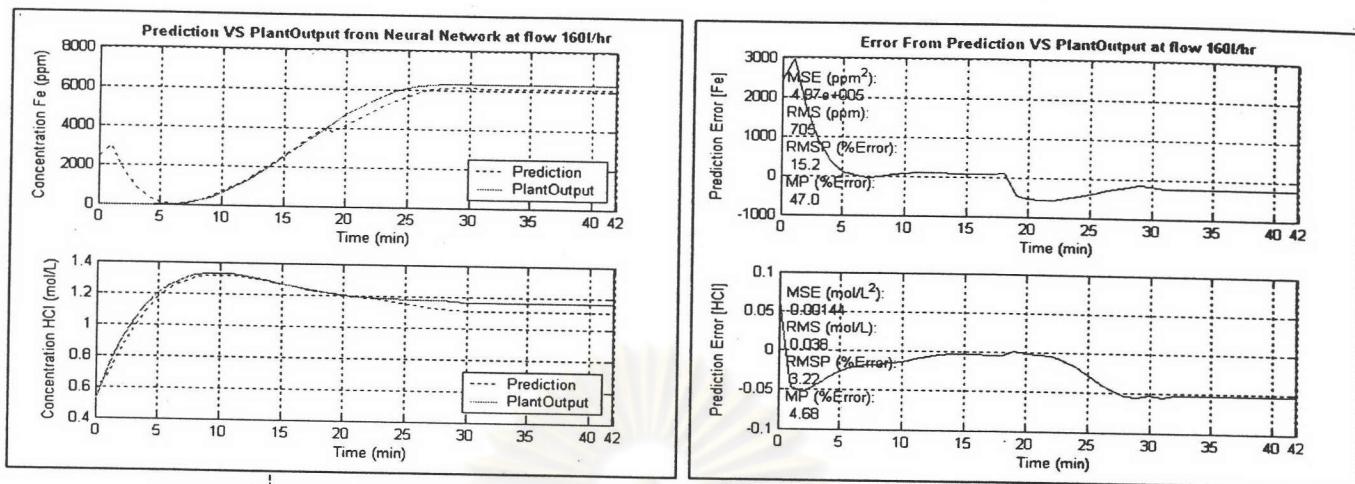
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่นแรก 3 ในดัชนีชั่นสอง 13 ในดัชนีเอ้าท์พุท 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่นแรก 13 ในดัชนีชั่นสอง 13 ในดัชนีเอ้าท์พุท 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



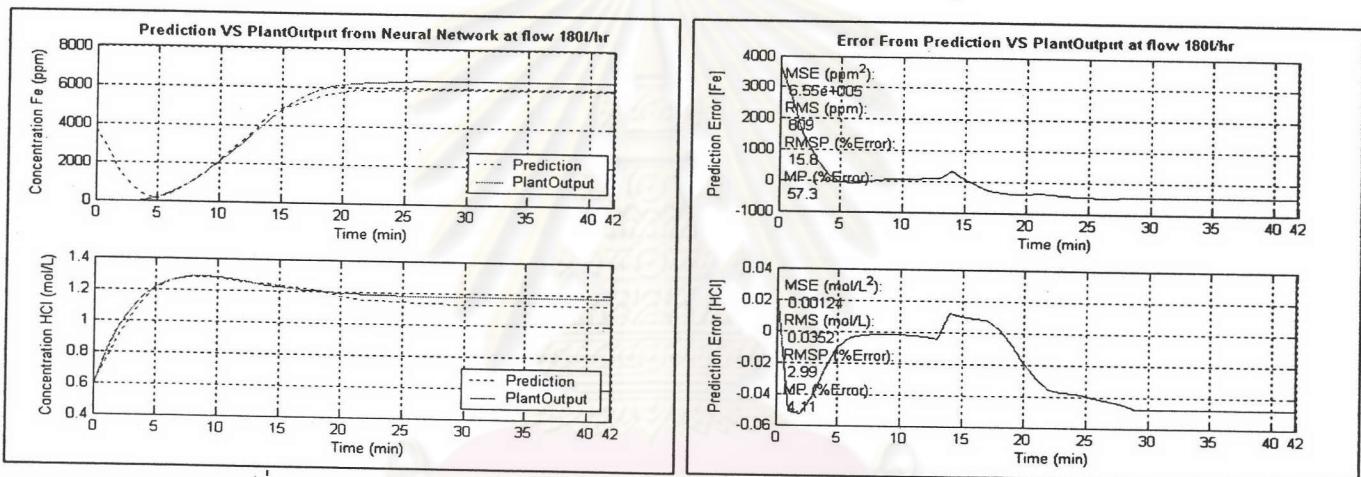
รูปที่ ข.26 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



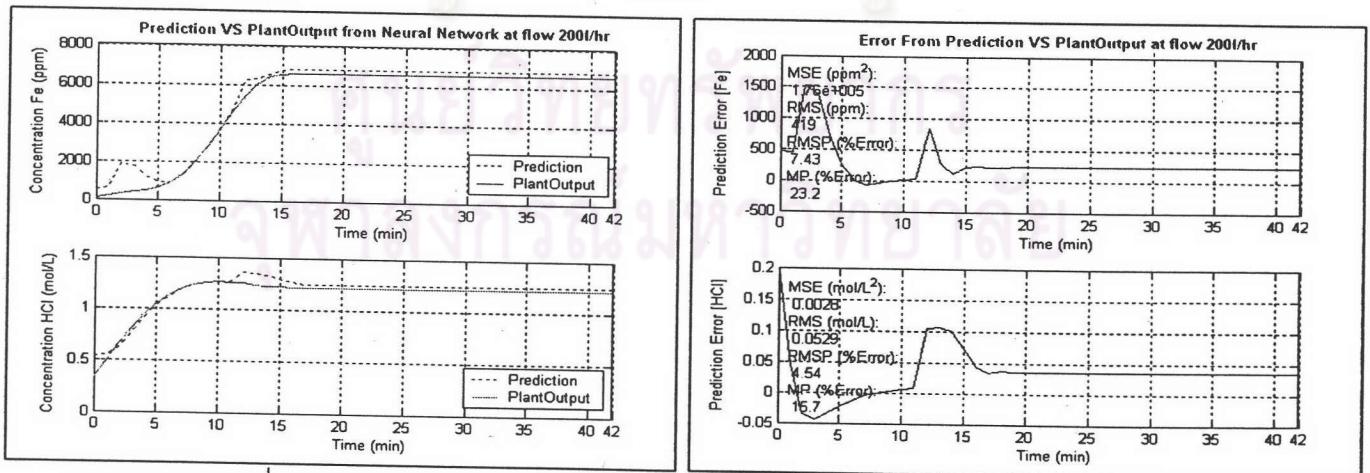
รูปที่ ข.27 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.28 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



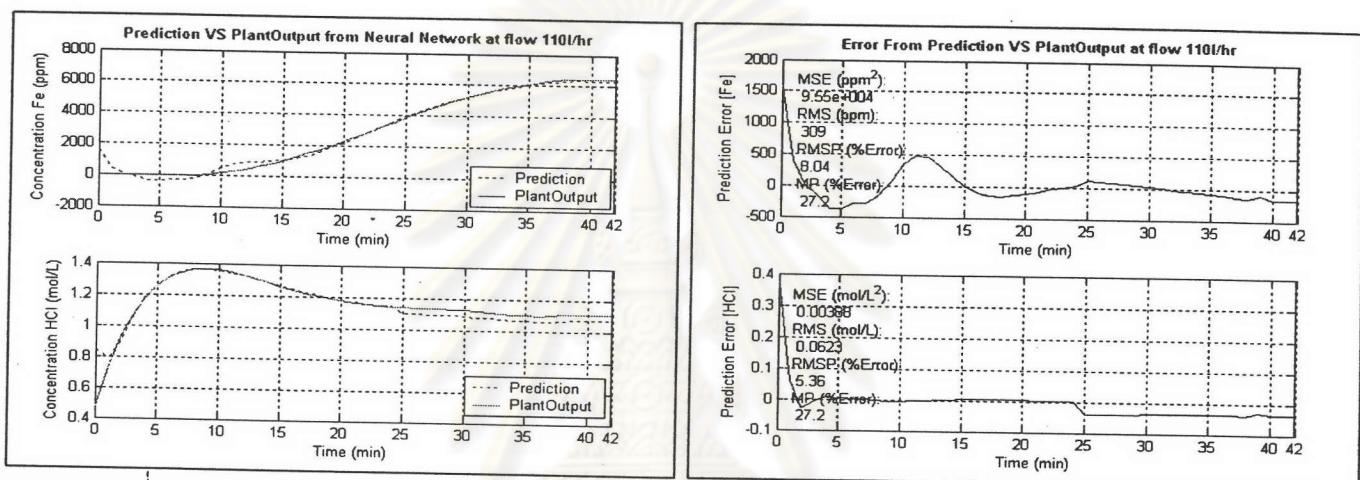
รูปที่ ข.29 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



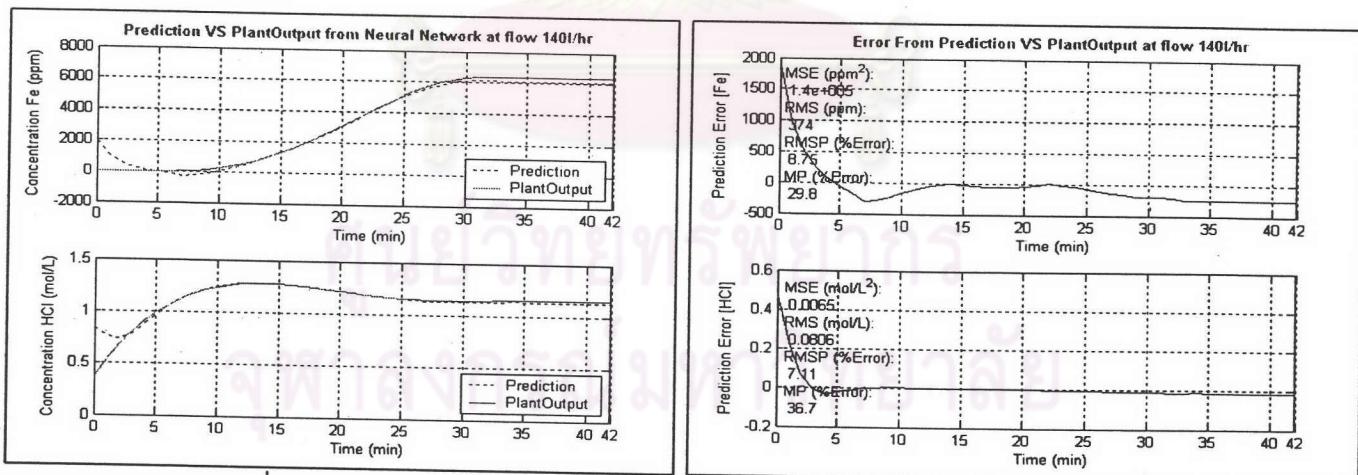
รูปที่ ข.30 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

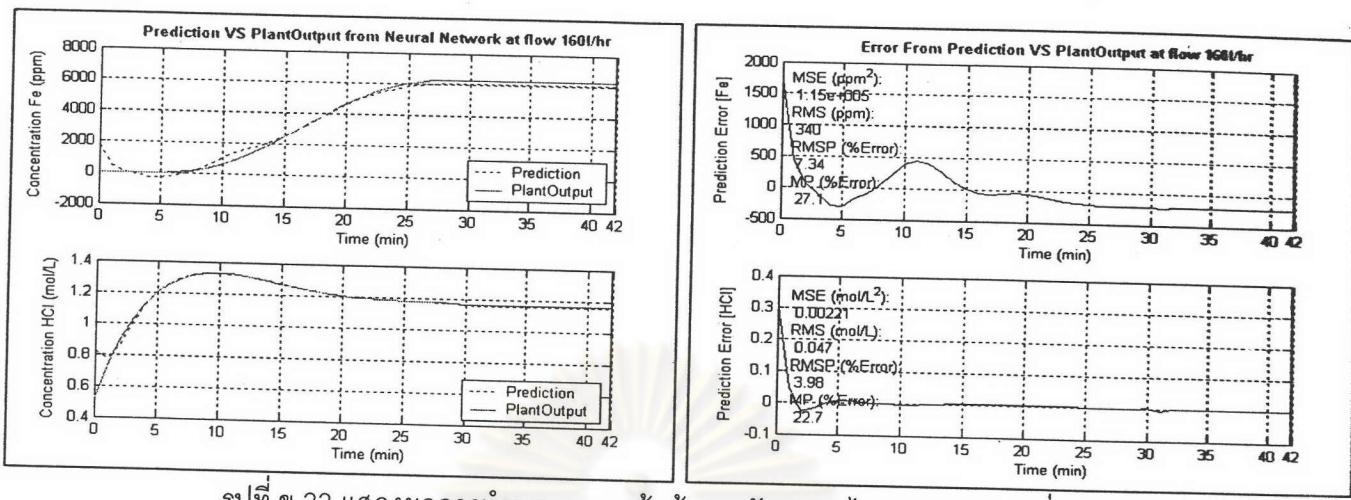
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-5-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุต 5 ในด ชั้นช่องแรก 8 ในด ชั้นช่องสอง 5 ในด และเอาท์พุต 2 ในด 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-7-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุต 5 ในด ชั้นช่องแรก 3 ในด ชั้นช่องสอง 7 ในด และเอาท์พุต 2 ในด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้



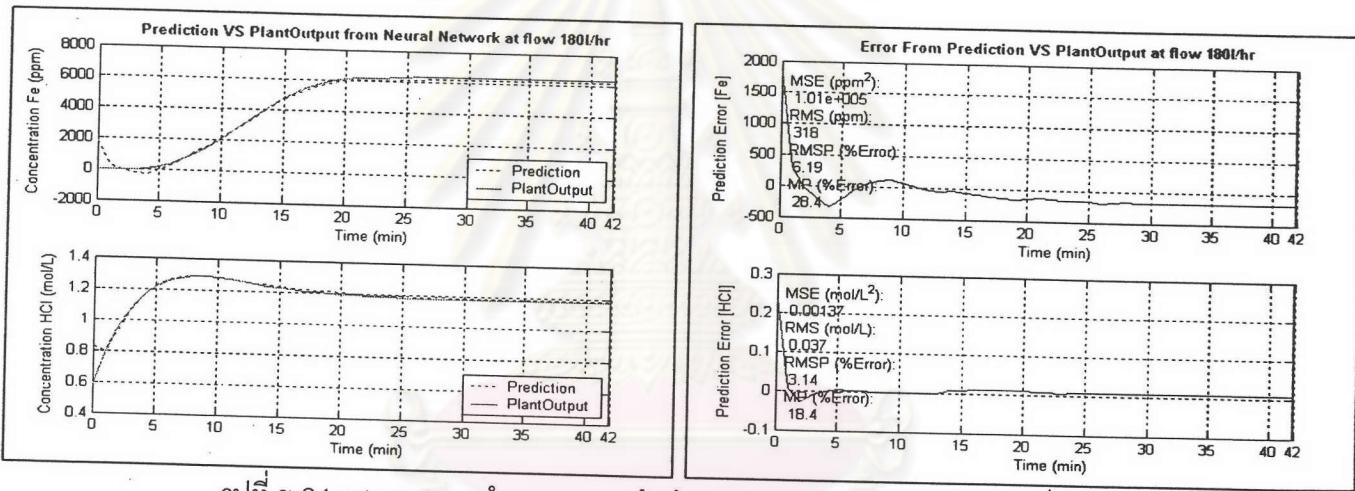
รูปที่ ๔.๓๑ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



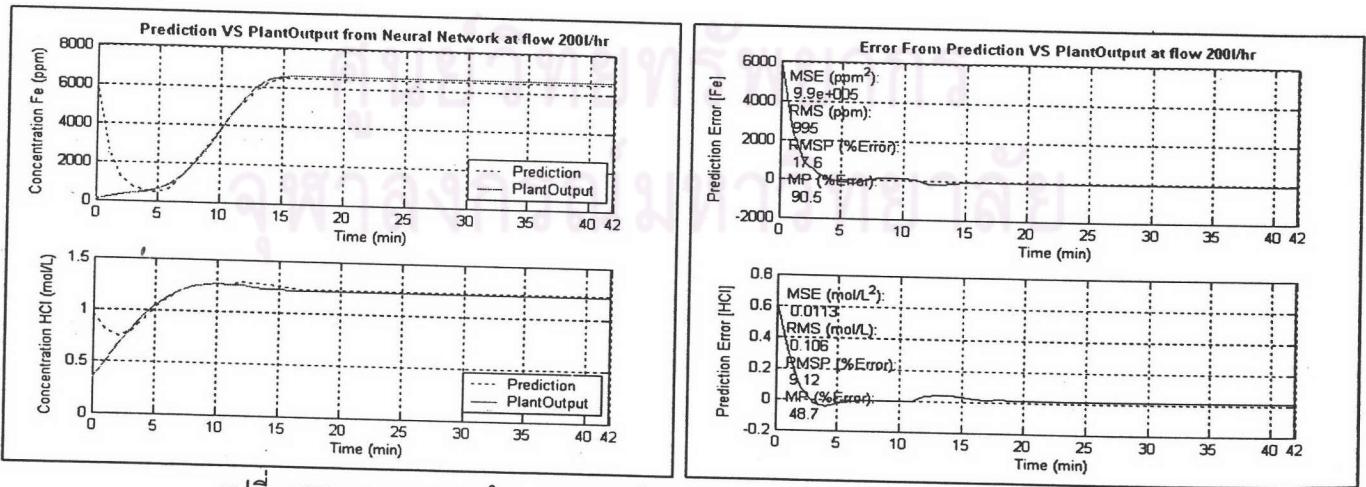
รูปที่ ๔.๓๒ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.33 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



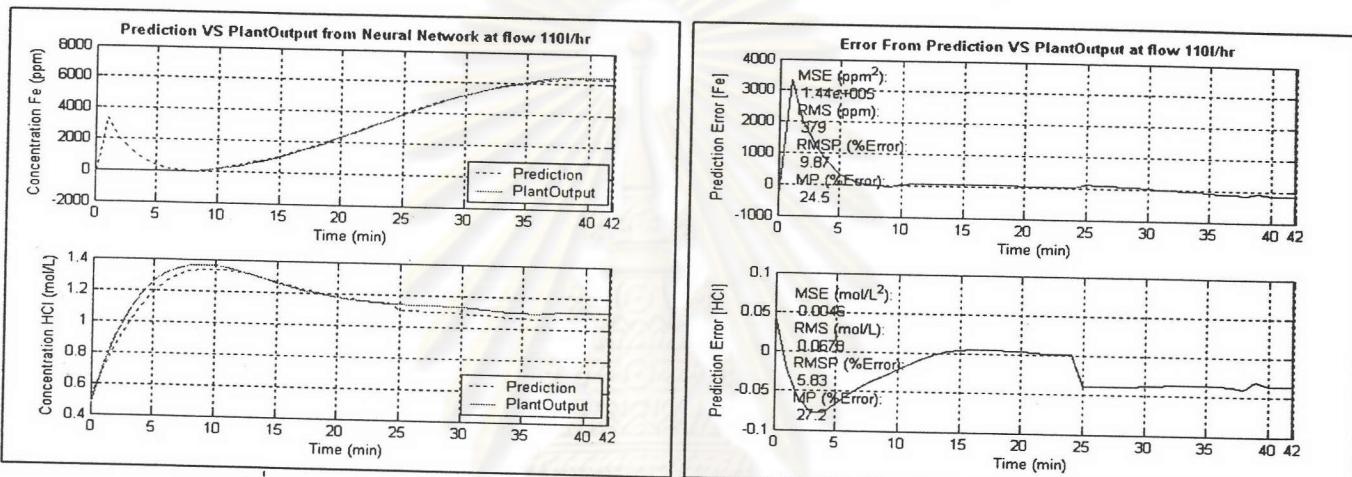
รูปที่ ข.34 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



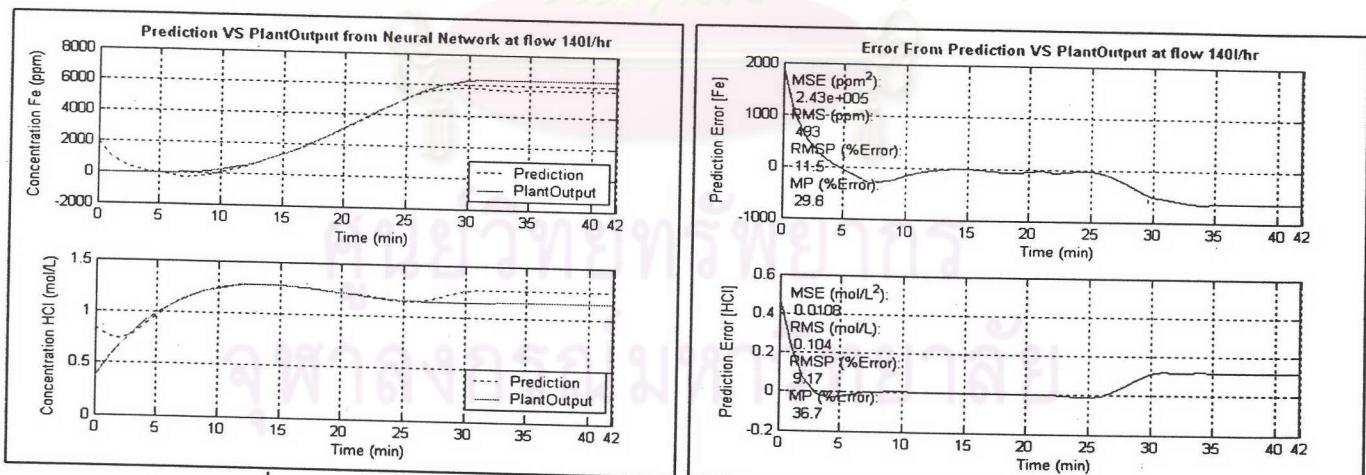
รูปที่ ข.35 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

### แบบจำลองที่ 4-2 [5-8-5-2] / [5-8-9-2]

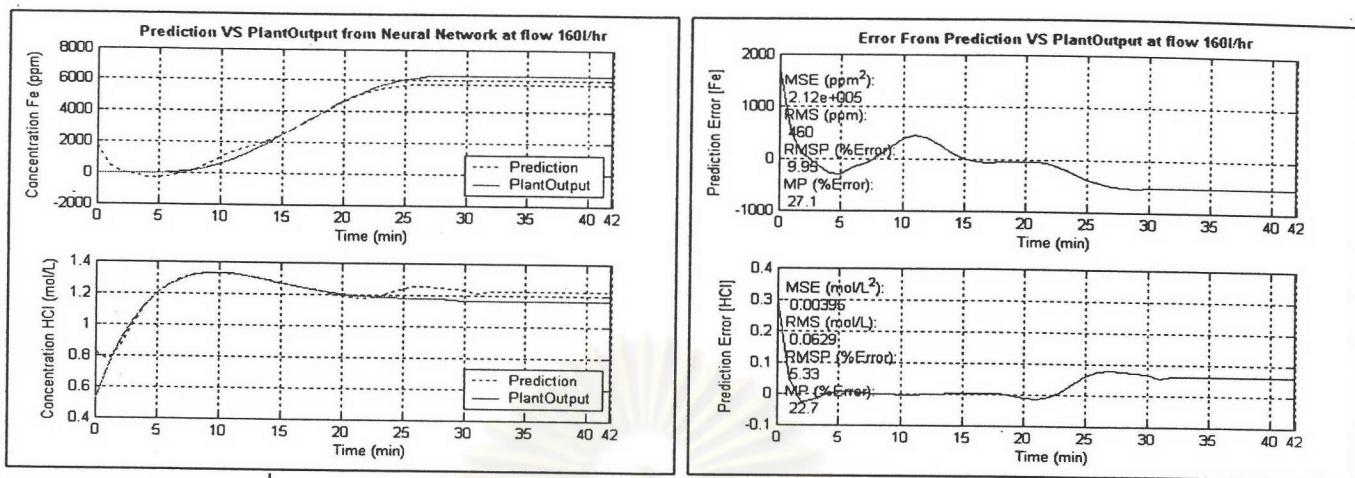
สำหรับพัฒนาระบบแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-5-2] และถึงข่ายงานที่อินพุต 5 ในดัชนีชั่วอนแรก 8 ในดัชนีชั่วอนสอง 5 ในดัชนีเอ้าท์พุต 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-9-2] และถึงข่ายงานที่อินพุต 5 ในดัชนีชั่วอนแรก 8 ในดัชนีชั่วอนสอง 9 ในดัชนีเอ้าท์พุต 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



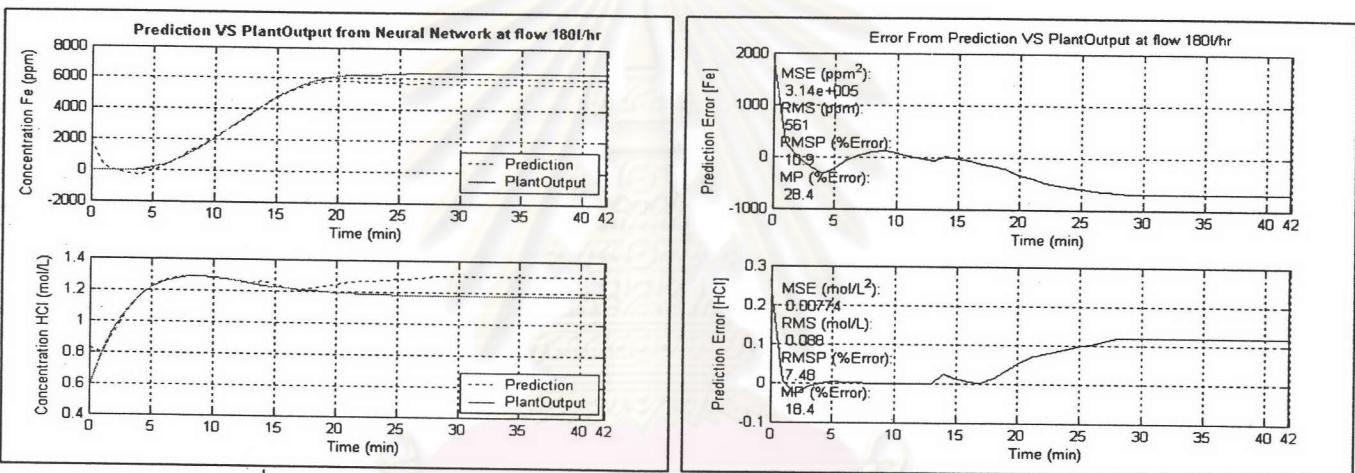
รูปที่ ข.36 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



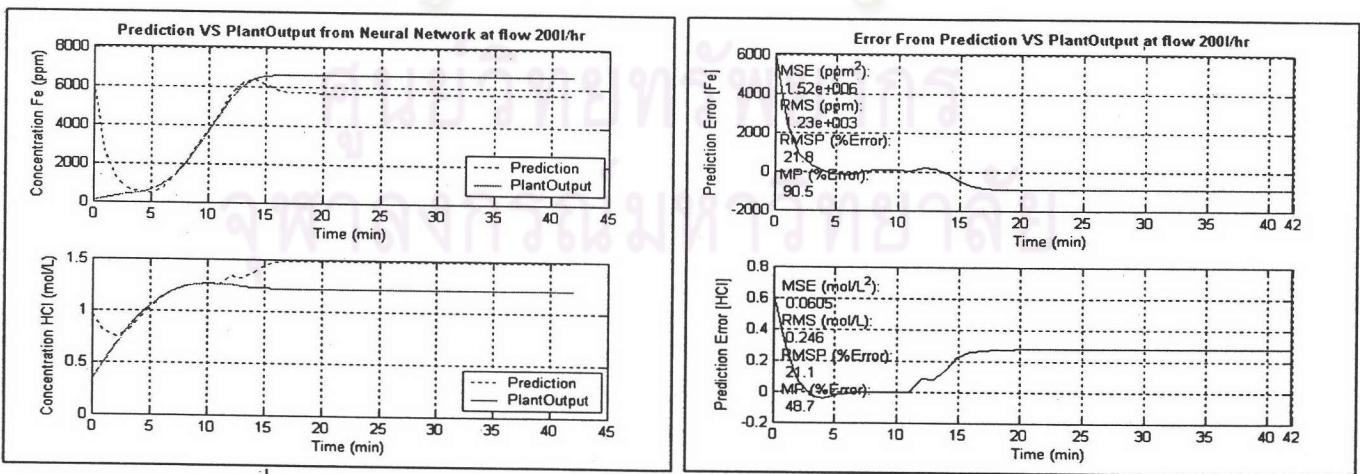
รูปที่ ข.37 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๔.๓๘ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



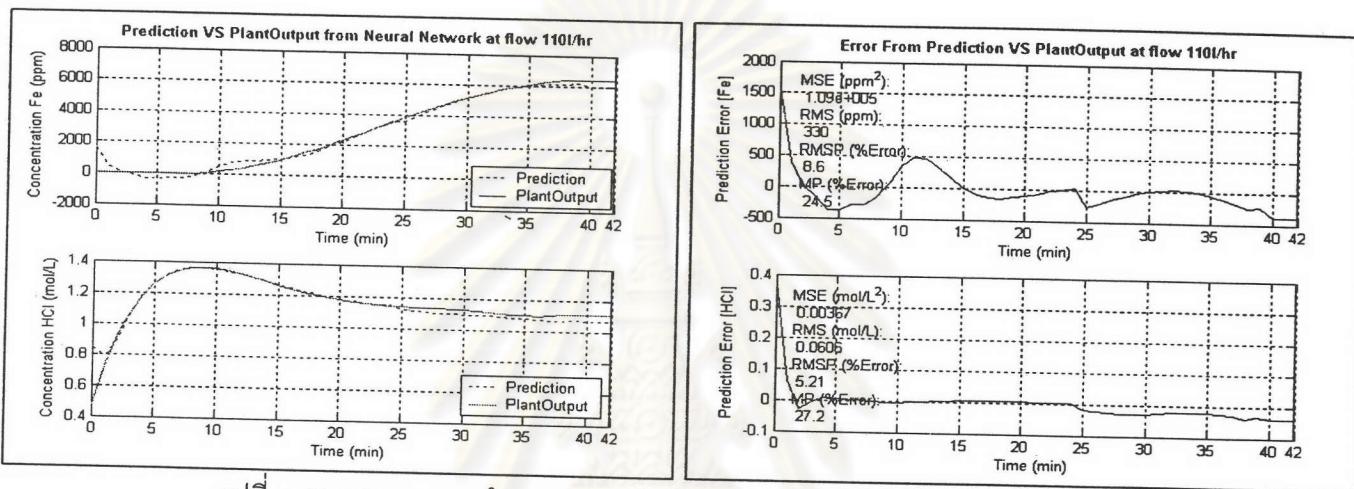
รูปที่ ๔.๓๙ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



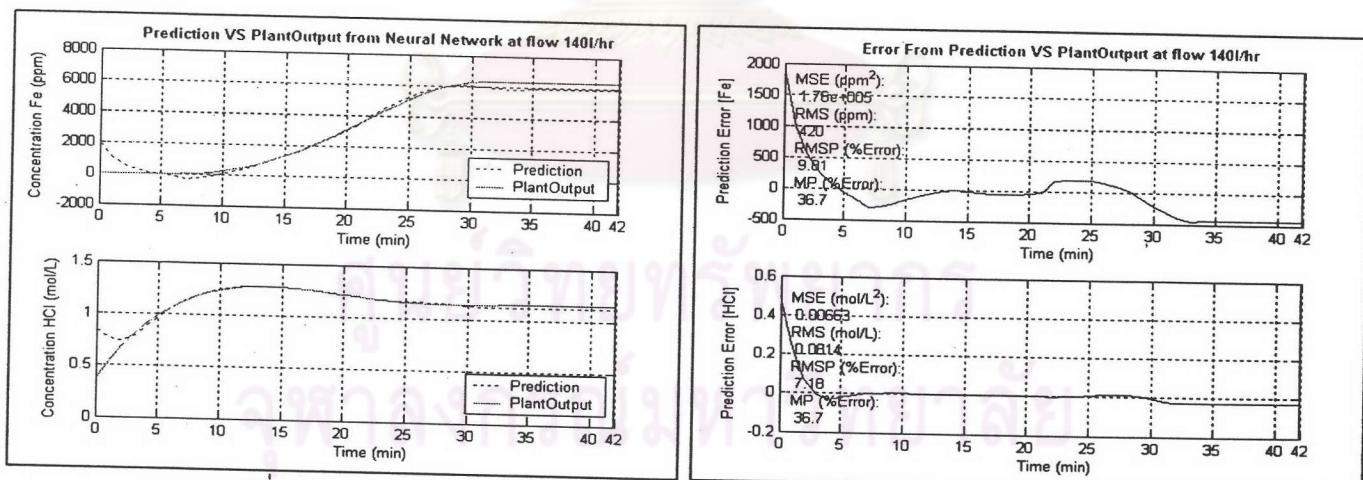
รูปที่ ๔.๔๐ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

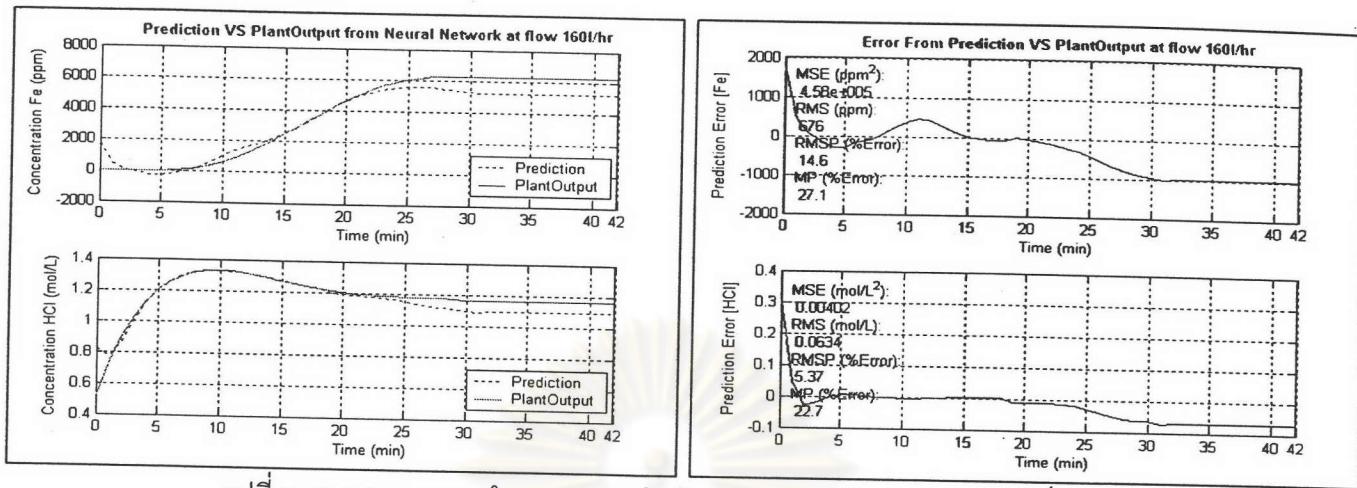
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-5-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่วโมงแรก 8 ในดัชนีชั่วโมงส่อง 5 ในดัชนีเอ้าท์พุท 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่วโมงแรก 11 ในดัชนีชั่วโมงส่อง 9 ในดัชนีเอ้าท์พุท 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



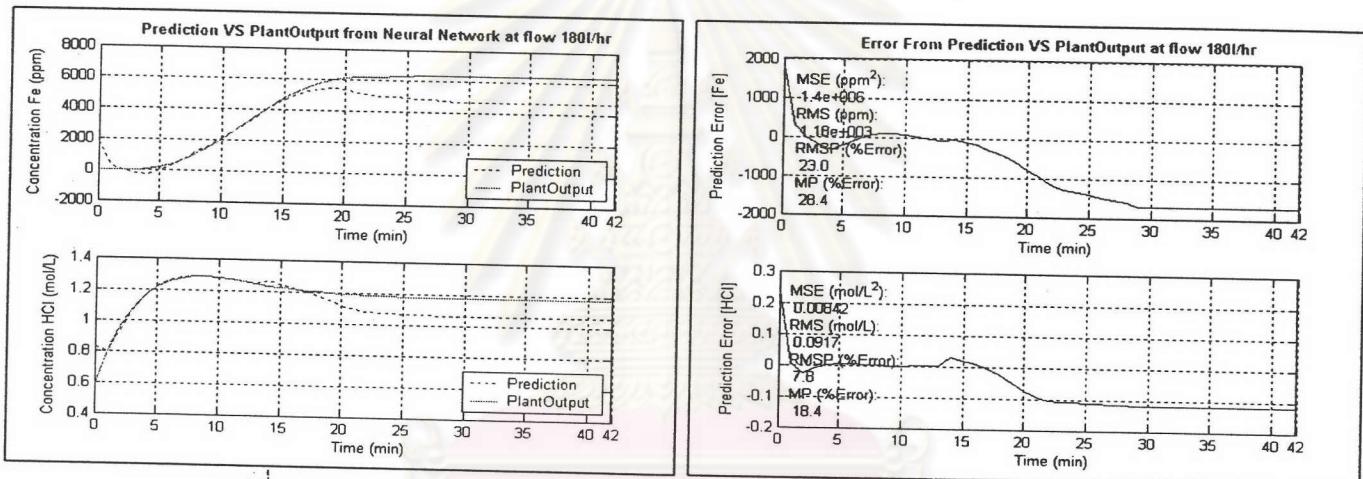
รูปที่ ๔.41 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



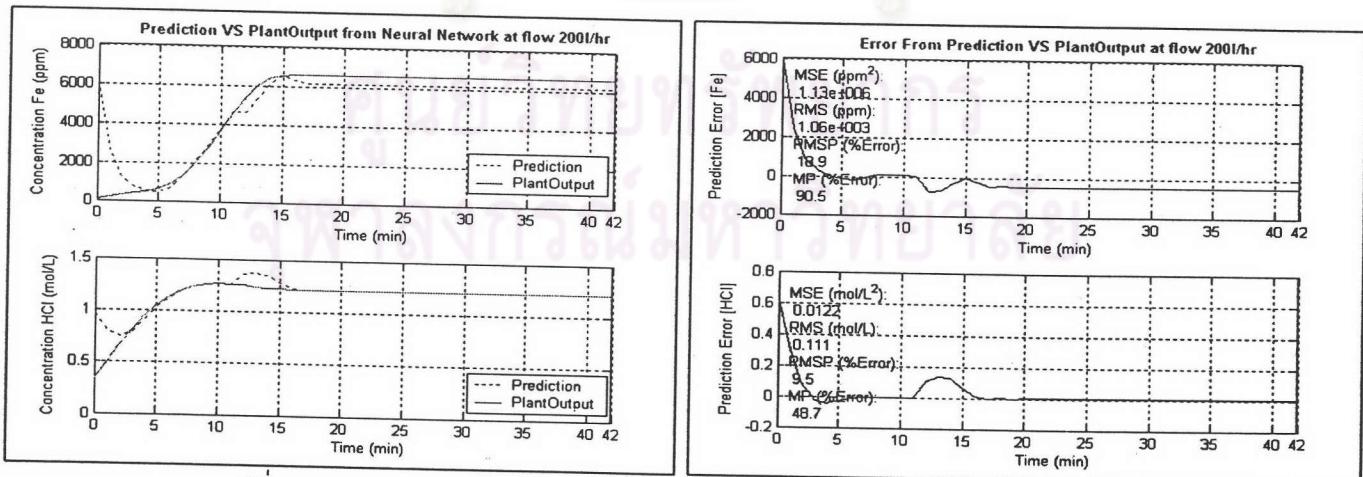
รูปที่ ๔.42 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๔.43 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



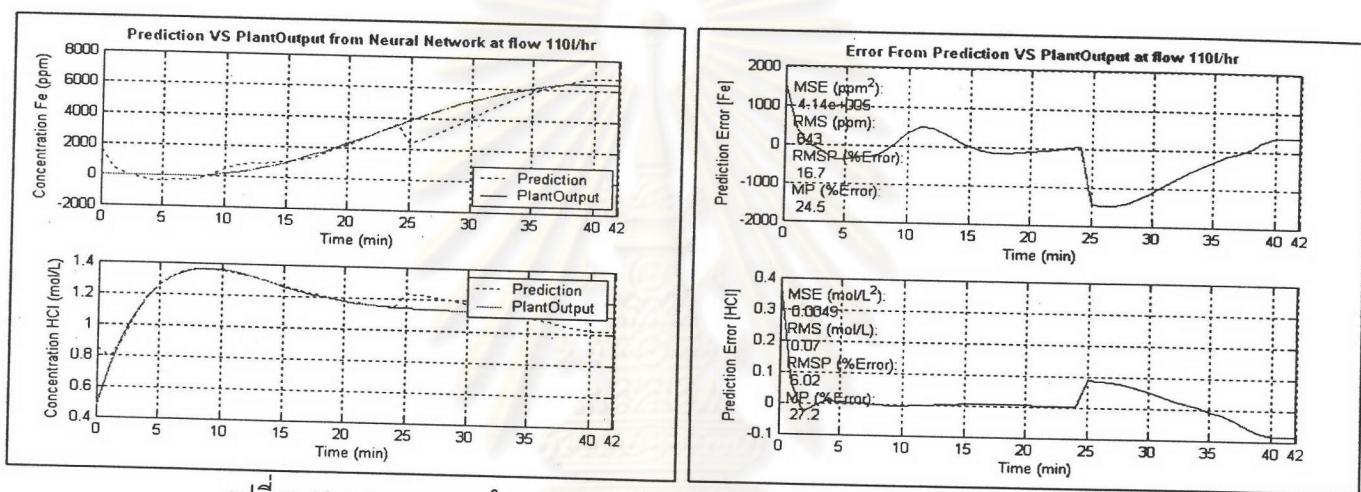
รูปที่ ๔.44 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



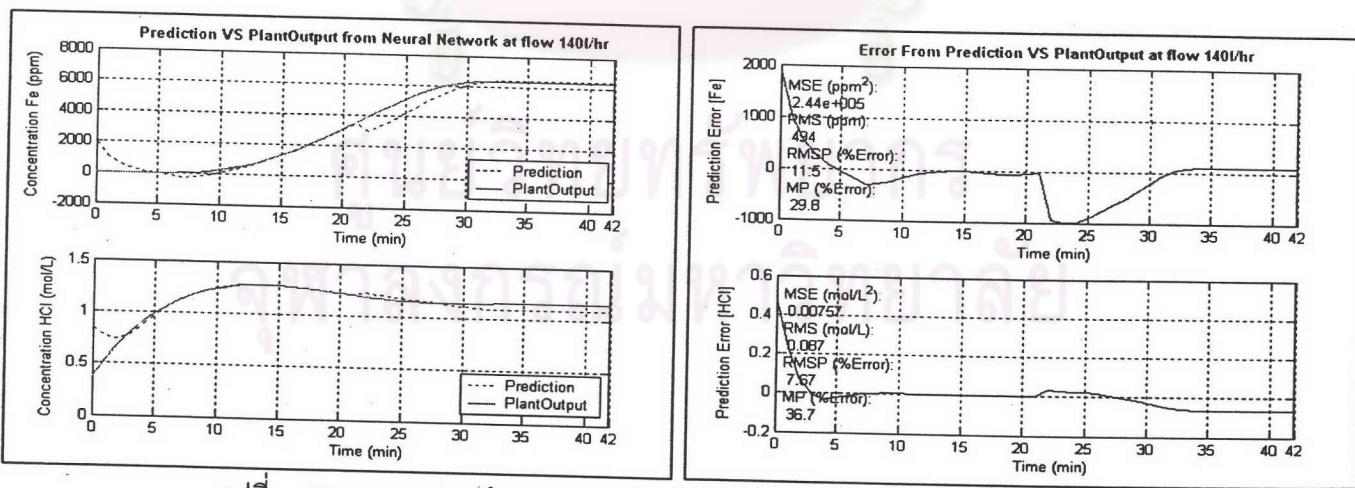
รูปที่ ๔.45 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

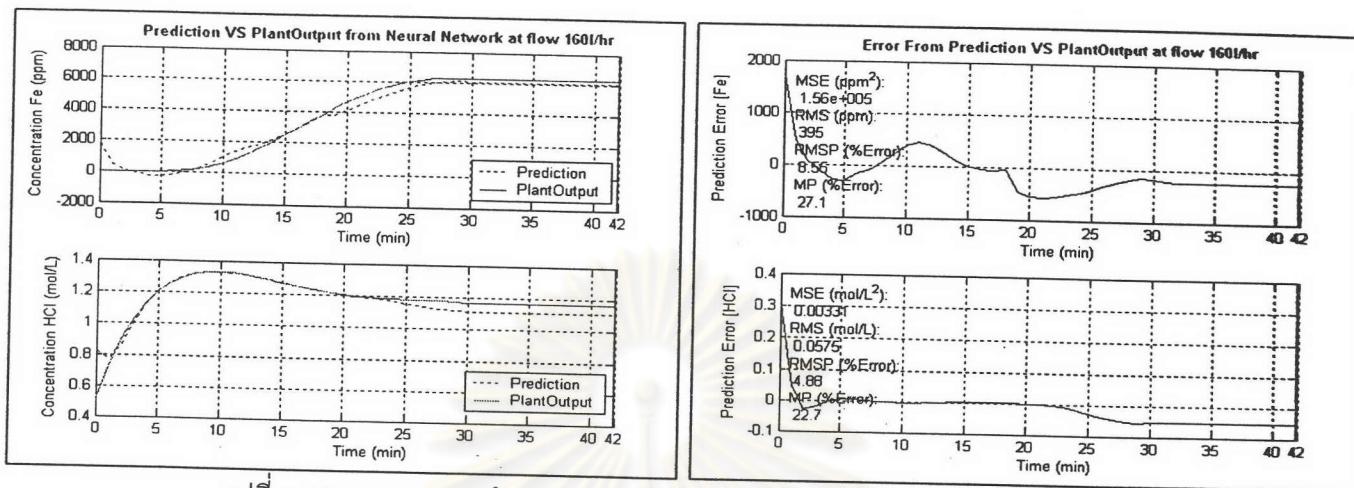
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-5-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่วอนแรก 8 ในดัชนีชั่วอนสอง 5 ในดัชนีชั่วอนสอง และเอาท์พุท 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่วอนแรก 13 ในดัชนีชั่วอนสอง 13 ในดัชนีชั่วอนสอง และเอาท์พุท 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



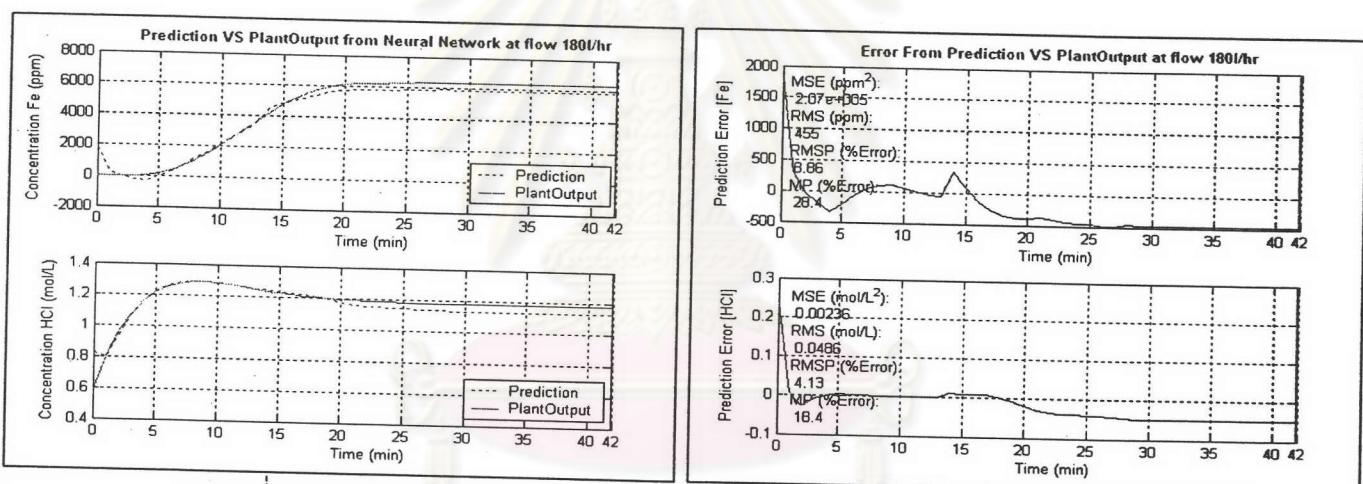
รูปที่ 4.46 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



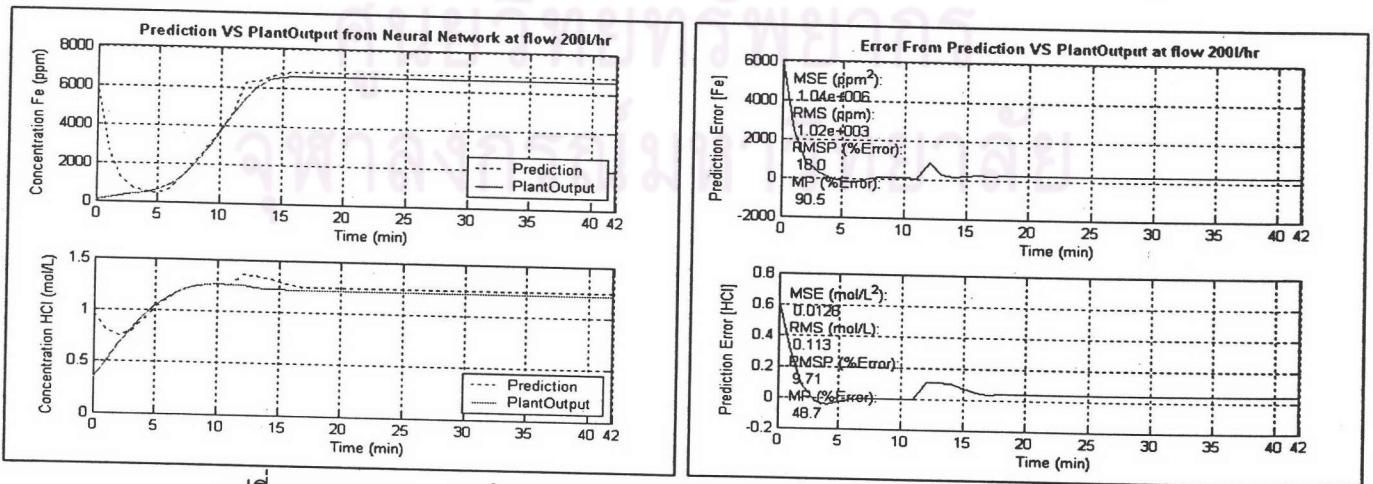
รูปที่ 4.47 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.48 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



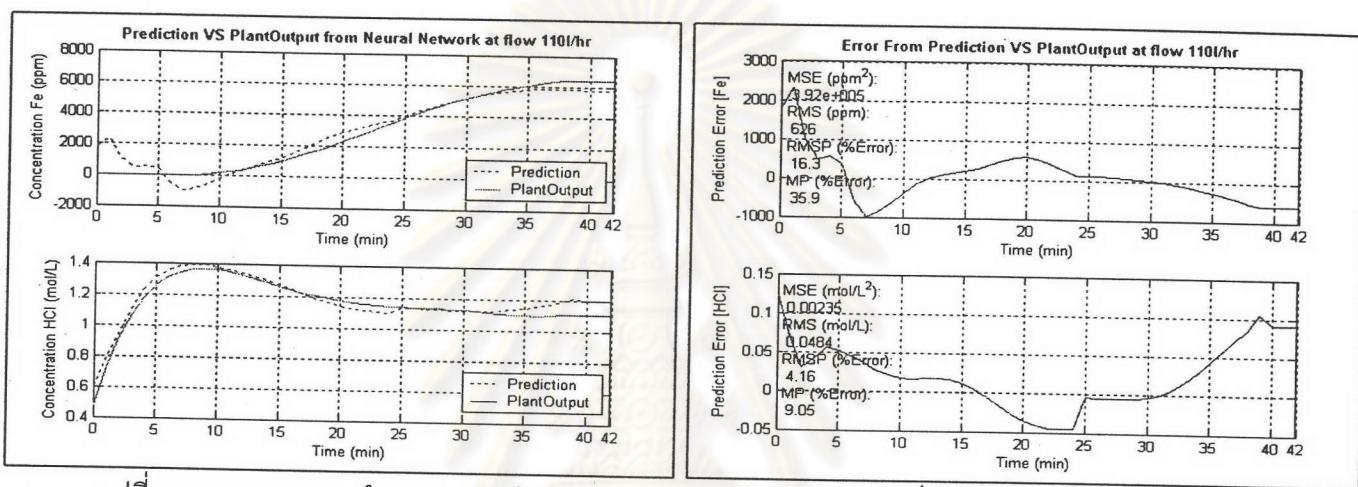
รูปที่ ข.49 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



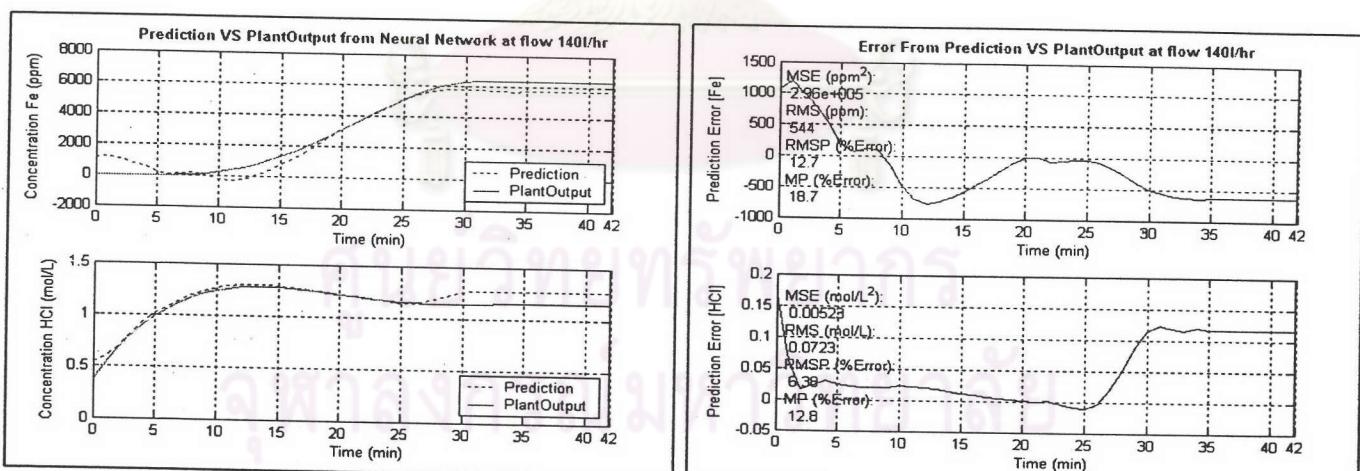
รูปที่ ข.50 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

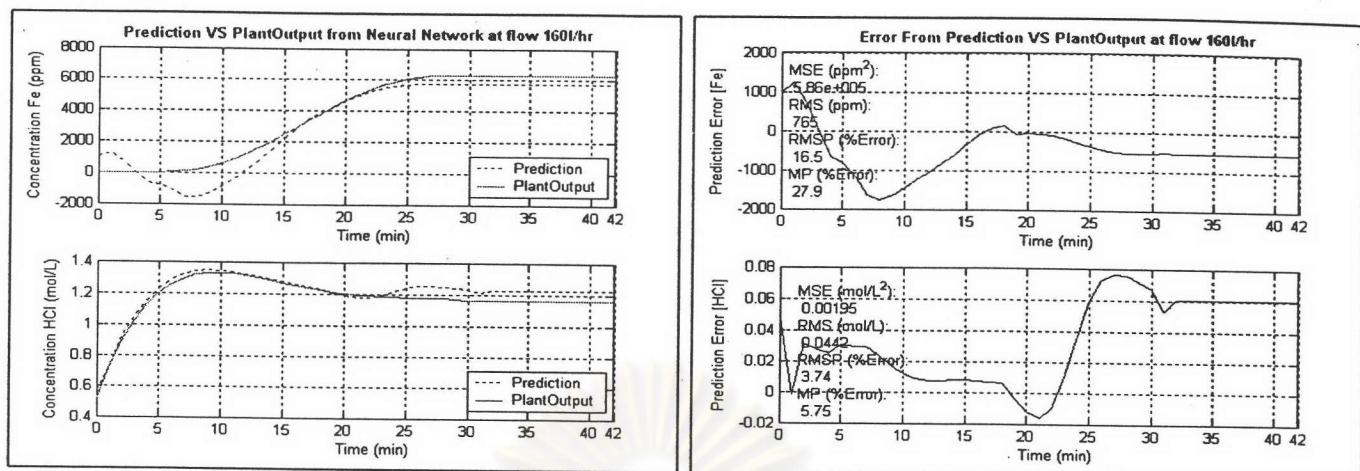
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 11 โนด ชั้นช่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-7-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 3 โนด ชั้นช่อนสอง 7 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



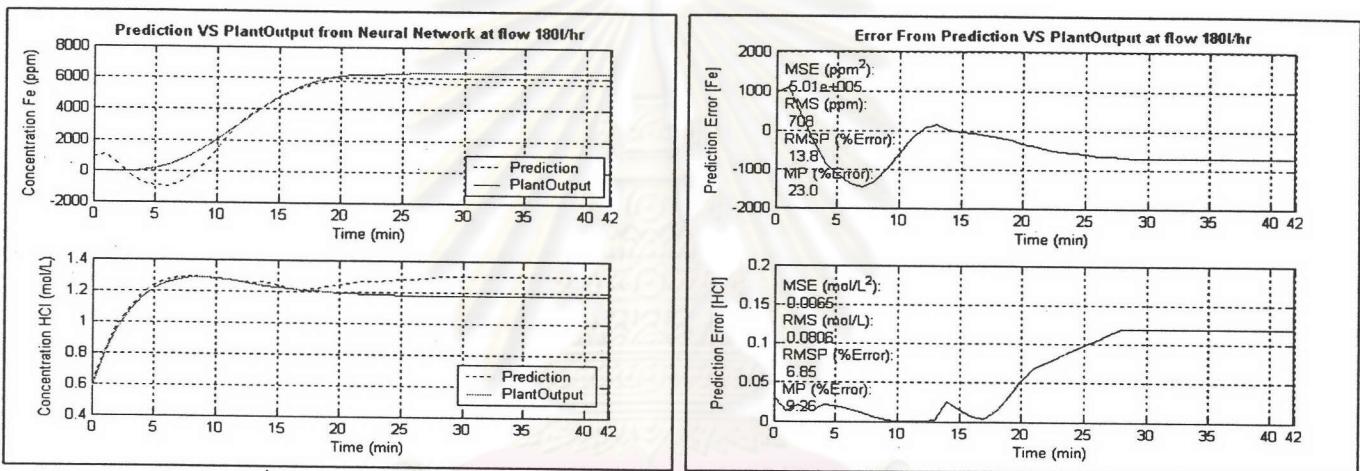
รูปที่ ๕.๑ แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



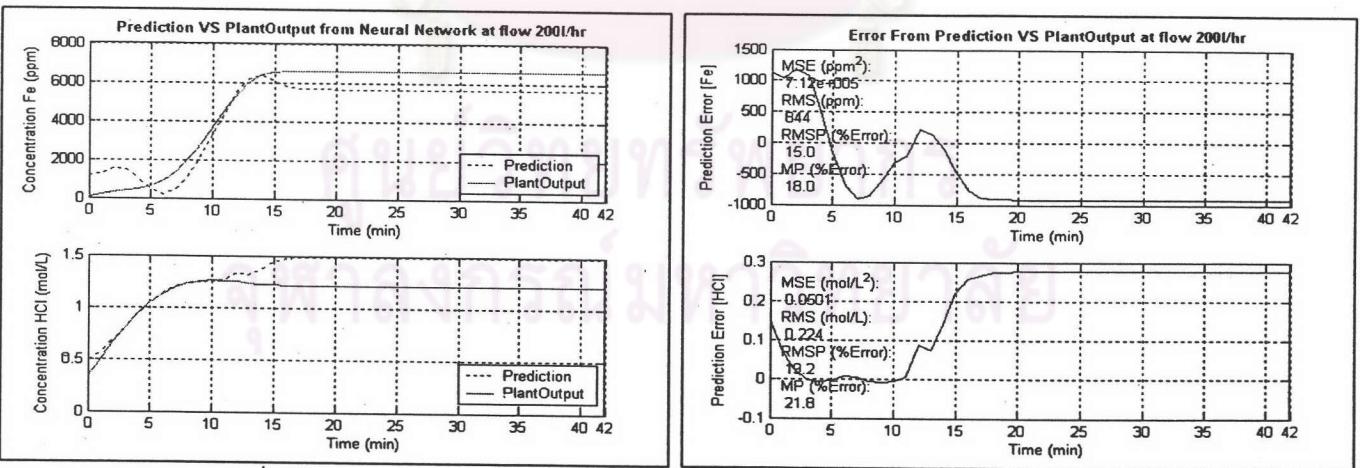
รูปที่ ๕.๒ แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๑.๕๓ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



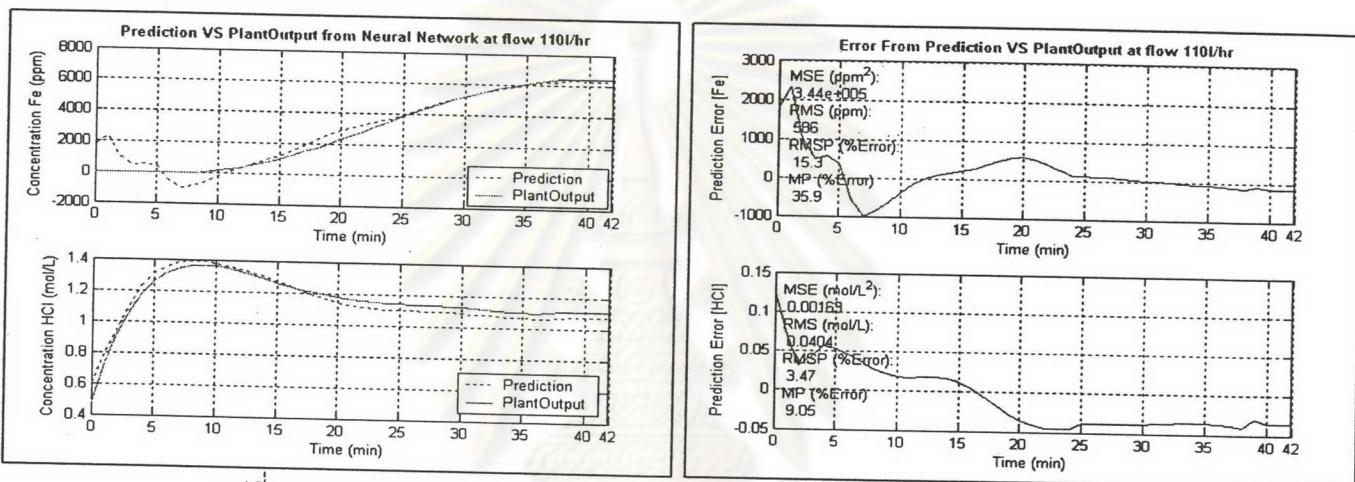
รูปที่ ๑.๕๔ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



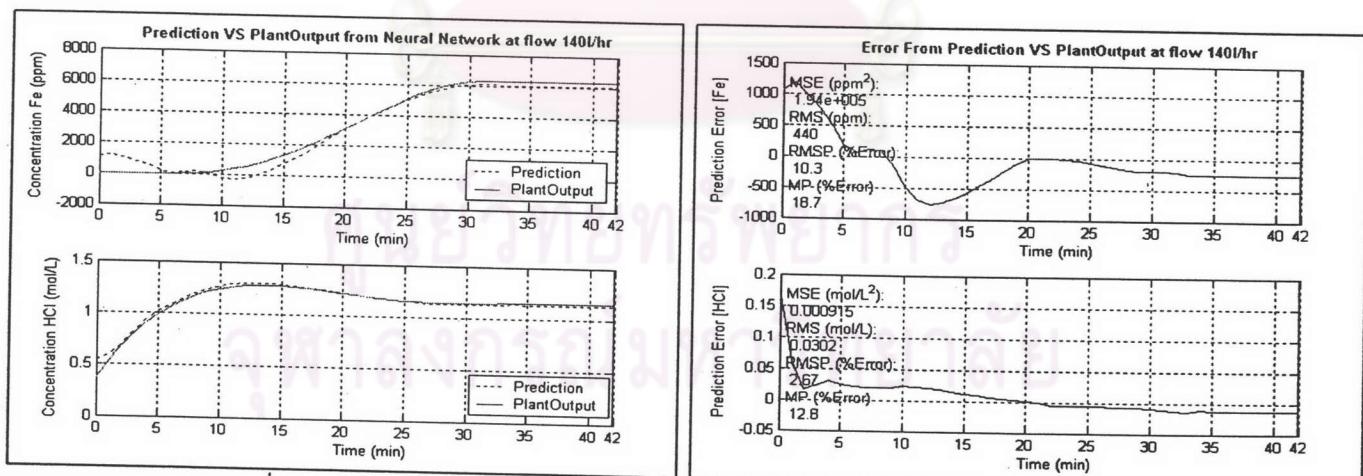
รูปที่ ๑.๕๕ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

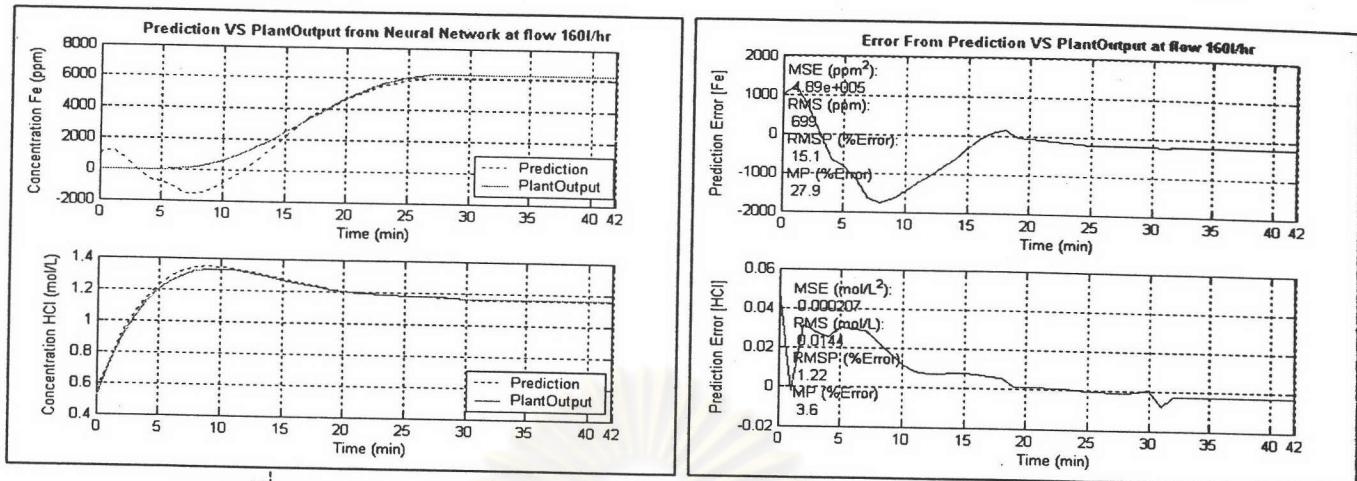
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั้นแรก 11 ในดัชนีชั้นสอง 13 ในดัชนี และเอาท์พุท 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั้นแรก 8 ในดัชนีชั้นสอง 9 ในดัชนี และเอาท์พุท 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



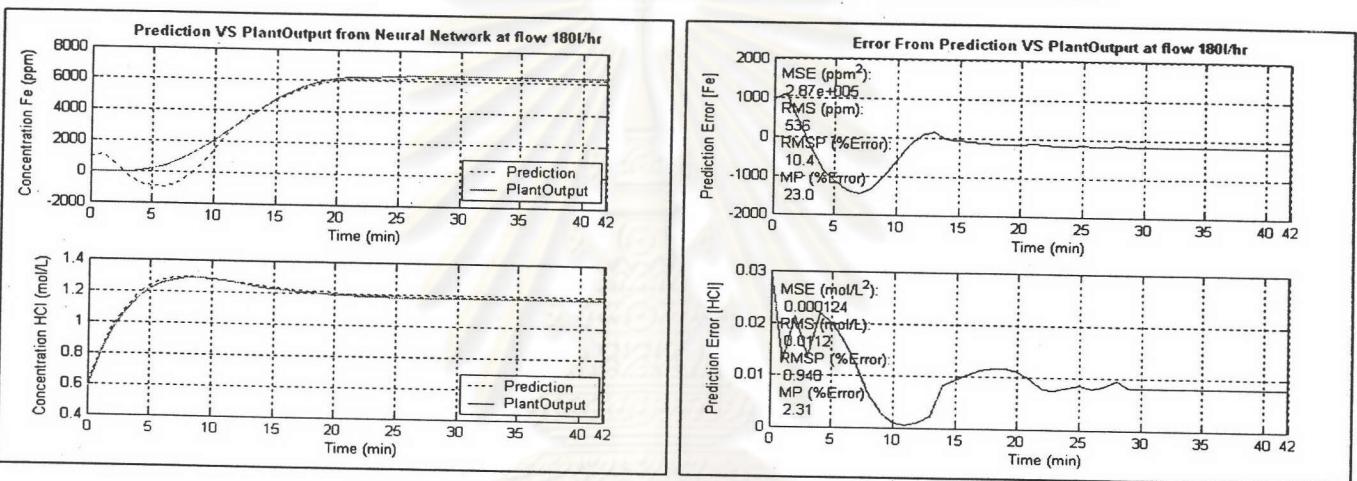
รูปที่ ๕.๕๖ แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



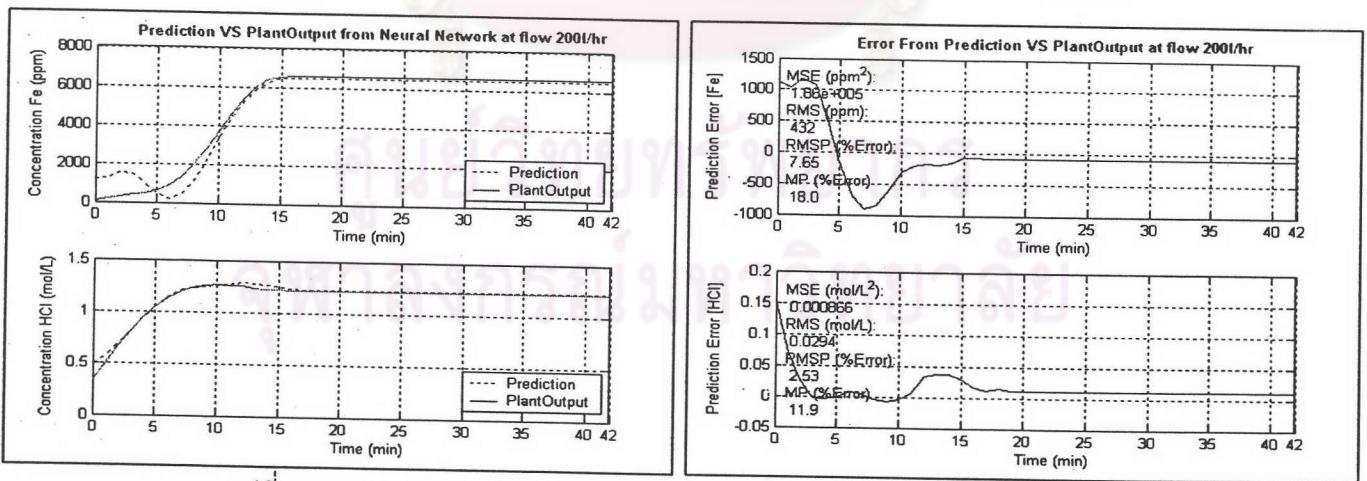
รูปที่ ๕.๕๗ แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๕.๕๘ แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



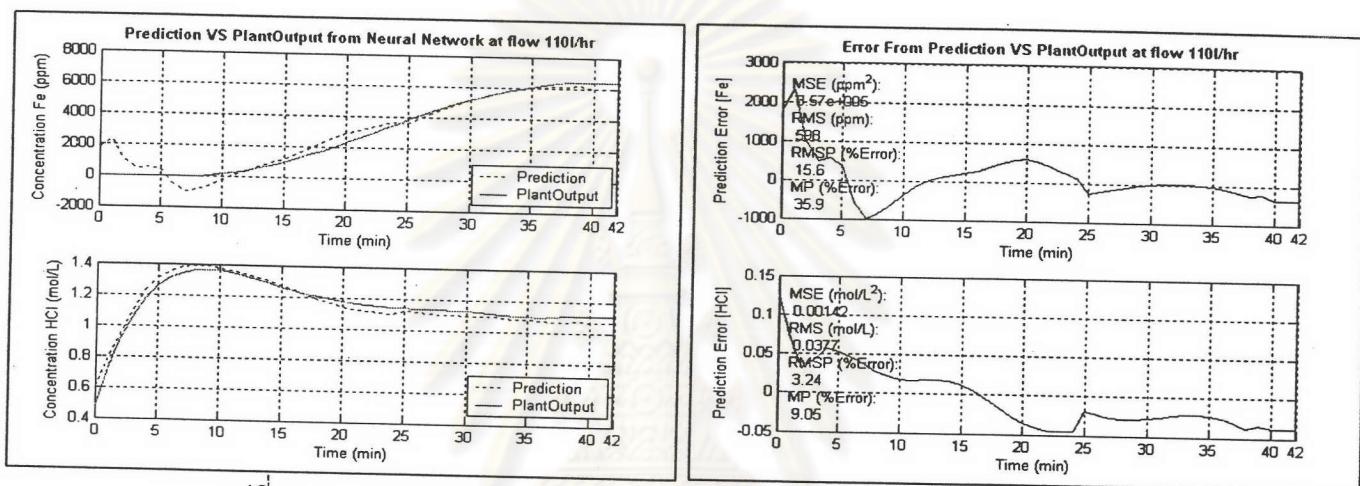
รูปที่ ๕.๕๙ แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



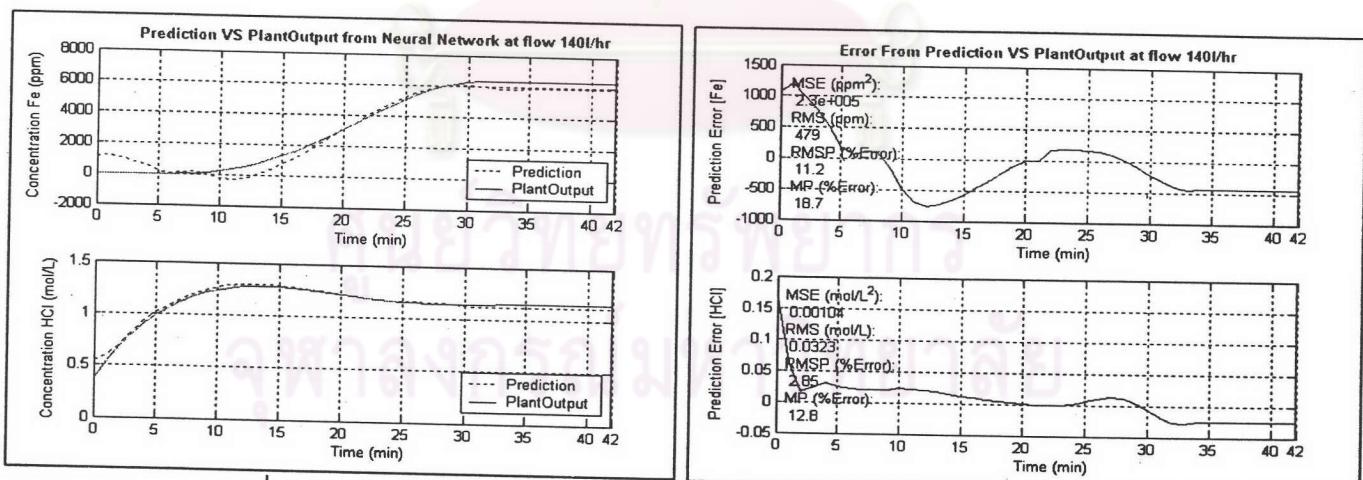
รูปที่ ๕.๖๐ แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

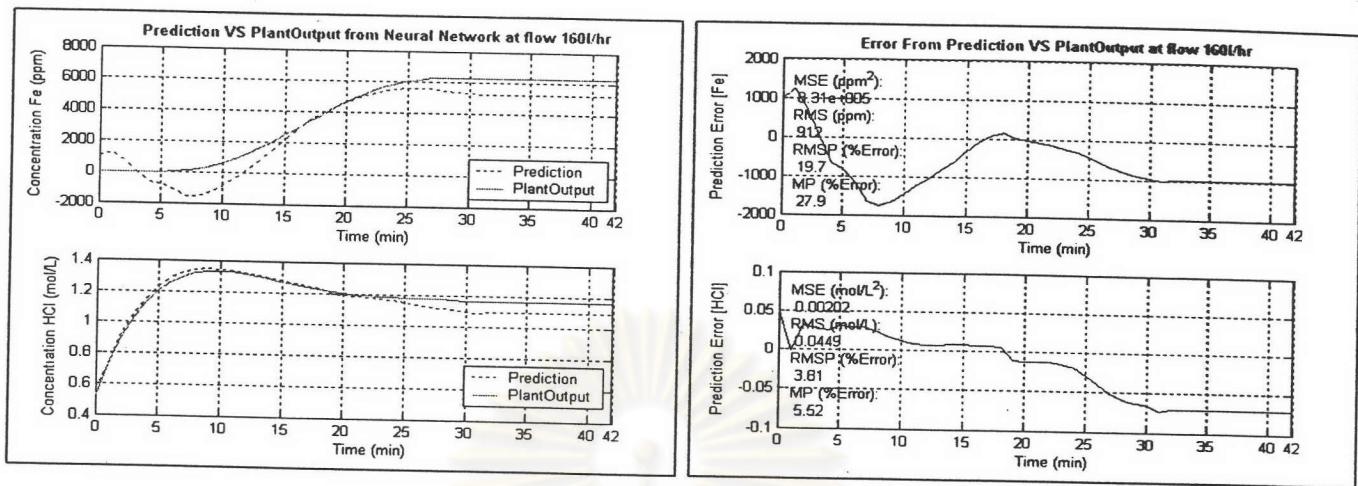
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอโอดินประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอโอดินเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มไอโอดินเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นซ่อนแรก 11 โนด ชั้นซ่อนสอง 9 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



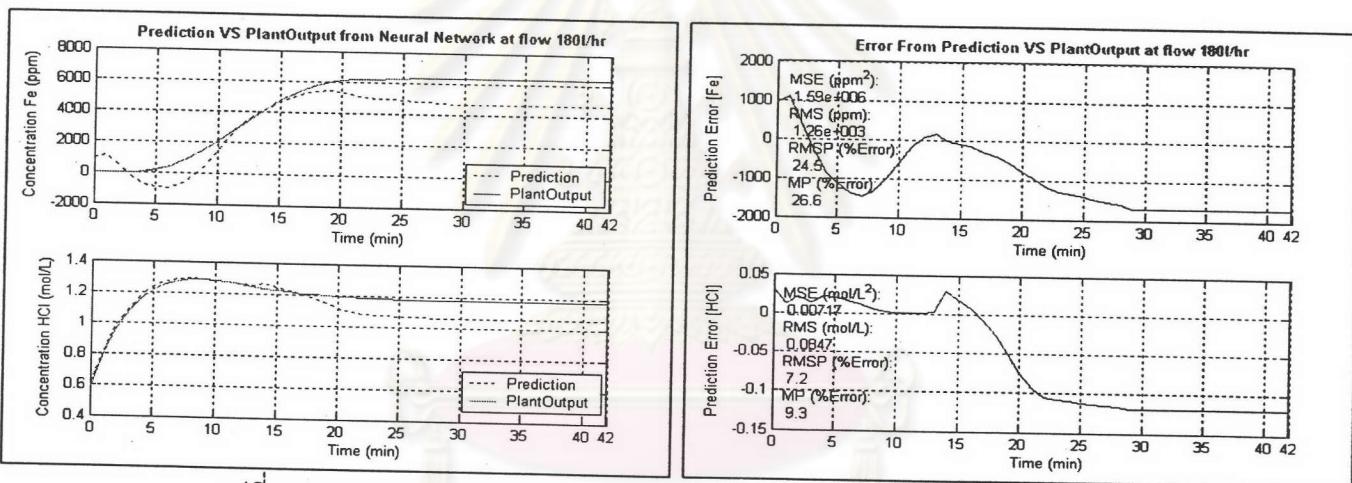
รูปที่ ข.61 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



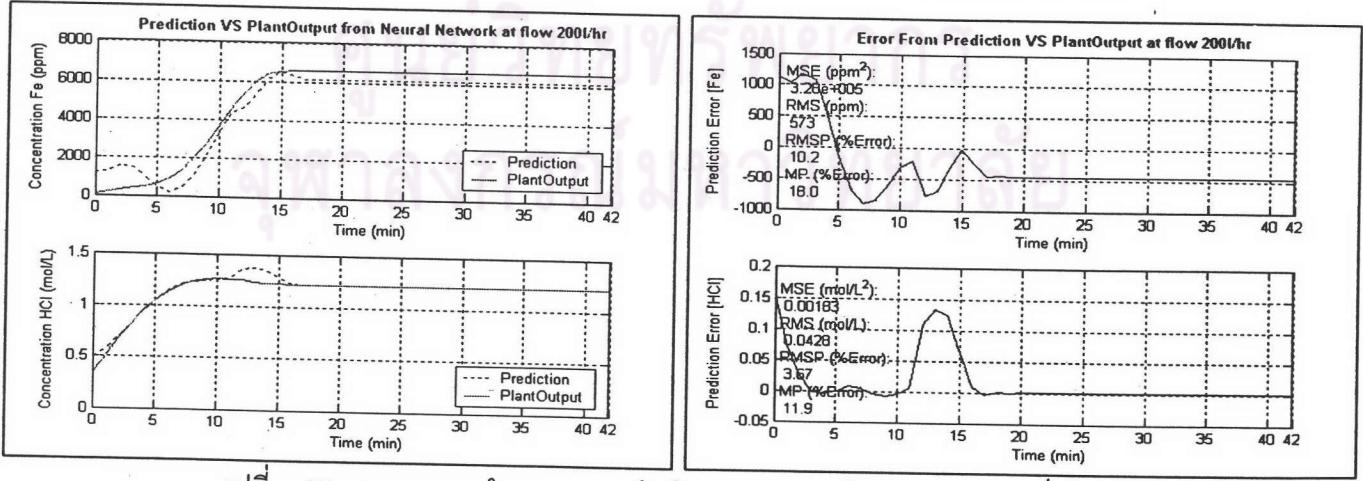
รูปที่ ข.62 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๖.๖๓ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



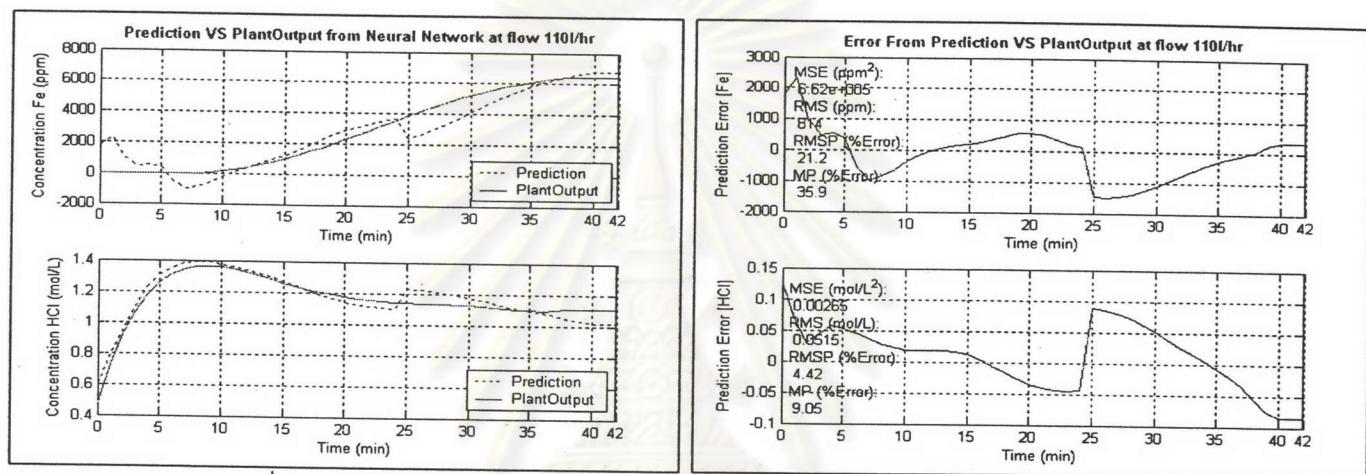
รูปที่ ๖.๔ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



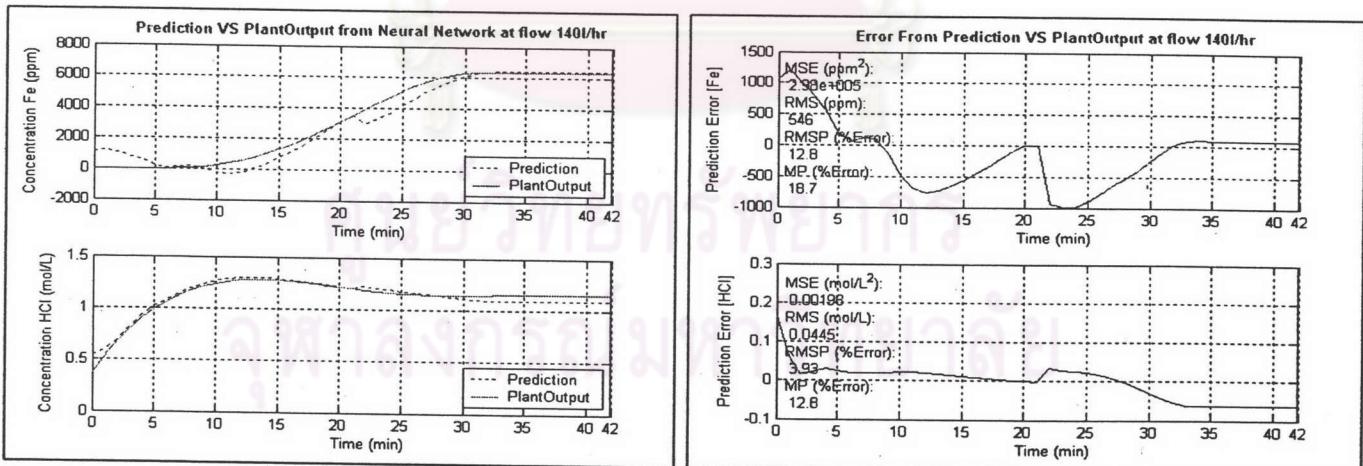
รูปที่ ๖.๕ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

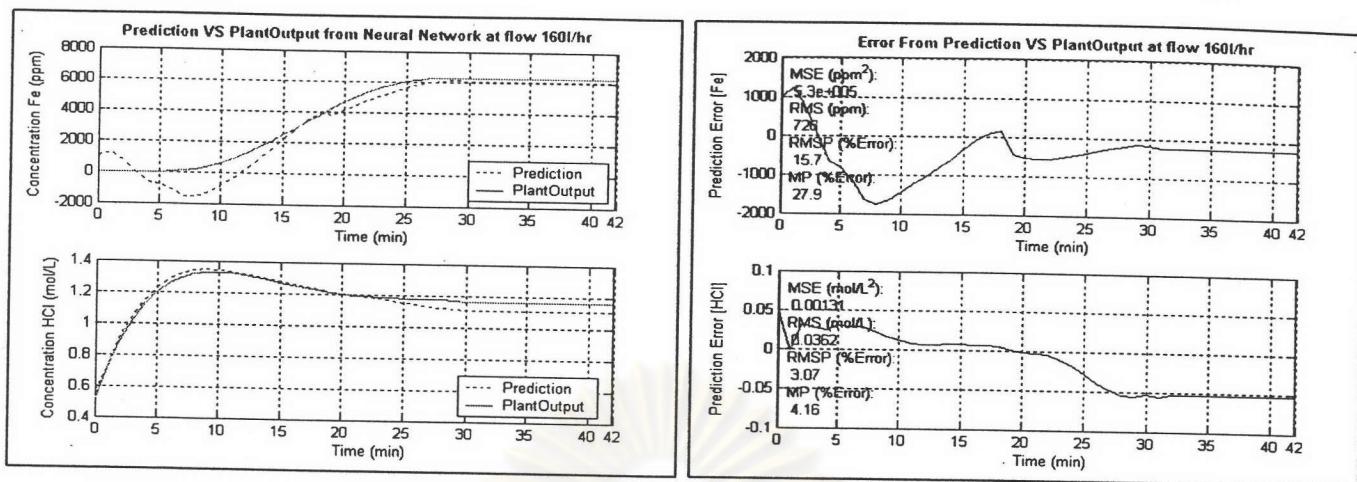
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-13-2] และถึงข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชื่อแรก 11 ในดัชนีชื่อนส่อง 13 ในดัชนีเอาท์พุท 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-13-2] และถึงข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชื่อแรก 13 ในดัชนีชื่อนส่อง 13 ในดัชนีเอาท์พุท 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



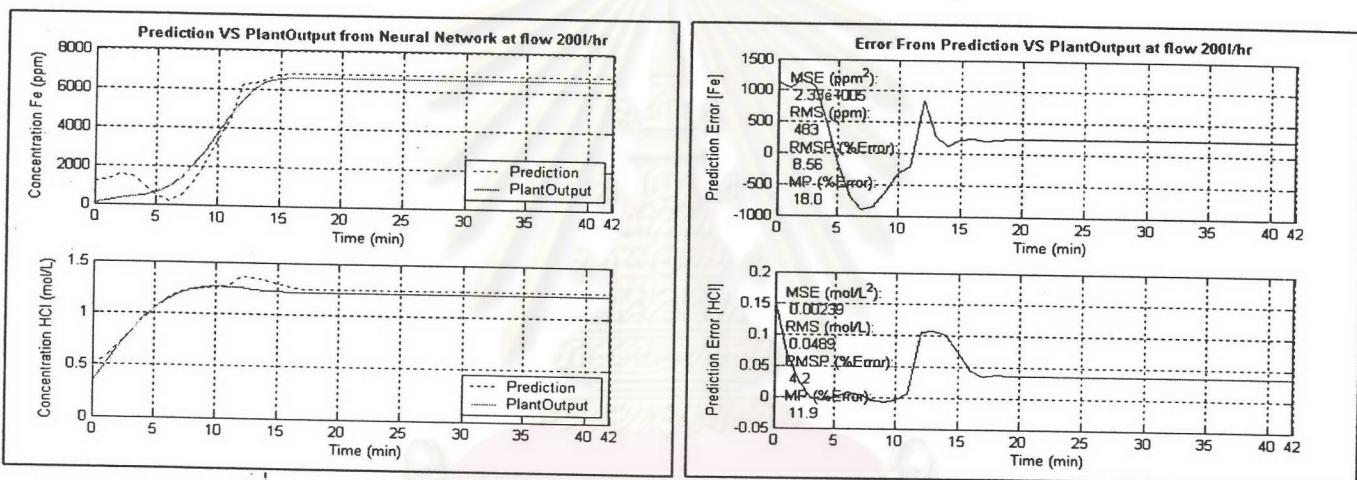
รูปที่ ข.66 แสดงผลการทำงานทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



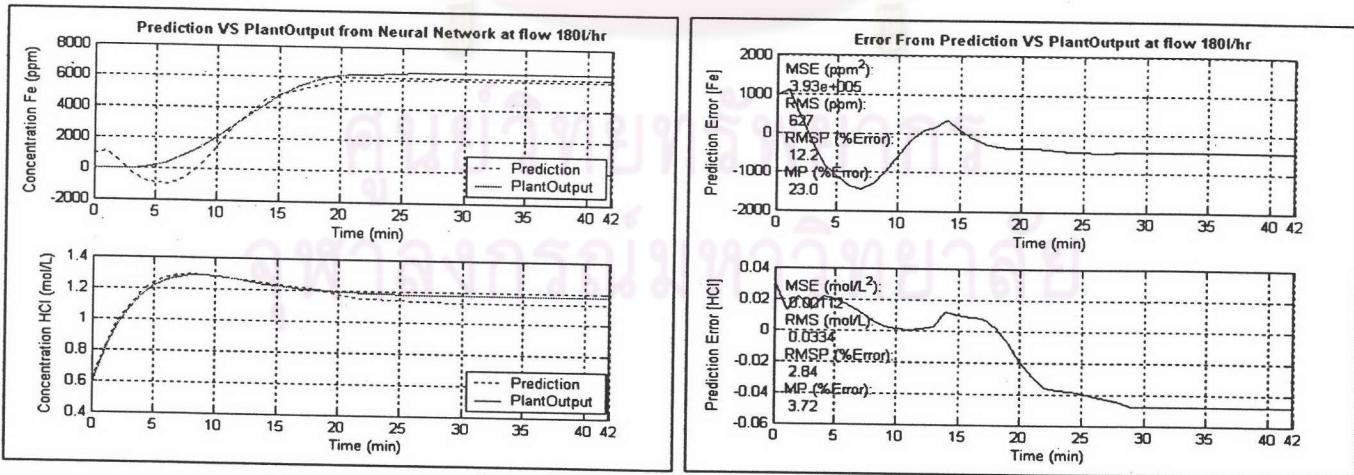
รูปที่ ข.67 แสดงผลการทำงานทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.68 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



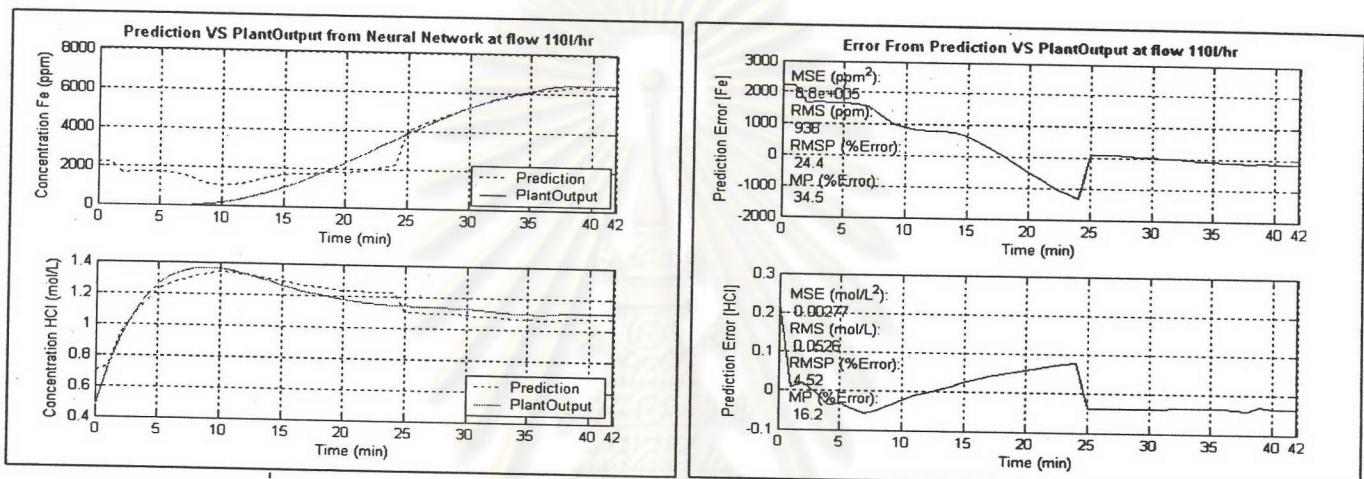
รูปที่ ข.69 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



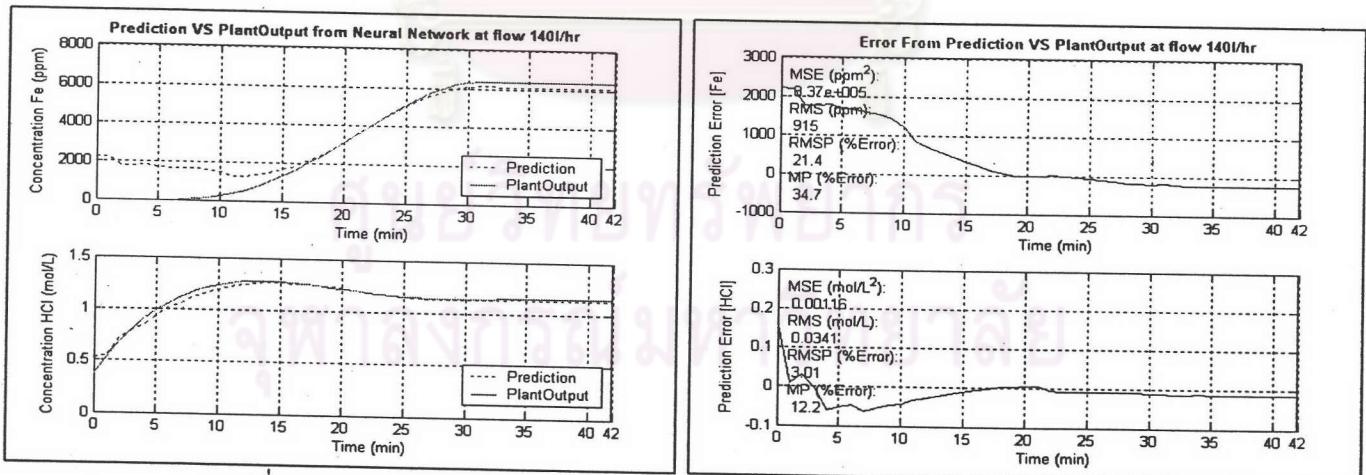
รูปที่ ข.70 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

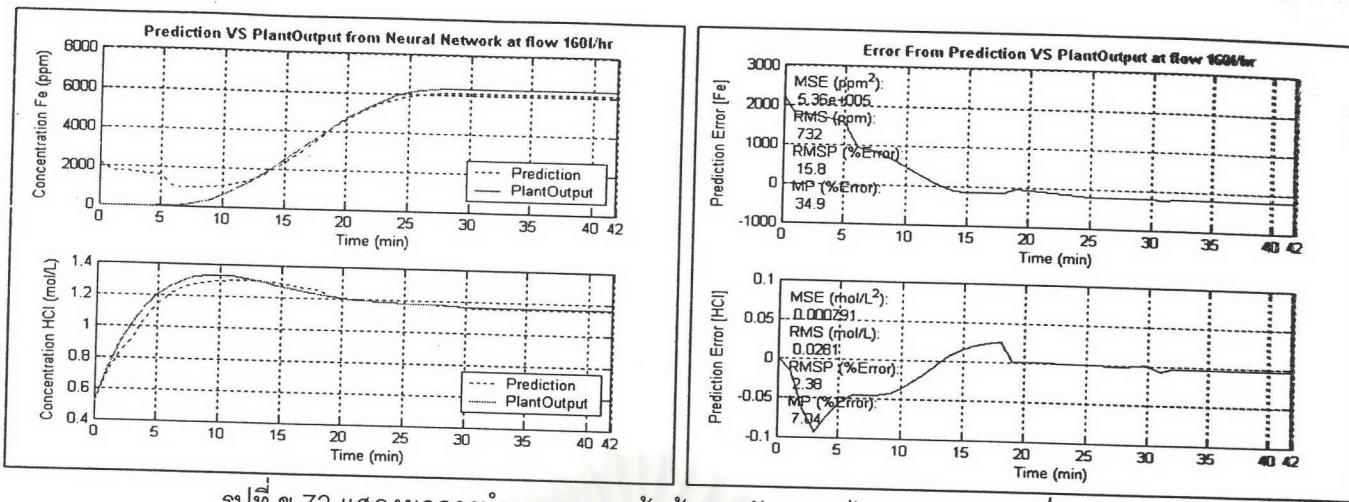
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอโอดินประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอโอดินเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-8-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 13 โนด ชั้นช่อนสอง 8 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มไอโอดินเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-3-7-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 3 โนด ชั้นช่อนสอง 7 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



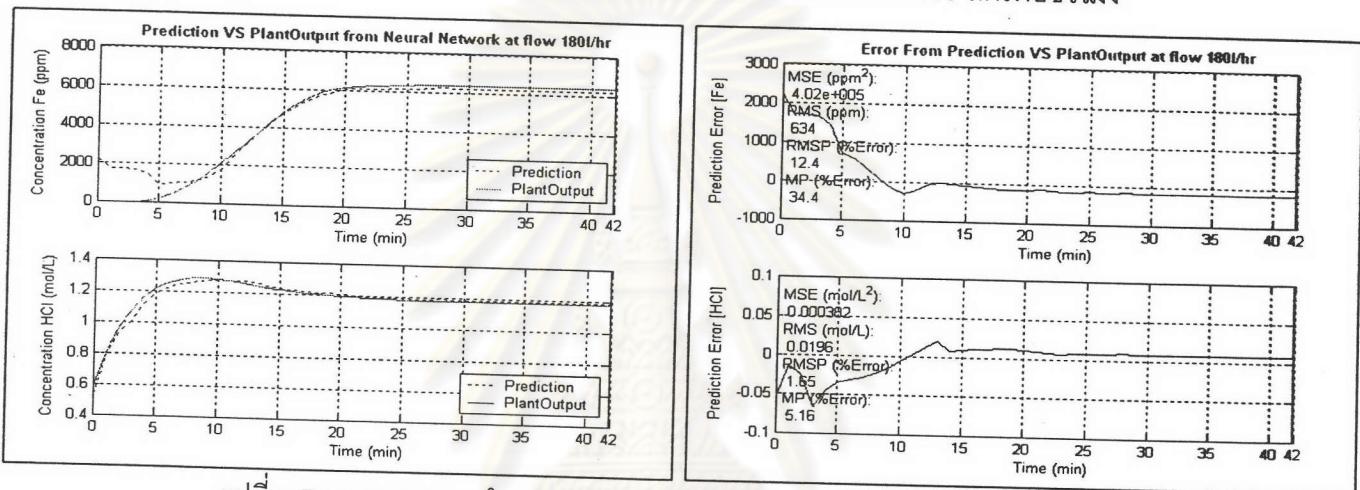
รูปที่ ข.71 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



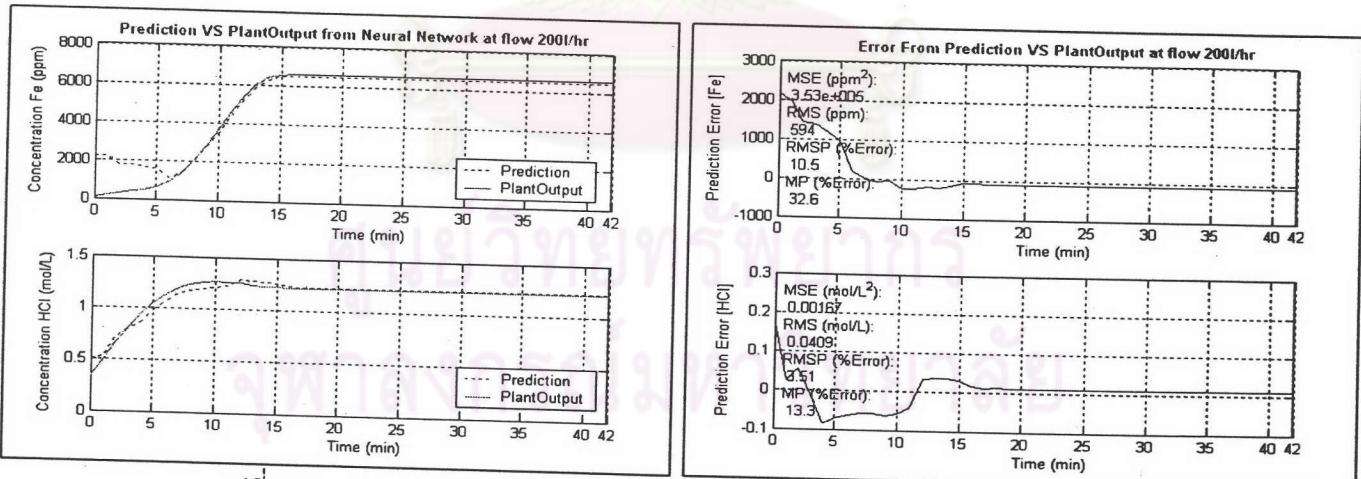
รูปที่ ข.72 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.73 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



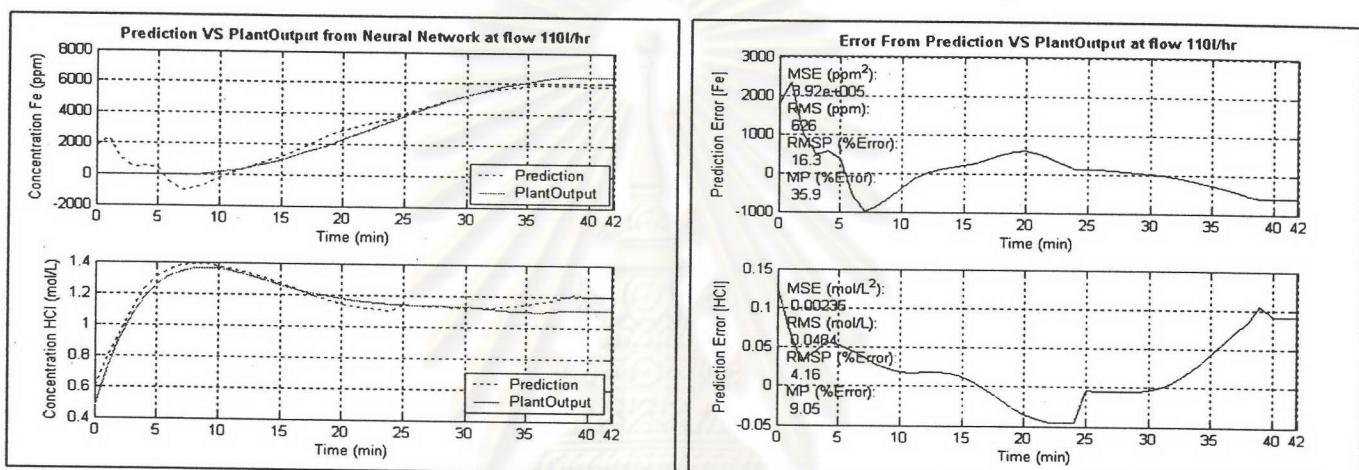
รูปที่ ข.74 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



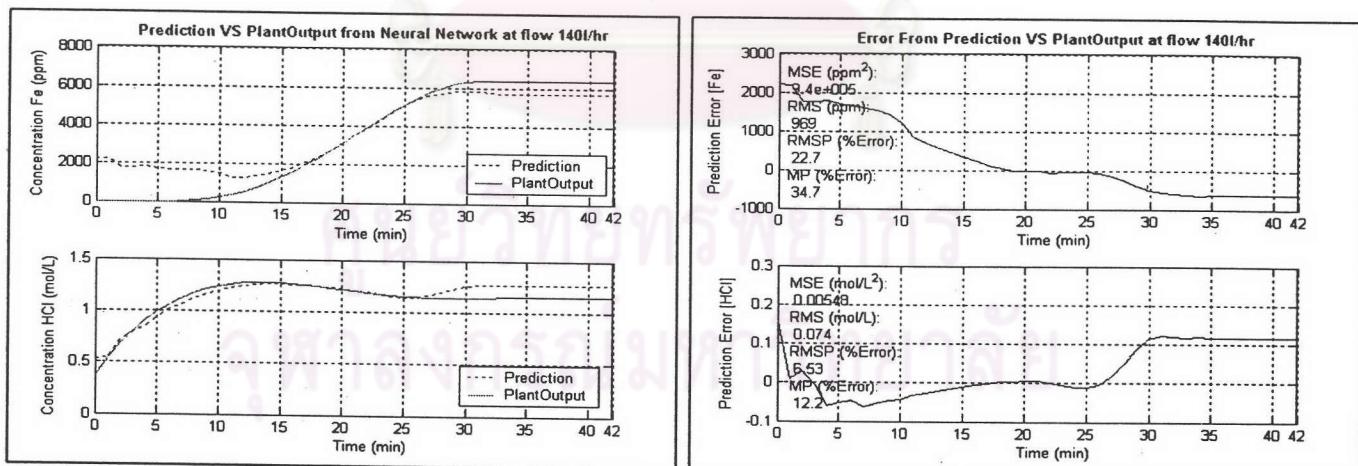
รูปที่ ข.75 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

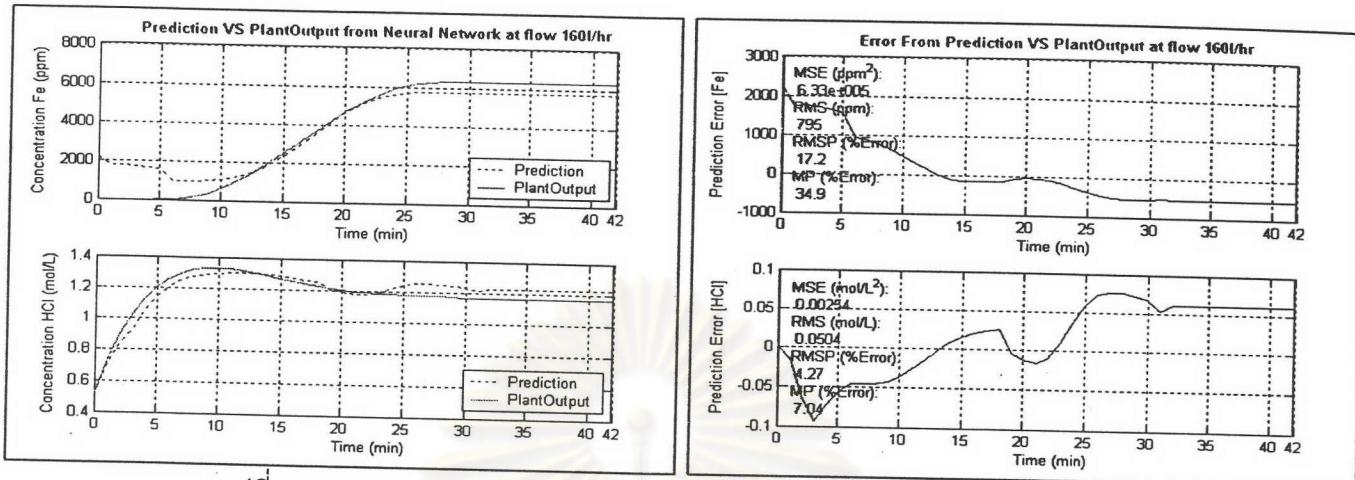
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-8-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่นแรก 13 ในดัชนีชั่นสอง 8 ในดัชนีเอ้าท์พุท 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-8-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่นแรก 8 ในดัชนีชั่นสอง 9 ในดัชนีเอ้าท์พุท 2 ในดัชนีซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



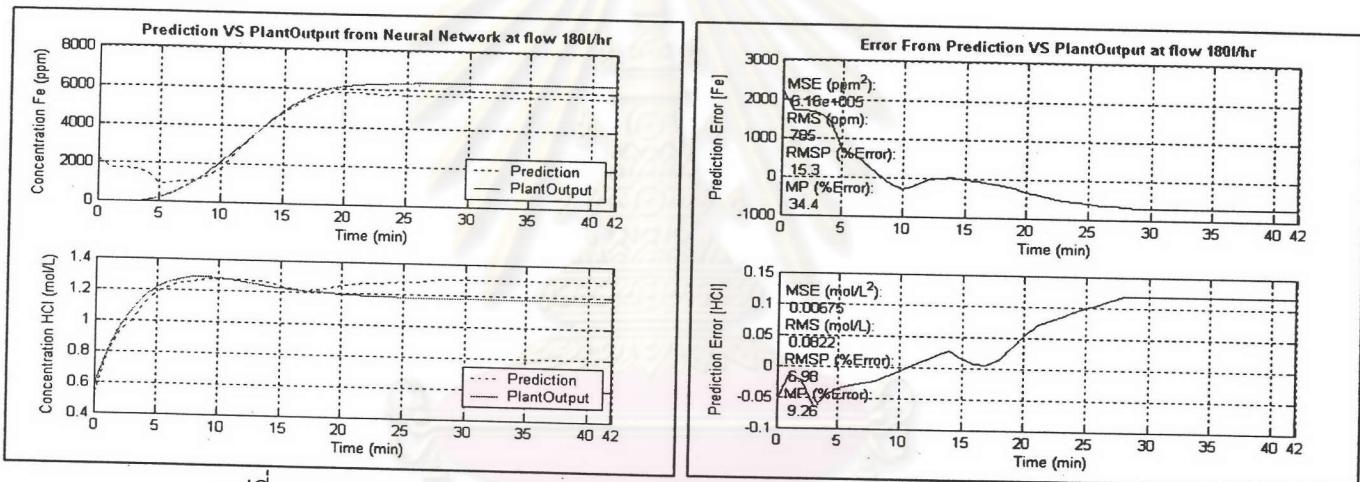
รูปที่ ข.76 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



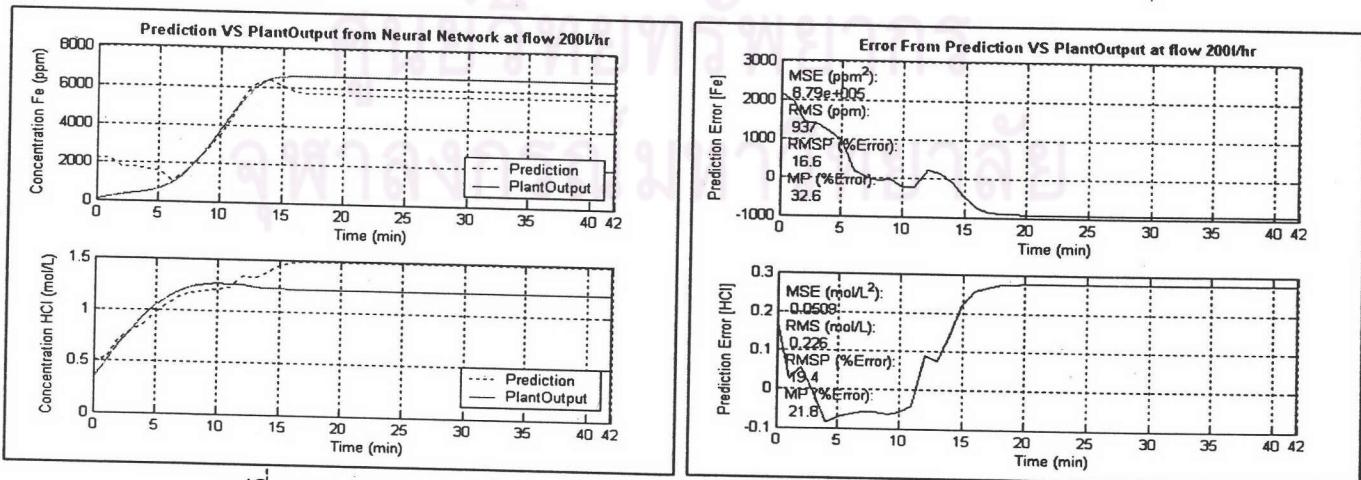
รูปที่ ข.77 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๗.๗๘ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



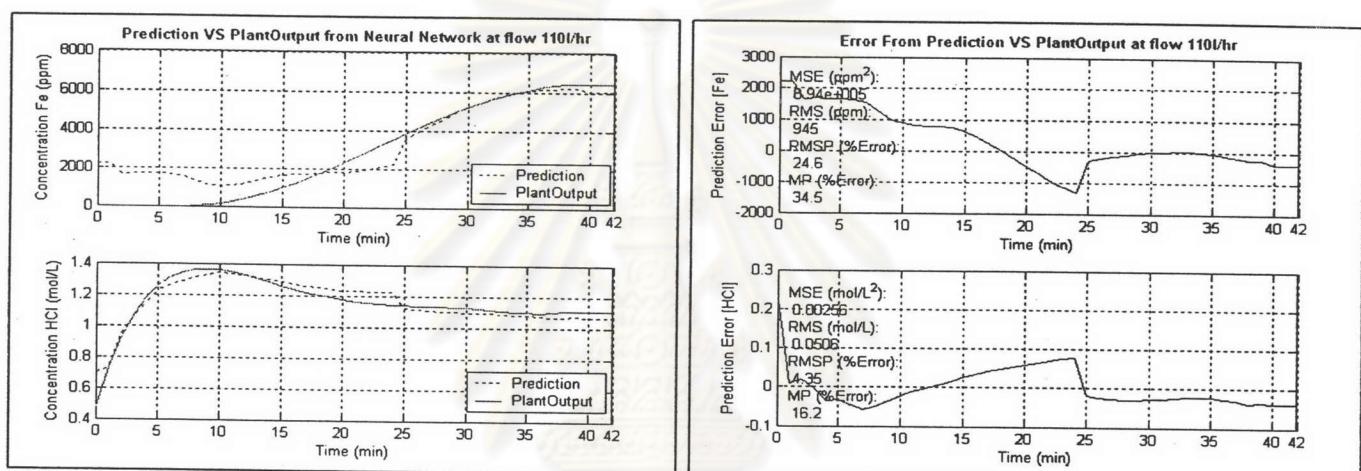
รูปที่ ๗.๗๙ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



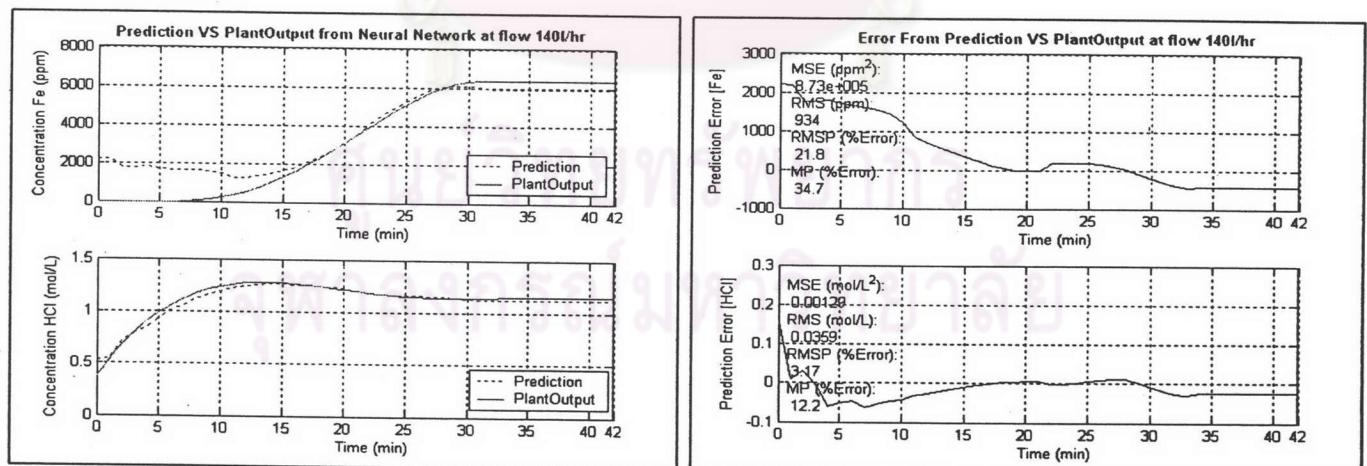
รูปที่ ๗.๘๐ แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

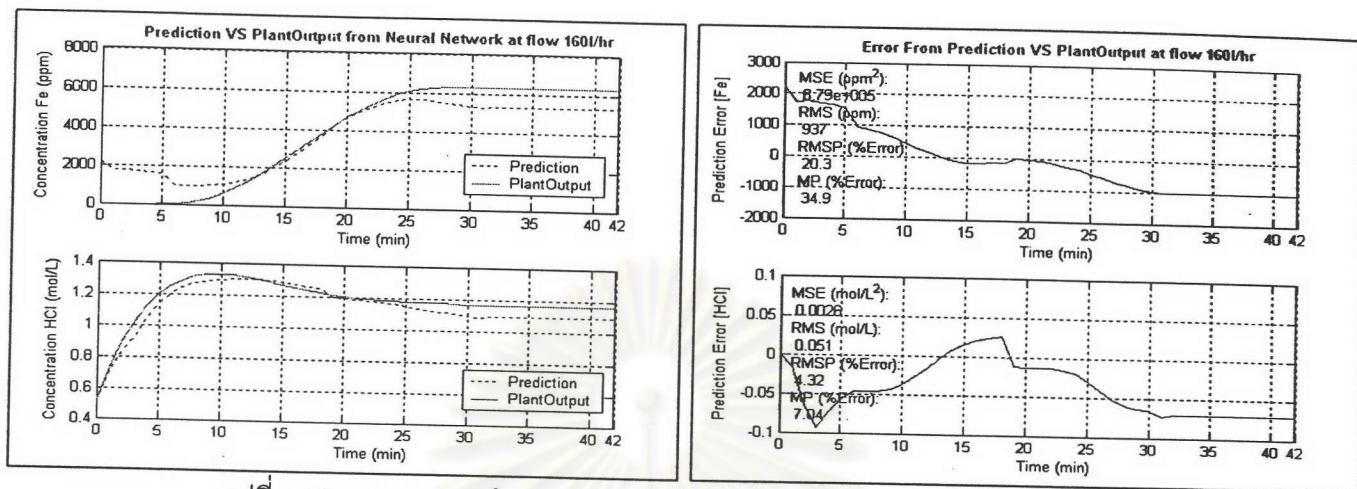
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-8-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุต 5 ในดัชนีชั่นแรก 13 ในดัชนีชั่นสอง 8 ในดัชนีเอ้าท์พุต 2 ในดัชนี 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-11-9-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุต 5 ในดัชนีชั่นแรก 11 ในดัชนีชั่นสอง 9 ในดัชนีเอ้าท์พุต 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



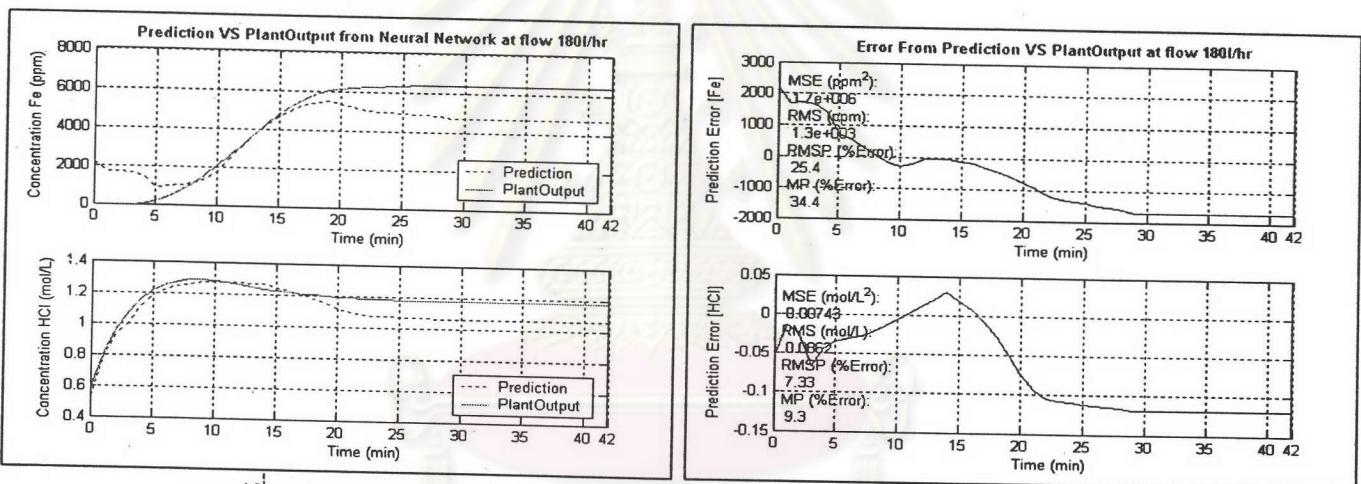
รูปที่ ข.81 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



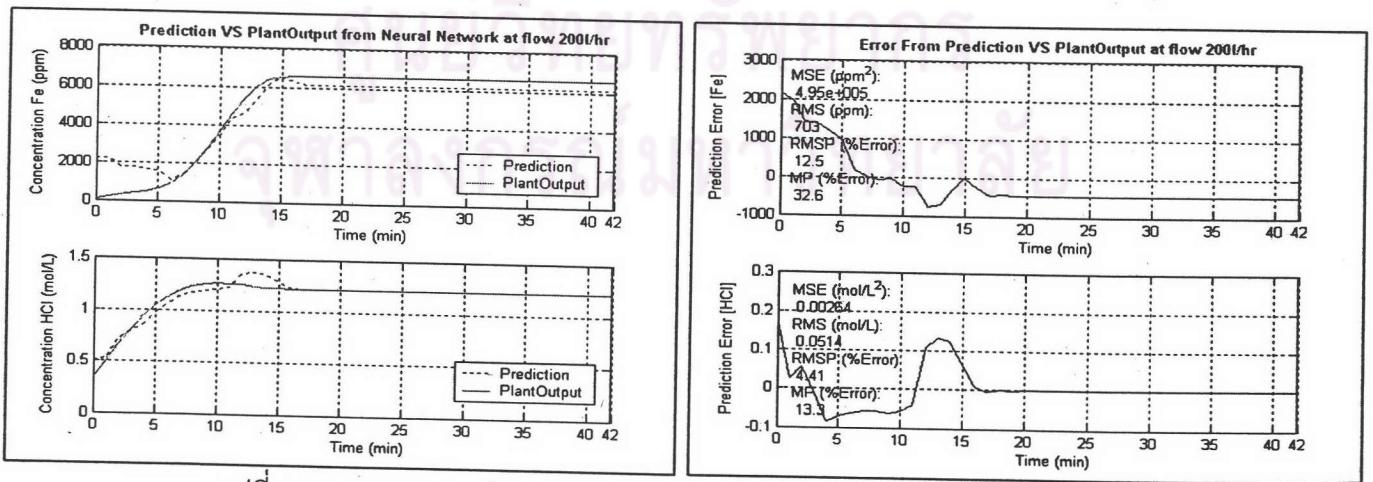
รูปที่ ข.82 แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.83 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



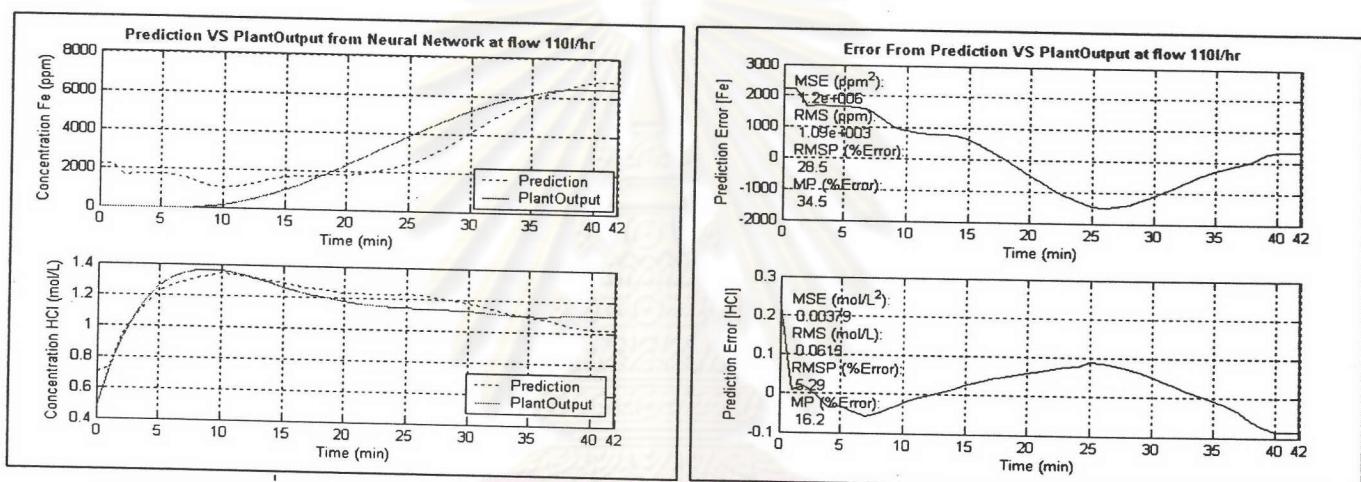
รูปที่ ข.84 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



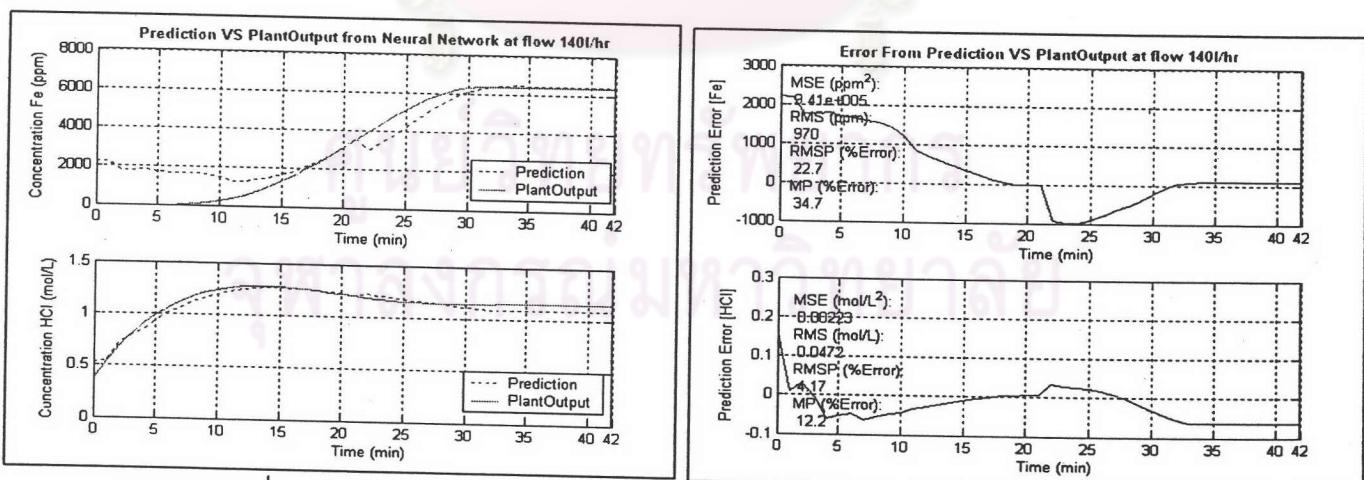
รูปที่ ข.85 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

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

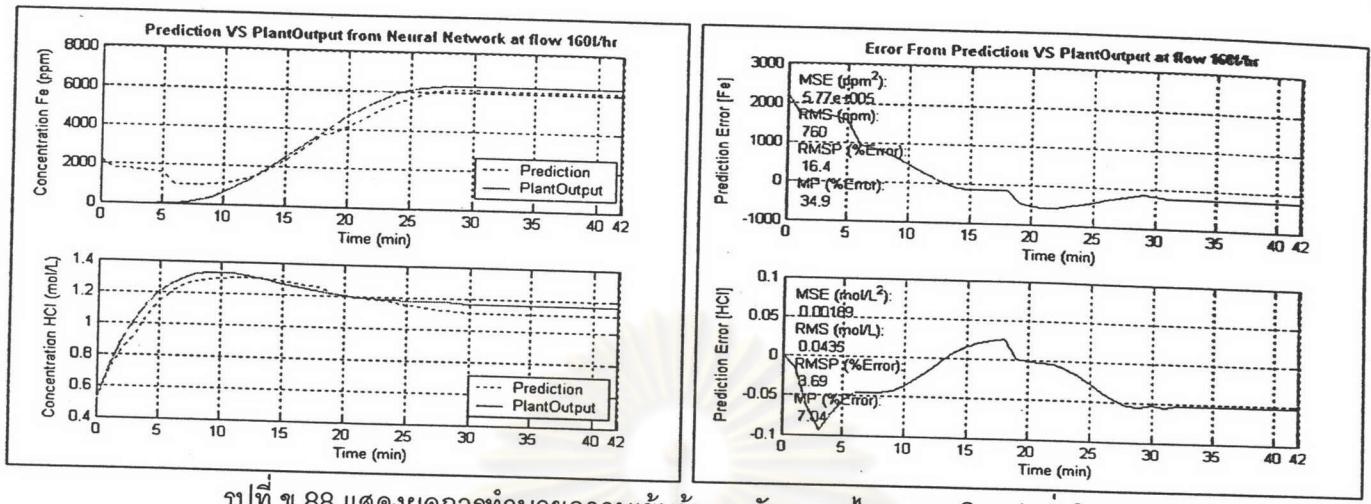
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง 1. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 1 (0-3000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-8-2] และแสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 13 โนด ชั้นช่อนสอง 8 โนด และเอาท์พุท 2 โนด 2. ช่วงความเข้มไอออนเหล็กที่ 2 (3000-6000 ppm) จะใช้ข่ายงาน [5-13-13-2] และแสดงถึง ข่ายงานที่อินพุท 5 โนด ชั้นช่อนแรก 13 โนด ชั้นช่อนสอง 13 โนด และเอาท์พุท 2 โนด ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้



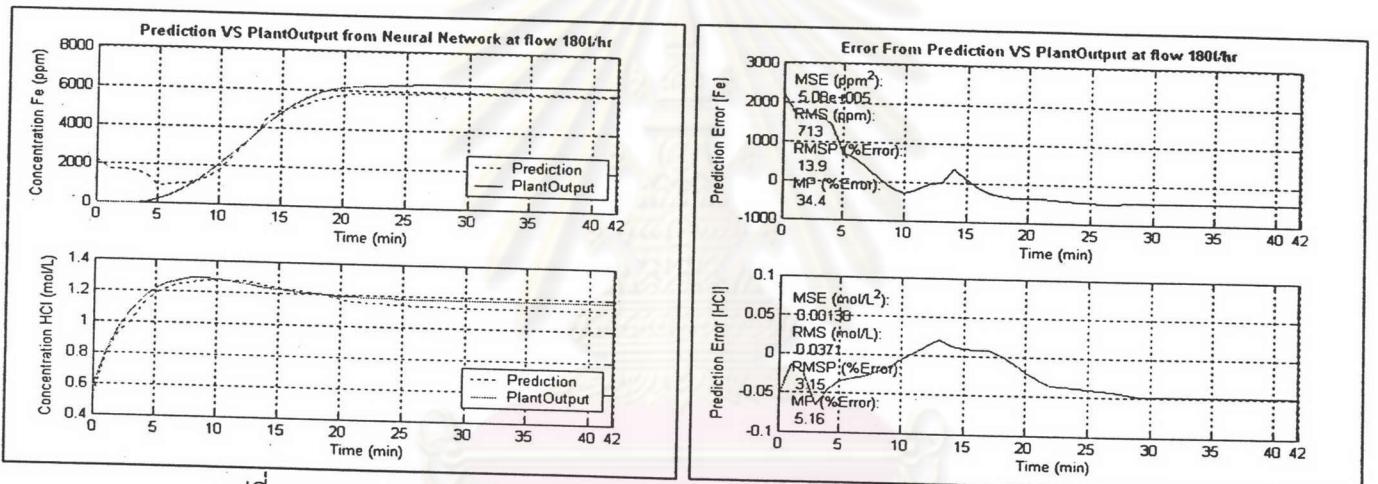
รูปที่ ๘.๘๖ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



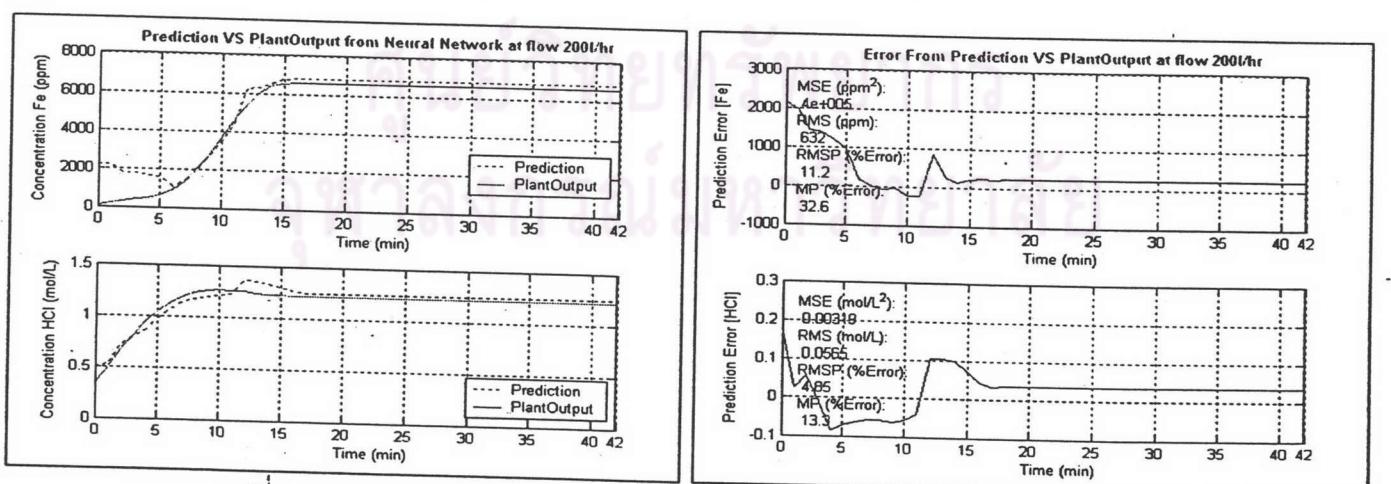
รูปที่ ๘.๘๗ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๘.๘๘ แสดงผลการทํานายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



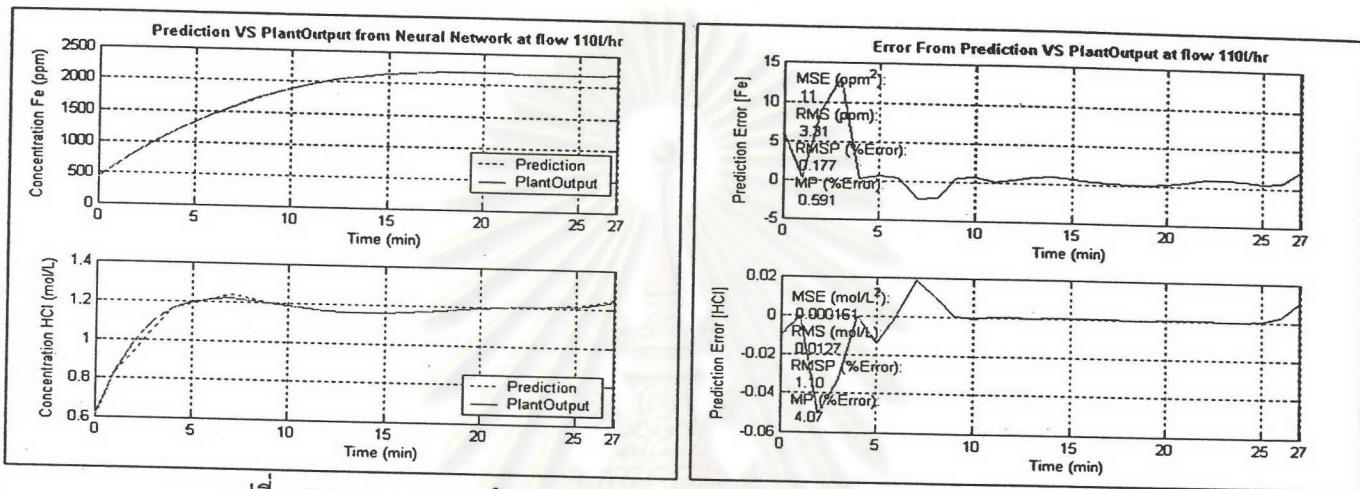
รูปที่ ๘.๙๙ แสดงผลการทํานายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



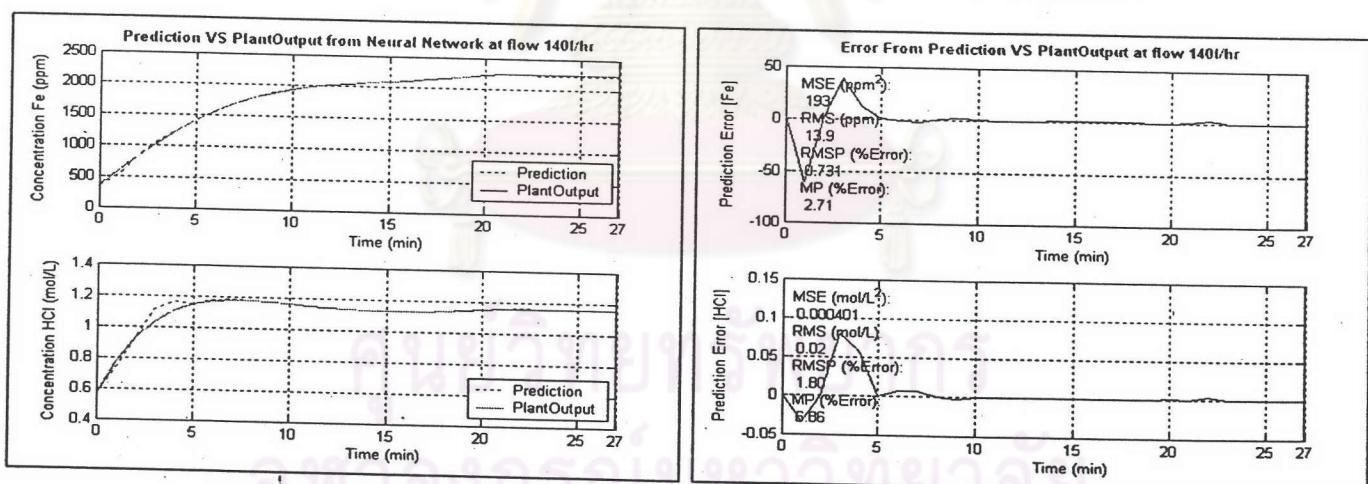
รูปที่ ๘.๙๐ แสดงผลการทํานายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

### แบบจำลองที่ 7-1 [5-3-11-2]

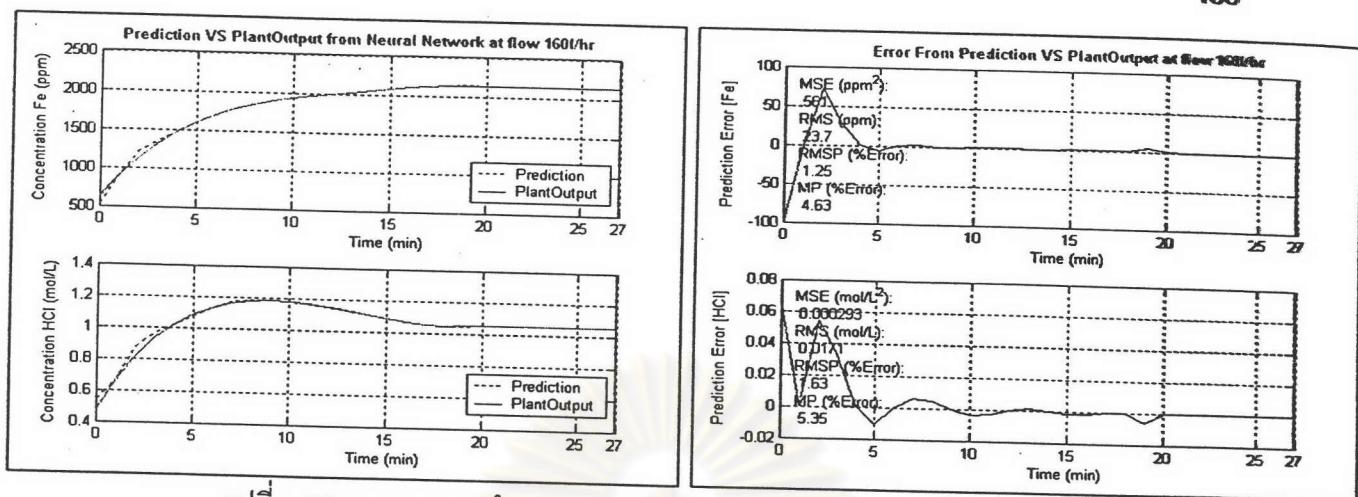
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ จะใช้ข่ายงาน [5-3-11-2] แสดงถึง ข่ายงาน ที่อินพุท 5 ในด ขั้นตอนแรก 3 ในด ขั้นตอนสอง 11 ในด และเข้าที่พุท 2 ในด ซึ่งแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



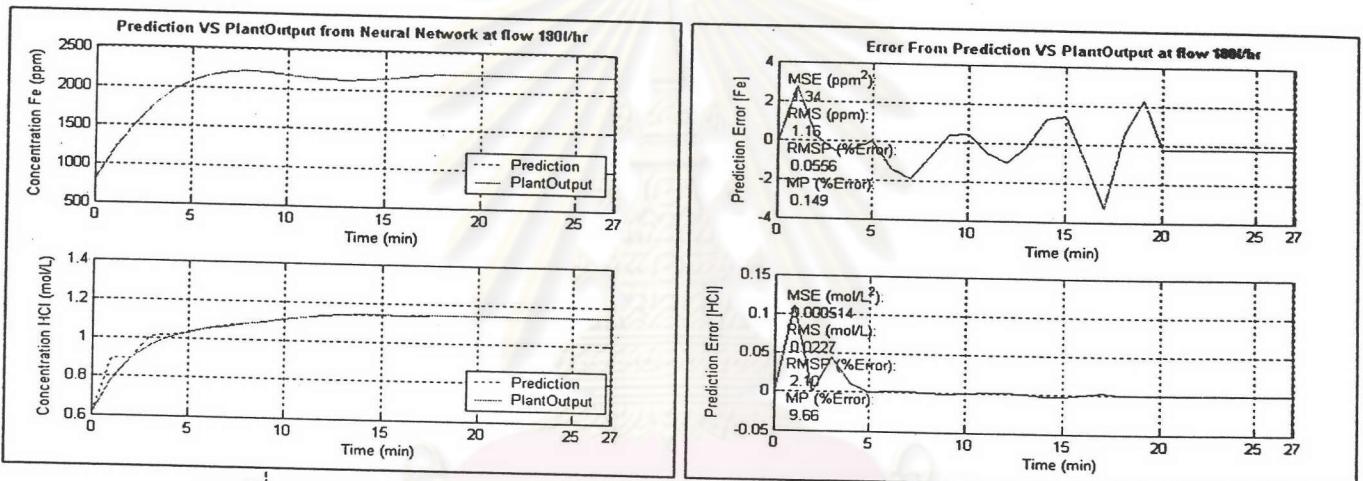
รูปที่ ๗.๙๑ แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



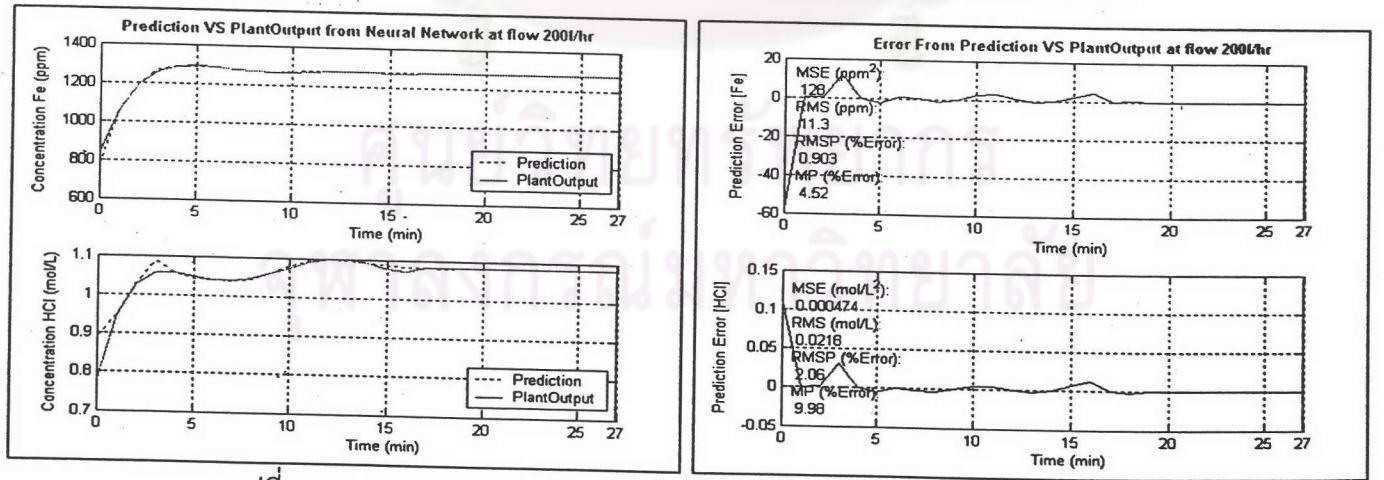
รูปที่ ๗.๙๒ แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๙.๙๓ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



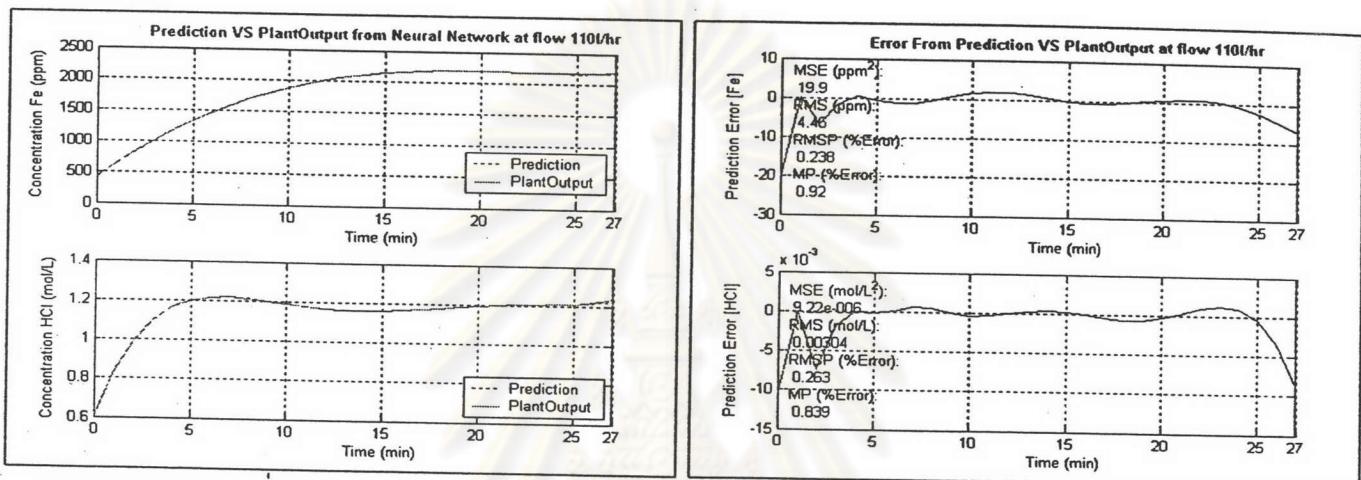
รูปที่ ๙.๙๔ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



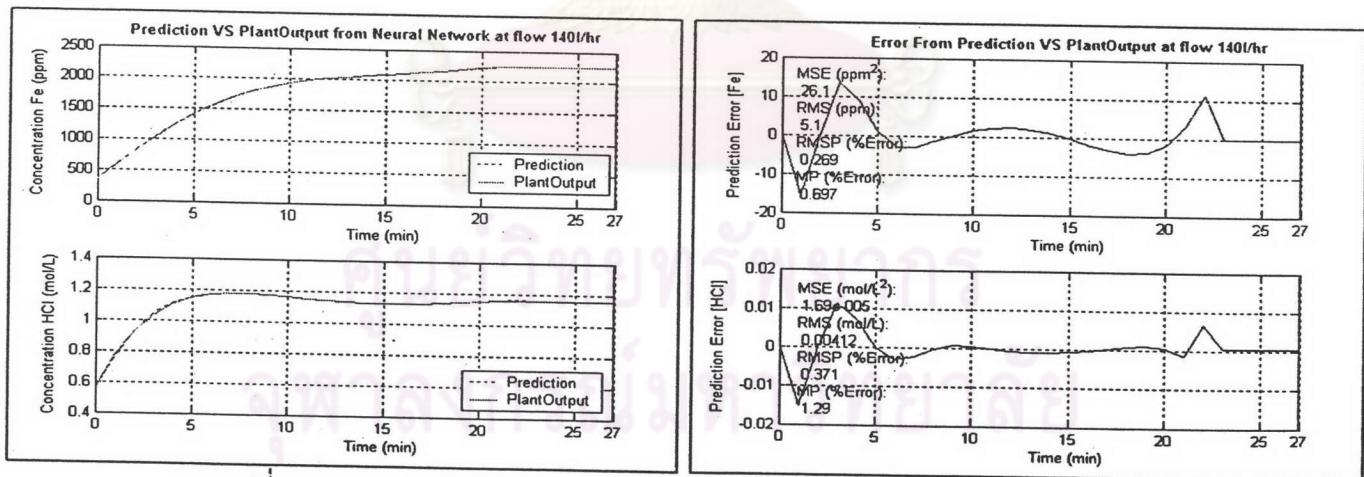
รูปที่ ๙.๙๕ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 7-2 [5-8-7-2]

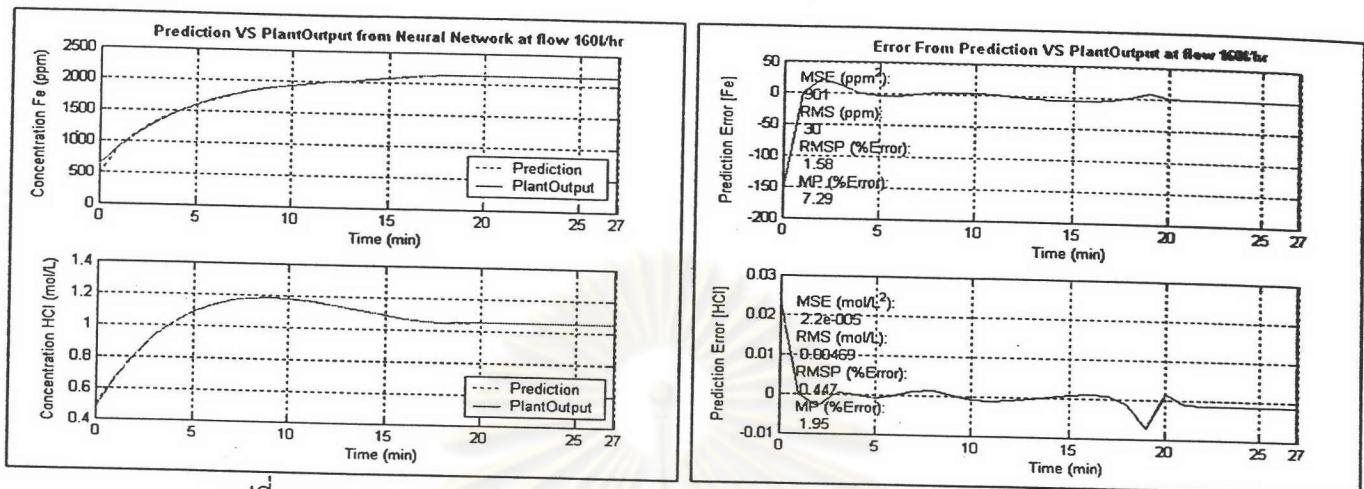
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอโอนประจุลบ จะใช้ข่ายงาน [5-3-11-2] แสดงถึง ข่ายงาน ที่อินพุท 5 ในดัชนีชั่นช่องแรก 8 ในดัชนีชั่นช่องสอง 7 ในดัชนีชั่น และเอาท์พุท 2 ในดัชนีชั่นแสดงผลการทำงานได้ดังนี้



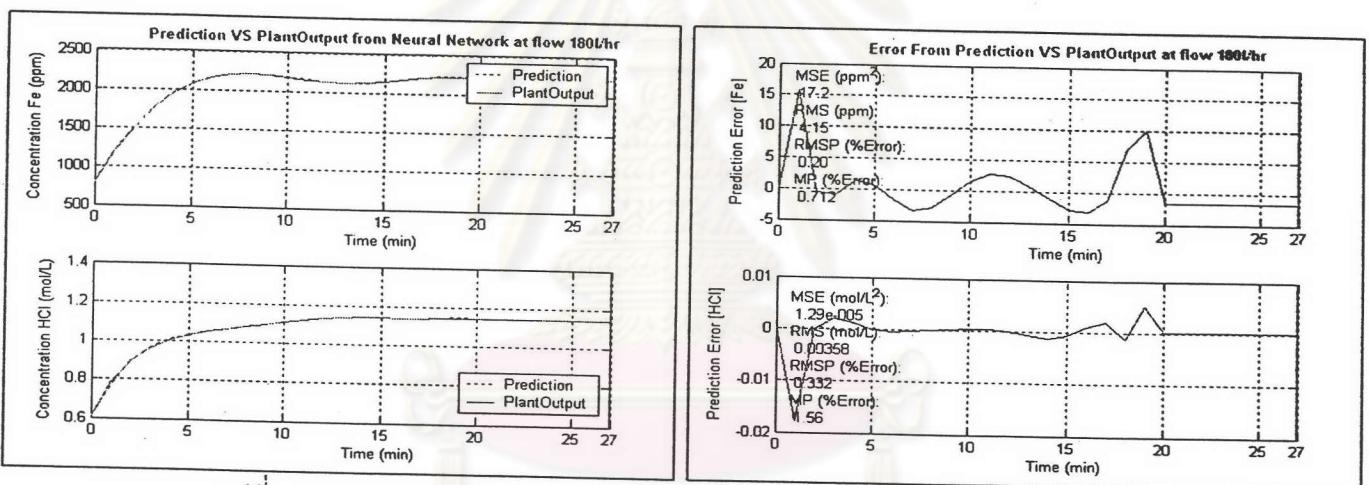
รูปที่ ๙.๙๖ แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



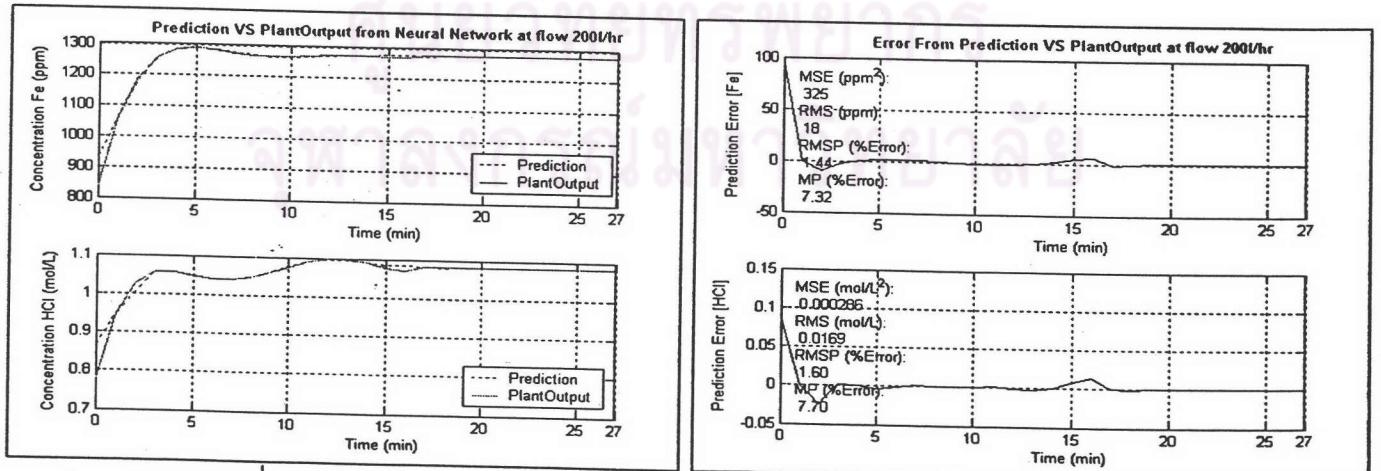
รูปที่ ๙.๙๗ แสดงผลการทำงานของความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ๙.๙๘ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



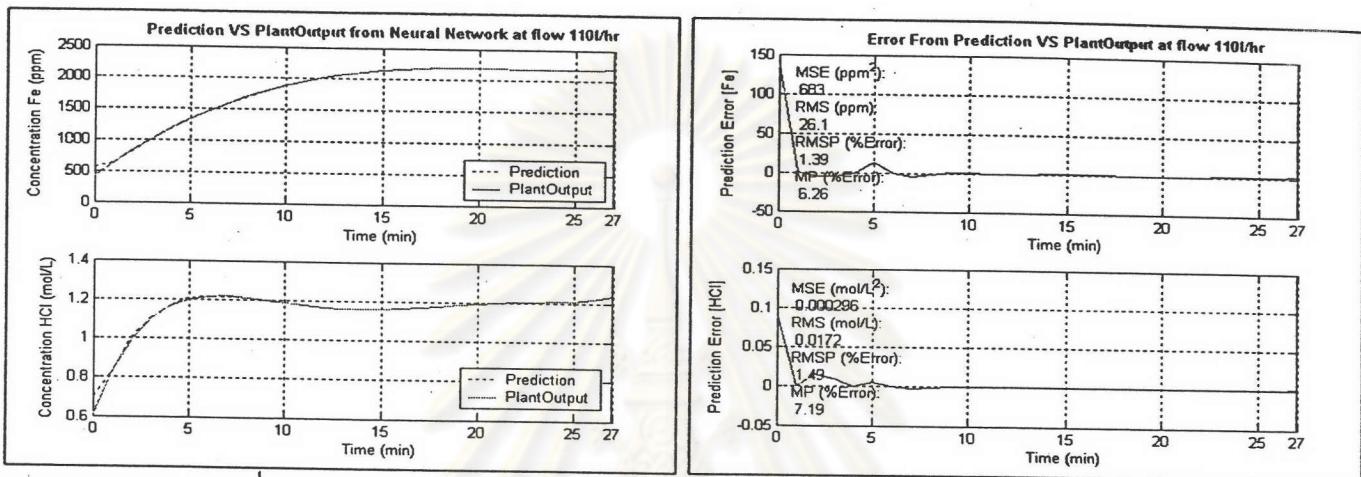
รูปที่ ๙.๙๙ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



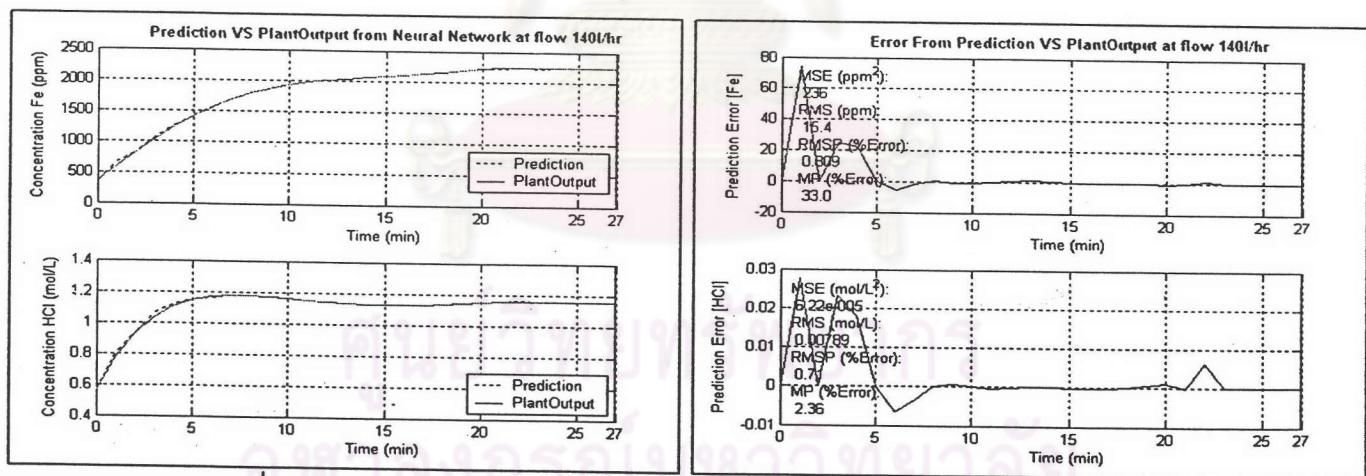
รูปที่ ๙.๑๐ แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

แบบจำลองที่ 7-3 [5-11-11-2]

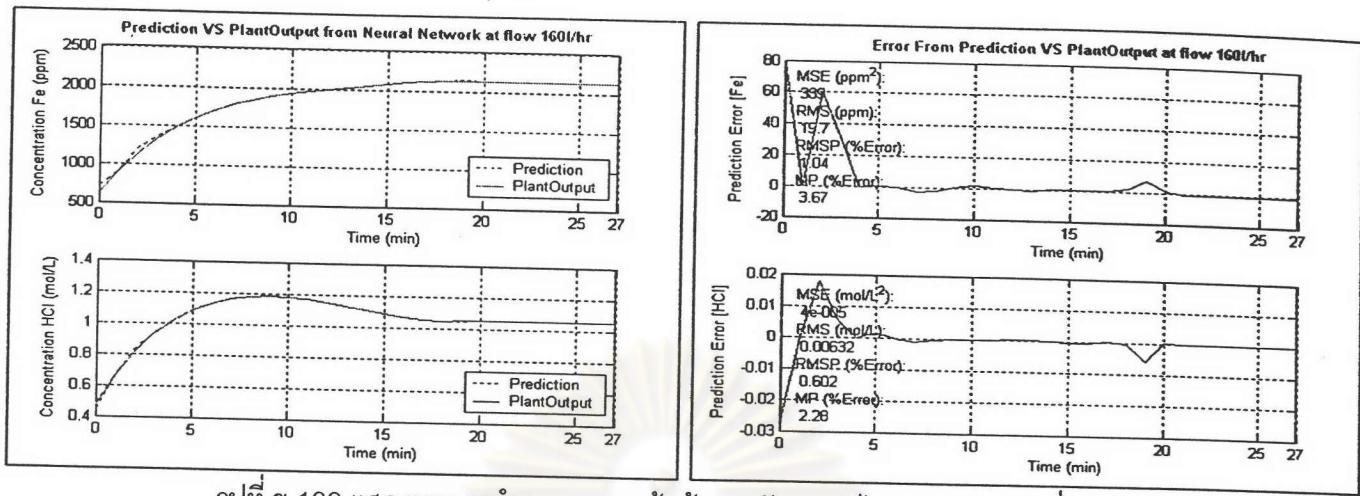
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ จะใช้ข่ายงาน [5-3-11-2] แสดงถึง ข่ายงาน ที่อินพุต 5 ในดัชนีช่องแรก 11 ในดัชนีช่องสอง 11 ในดัชนี และเอาท์พุต 2 ในดัชนี ซึ่งแสดงผลการทำนายได้ดังนี้



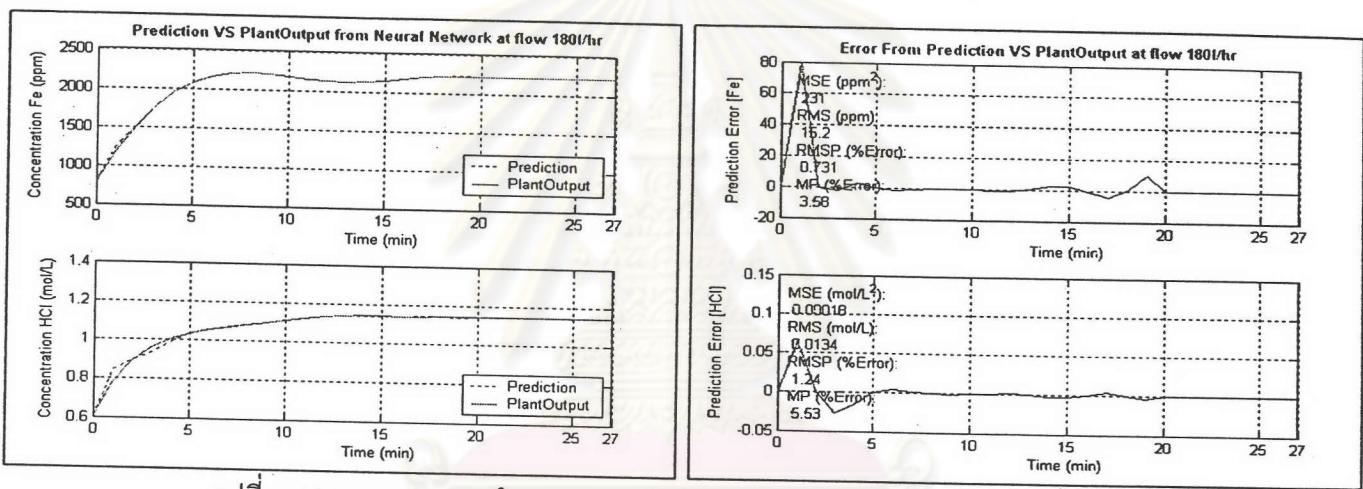
รูปที่ ข.101 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



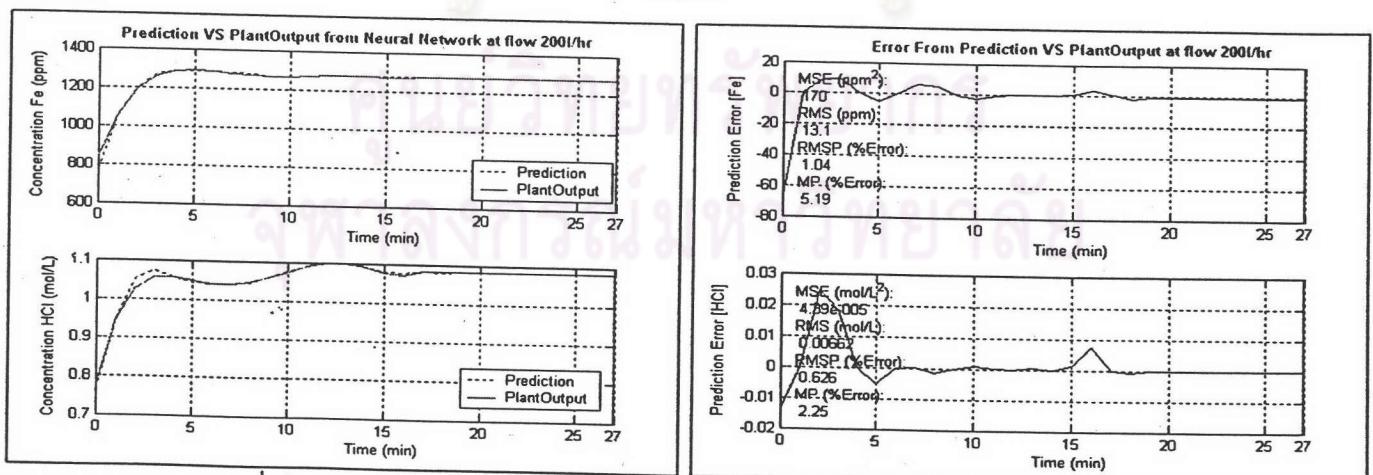
รูปที่ ข.102 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.103 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



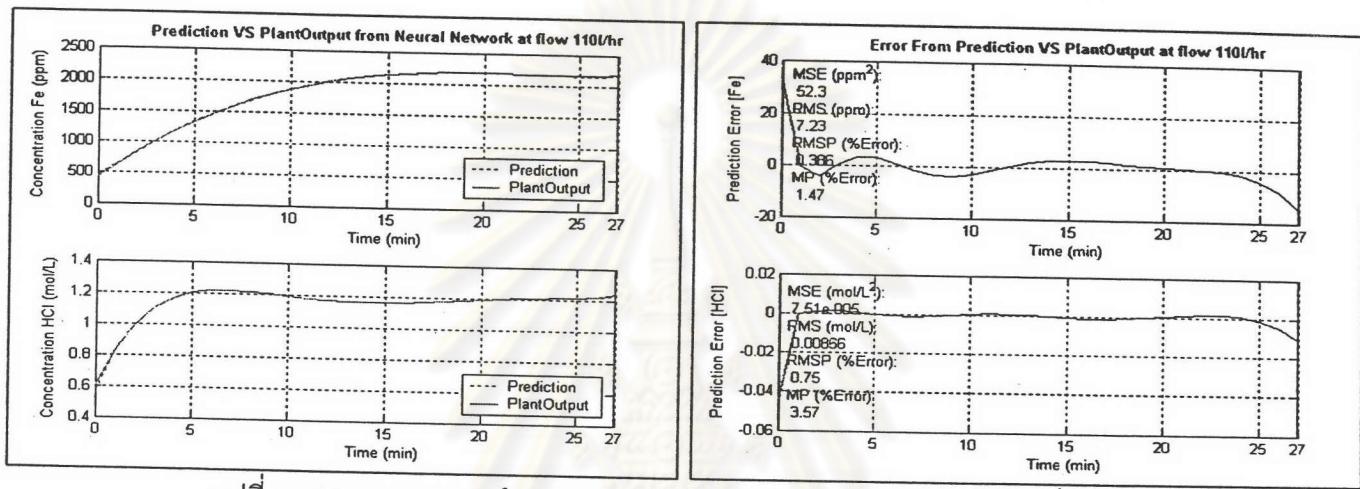
รูปที่ ข.104 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



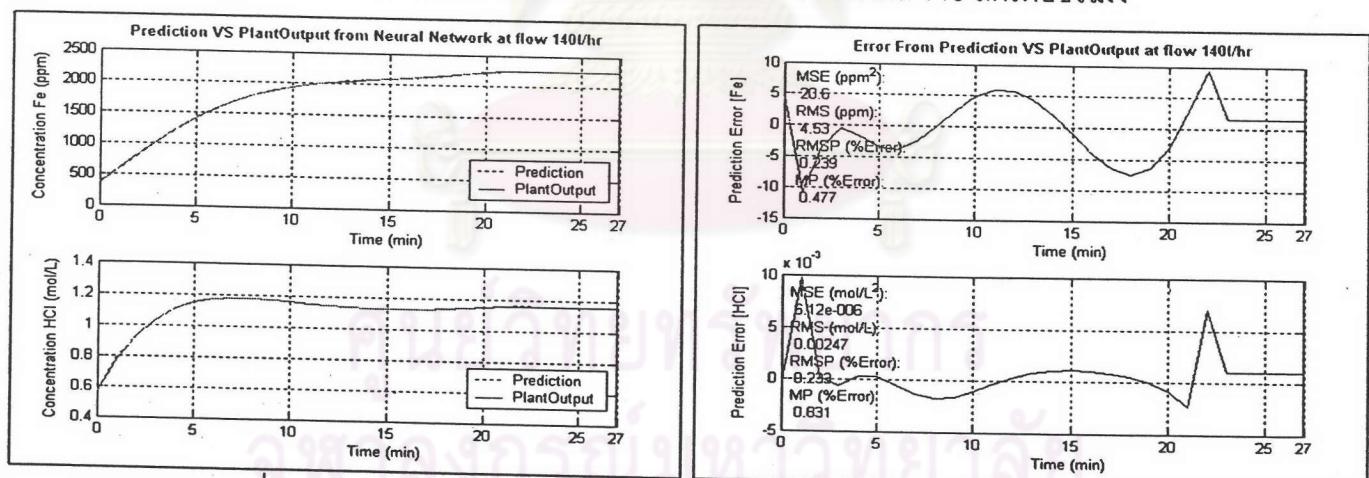
รูปที่ ข.105 แสดงผลการทำนายความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

### แบบจำลองที่ 7-4 [5-13-13-2]

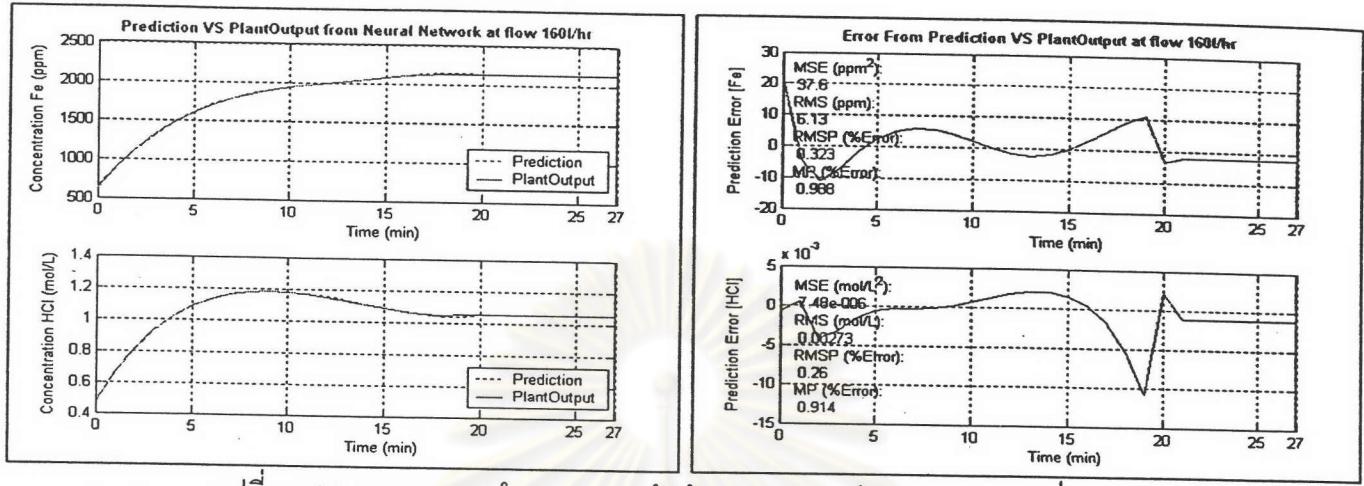
สำหรับพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนไอออนประจุลบ จะใช้ข่ายงาน [5-13-13-2] แสดงถึง ข่ายงานที่อินพุต 5 ในดัชนีช่องแรก 13 ในดัชนีช่องสอง 13 ในดัชนี และเอาท์พุต 2 ในดัชนีแสดงผลการ ทำงานยได้ดังนี้



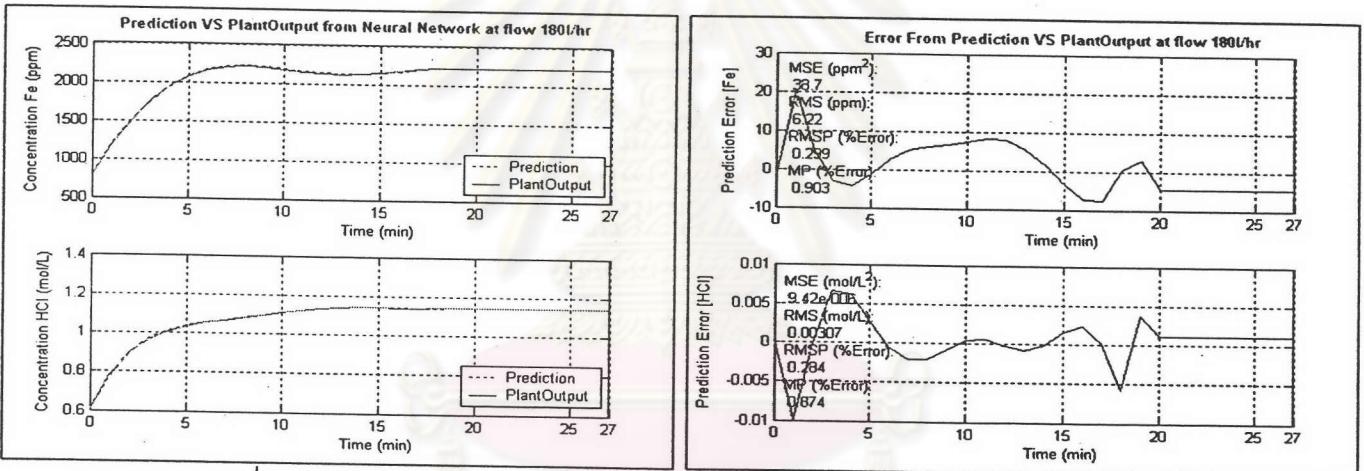
รูปที่ ข.106 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง



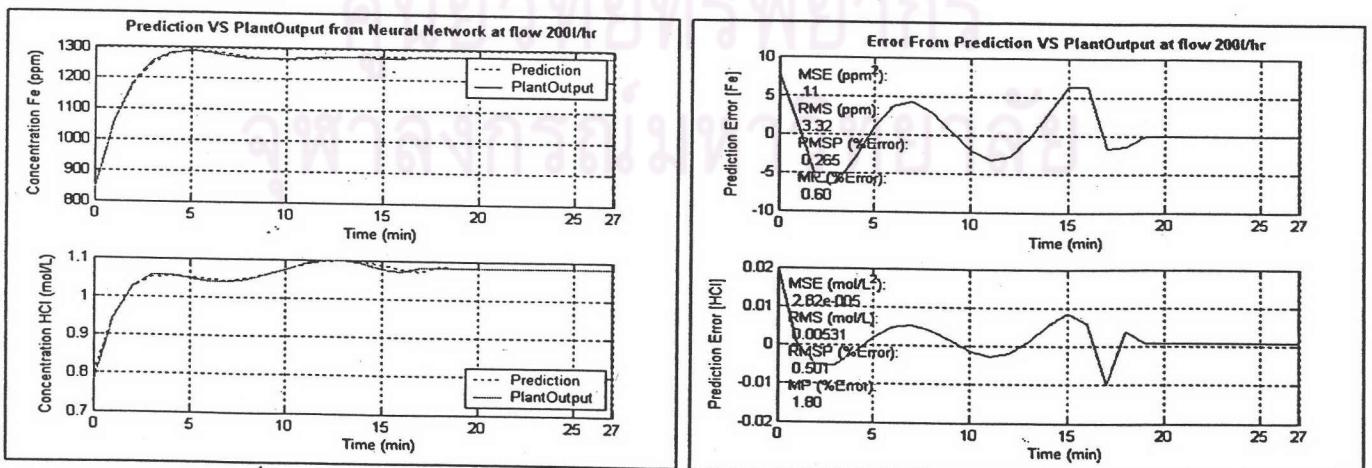
รูปที่ ข.107 แสดงผลการทำงานความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 140 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.108 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 160 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.109 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 180 ลิตรต่อชั่วโมง



รูปที่ ข.110 แสดงผลการคำนวณความเข้มข้น ณ อัตราการไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมง

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

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



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย