

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงาน ในโรงงานผลิตโลหะบัดกรี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม Development of a Prediction Model of Blood Lead Levels among Employees in a Metal Soldering Factory by Using Artificial Neural Networks

เรืออากาศเอกหญิงเสาวณีย์ เกียรติทอง, วท.ม. (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม) *
ศรัศิกดิ์ สุนทรไชย, วท.ด. (โภชนศาสตร์พิษวิทยา)**
Saowanee Thianthong, M.Sc. (Industrial Environment Management),
Saridak Soontornchai, D.Sc. (Nutrition Toxicology)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ทหาระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีจากผลตรวจสุขภาพประจำปี และ 2) พัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยชุดข้อมูลที่ใช้ในการหาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการประมาณค่าระดับสารตะกั่วในเลือด และชุดข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือด การศึกษาในครั้งนี้เริ่มด้วยการวิเคราะห์ผลการตรวจระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ จำนวน 46 คน ซึ่งมีผลการตรวจสุขภาพประจำปีครบ 10 ครั้ง ระหว่าง พ.ศ. 2551-2555 การประมาณค่าระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีโดยใช้อายุงาน ลักษณะของงานที่ปฏิบัติ ผลตรวจสุขภาพประจำปี ปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด ปริมาณวิตามินดี ได้แก่ ตะกั่ว ดีบุก ผลการตรวจตะกั่วในอากาศที่ปล่อยปล่อยระบายนอกอากาศและที่พื้นที่ปฏิบัติงาน เป็นข้อมูลป้อนเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงาน การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ได้แก่ ร้อยละ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ และค่าความแม่นยำ ผลการวิจัยพบว่า 1) ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีจากผลตรวจสุขภาพประจำปี จำนวน 46 คน พบว่าพนักงานทุกคนมีระดับตะกั่วในเลือด ไม่เกิน 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณสารตะกั่วในเลือดของพนักงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ร้อยละ 50.4 รองลงมา คือ 11-15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ร้อยละ 32.2 และ 2) แบบจำลองมีความเหมาะสมในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือด มีความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ ร้อยละ 1.44 การพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีด้วยโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความแม่นยำในการพยากรณ์สูงถึง ร้อยละ 90.17

คำสำคัญ: ระดับสารตะกั่วในเลือด โครงข่ายประสาทเทียม โรงงานผลิตโลหะบัดกรี การพัฒนาแบบจำลอง

* นายทหารเทคนิคการแพทย์ โรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช กองทัพอากาศ

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

Abstract

The objectives of this research were: 1) to investigate the blood lead levels of workers in a metal soldering factory from their annual health check-up; and 2) to develop a prediction model of blood lead levels among the workers by using artificial neural networks. The instruments in this study consisted of the data sets for developing an appropriate prediction model of blood lead levels by using artificial neural networks, and for predicting the blood lead levels. This study started with the analysis of the blood lead levels of 46 workers in a metal soldering factory in Samut Prakarn Province. The workers had 10 times of annual health check-up results during the years 2008 to 2012. Blood lead levels of the workers were predicted using data input of the artificial neural networks including work experience, nature of work, health check-up results, blood hemoglobin concentration, amount of raw materials (lead and tin), and investigating results of stack and workplace air lead levels. Percentage, Pearson Correlation Coefficient, Magnitude of Relative Error, Mean Magnitude of Relative Error, and accuracy were utilized in the data analysis. The results indicated that: 1) the blood lead levels of all 46 workers from annual health check-up were less than 40 micrograms per cubic meter. Most workers had amount of blood lead 6 -10 micrograms per cubic meter (50.4%), followed by 11 - 15 micrograms per cubic meter (32.2 %); and 2) the model was suitable to predict blood lead levels with prediction error of 1.44 %. Prediction of blood lead levels of the workers by using the artificial neural networks had accuracy up to 90.17%.

Keywords: *Blood lead levels, Artificial neural networks, Metal soldering factory, Prediction model development.*

บทนำ

ภาวะสารตะกั่วในเลือดสูงเป็นปัญหาสาธารณสุขที่พบในประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศ รวมทั้งประเทศไทย แม้ว่าปัจจุบันมีการเลิกใช้สารตะกั่วผสมในหลายผลิตภัณฑ์ เช่น ยกเลิกการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสารตะกั่วผสม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สารตะกั่วยังมีความจำเป็นต้องใช้ในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมและใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่รถยนต์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นต้น

ปัญหาพิษจากสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายส่วนใหญ่มัก

เกิดกับบุคคลที่ประกอบอาชีพหรือทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตะกั่ว ดังนั้น ผู้ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับตะกั่วหรือมีอาชีพที่ต้องสัมผัสกับสารตะกั่วจะได้รับผลกระทบในการเกิดโรคพิษตะกั่วได้สูงกว่าบุคคลทั่วไป (จงดี วินิจจะกุล 2540) โดยอาการเป็นพิษมีทั้งแบบพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง ซึ่งอันตรายจากสารตะกั่วต่อผู้สัมผัสมีตั้งแต่ระดับน้อยที่สุดโดยผู้สัมผัสจะมีอาการอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร น้ำหนักลด หงุดหงิด ไปจนถึงระดับที่มีความรุนแรงมาก ถึงขั้นชักและตายในที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่สัมผัส ความไวของคนที่สัมผัส ชนิดของตะกั่ว และระดับความเข้มข้นที่รับสัมผัส

โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) หรือที่นิยมเรียกสั้น ๆ ว่า ข่ายงานประสาท (neural network) คือ โมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้ การจดจำแบบภาพ (pattern recognition) และการอุปมาความรู้ (knowledge deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ (โครงข่ายประสาทเทียม, ม.ป.ป.) โดยเป็นการเลียนแบบระบบการทำงานของเซลล์สมองของมนุษย์ โครงข่ายของแบบจำลองโดยทั่วไปประกอบด้วยชั้นของโหนด (node) 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นอินพุต (input layer) ชั้นซ่อน (hidden layer) และชั้นเอาต์พุต (output layer) โดยข้อมูลจากชั้นอินพุตจะถูกคำนวณและส่งผ่านฟังก์ชันแปลงรูปจากชั้นซ่อนไปยังชั้นเอาต์พุต โดยหลักการของกระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองคือ การเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละการเชื่อมต่อ เพื่อปรับผลลัพธ์ของแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับค่าความจริงมากที่สุด โดยอาศัยการแพร่กลับ (สุประภาพร พัฒนาลิงหลินีย์ สุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ และนุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, ม.ป.ป.) ซึ่งแนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ “นิวรอน” (neurons) และจุดประสานประสาท (synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า “เดนไดรท์” (dendrite) ซึ่งเป็นอินพุต (input) และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า “แอกซอน” (axon) ซึ่งเป็นเหมือนเอาต์พุต (output) ของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียส ซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียส

ก็จะกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน (โครงข่ายประสาทเทียม, ม.ป.ป.) ทั้งนี้โครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานหลายด้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การจำแนกรูปแบบ การพยากรณ์ การควบคุม การหาความเหมาะสม และการจัดกลุ่ม เป็นต้น (ธนาวุฒิ ประกอบผล, 2552)

การวิจัยนี้ จึงได้นำแนวคิดและหลักการดังกล่าวมาใช้เพื่อพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีที่ใช้ตะกั่วและดีบุกเป็นวัตถุดิบในการผลิต ที่ทำให้เกิดปัญหาการทำงานป็นอันตรายตะกั่วดังที่กล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการหาปริมาณสารตะกั่วในเลือดของพนักงานที่ทำงานในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเป็นโรงผลิตโลหะบัดกรี และการพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานดังกล่าวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีรายงานวิจัยหลายชิ้นระบุว่า สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการพยากรณ์ค่าต่างๆ ได้ แต่ยังไม่มีการนำมาใช้พยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานที่อาจปนเปื้อนสารตะกั่ว

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีจากผลตรวจสุขภาพประจำปี
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ 1) ปริมาณตะกั่วและดีบุกที่เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต 2) ผลการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงาน จำนวน 46 คน ปีละ 2 ครั้ง ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2551-2555 จำนวน 460 ครั้ง และ

3) ผลการตรวจคุณภาพอากาศที่ปล่อยปล่องและที่พื้นที่ในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นข้อมูลทุติยภูมิของโรงงานกรณีศึกษา

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ชุดข้อมูลที่ใช้ในการหาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการประมาณค่าระดับสารตะกั่วในเลือด และชุดข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือด โดยชุดข้อมูลที่ใช้ในการหาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการประมาณค่าระดับสารตะกั่วในเลือดประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.1 การเตรียมข้อมูล โดยทำการแปลงค่าข้อมูลซึ่งเป็นกระบวนการปรับขอบเขตของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้เกิดการเรียนรู้สำหรับในโปรแกรมที่ใช้หลักการโครงข่ายประสาทเทียมนั้น ข้อมูลนำเข้รวมทั้งข้อมูลเป้าหมาย จะต้องถูกลดทอนขนาดให้เหมาะสมกับเครือข่าย (preprocessing) คือ อยู่ในย่าน $(-1, 1)$

2.2 การออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Howard, Mark, & Martin, 1996) พิจารณาจากข้อมูลที่ป้อนเข้า จำนวนโหนดของชั้นอินพุต จำนวนชั้นฮอนเอาต์พุต ซึ่งเป็นการหาค่าที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียมให้มากที่สุด

1) เนื่องจากข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองมีค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงต้องทำการปรับค่าของข้อมูล (normalization) ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้พิสัยของข้อมูลมีค่าอยู่ระหว่าง -1 และ 1

2) ตามหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมได้นำข้อมูล 414 ชุดจากทั้งหมด 460 ชุด มาแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุด คือ ชุดสอน (Training set): ชุดตรวจสอบความถูกต้อง (Validation set): ชุดทดสอบ (Testing set) เท่ากับ 290:62:62 (70:15:15) หรือ 332:41:41 (80:10:10)

3) ในการออกแบบขั้นต้นกำหนดให้โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนโหนดในชั้นฮอน 4-7 โหนด โดยมีจำนวนอินพุต (ตัวแปรอิสระ) 7 โหนด และจำนวนเอาต์พุต (ตัวแปรตาม) 1 โหนด จะได้โครงข่ายที่ออกแบบทั้งหมด 4 แบบ คือ 7-4-1, 7-5-1, 7-6-1 และ 7-7-1

2.3 การสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยนำข้อมูลชุดสอนที่แบ่งไว้จำนวน 290 หรือ 332 ชุด มาทำการสอนโครงข่ายโดยใช้อัลกอริทึมแบร์กกลับ (Back Propagation Algorithm) ใช้การเรียนรู้แบบลิเวนเบิร์กมาร์ควอดท์ (Levenberg-Marquardt: Trainlm) และใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบฟังก์ชันซิกมอยด์ในชั้นฮอน และใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเพียวรีน (Purelin) ที่ชั้นเอาต์พุต ให้ได้เส้นการตัดสินใจ (decision line) ที่เป็นเส้นตรง เพื่อที่จะนำสมการที่ได้มาใช้ในการพยากรณ์ค่าสารตะกั่วตกค้างต่อไป และการหยุดสอนในแต่ละรอบของการสอนโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการตรวจสอบค่าความผิดพลาดของชุดข้อมูลไปพร้อมกัน โดยการศึกษาครั้งนี้จะตั้งข้อกำหนดในการหยุดสอนเมื่อโครงข่ายเรียนรู้มีแนวโน้มค่าความผิดพลาดที่ลู่เข้าสู่ค่า 0 โดยงานวิจัยนี้กำหนดค่าความผิดพลาดไว้ที่ 0.005

2.4 การตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ของโครงข่ายประสาทเทียม นำข้อมูลชุดตรวจสอบ (Validation set) จำนวน 62 หรือ 41 ชุด มาตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีดัชนีตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (Mean Squared Error, MSE) และค่าการถดถอย (Regression, R) จากนั้นทำการคัดเลือกโครงข่ายที่เหมาะสมโดยดูจากค่า MSE มีค่าเข้าใกล้ 0 และ R ต้องมีค่าเข้าใกล้ 1

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้

3.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการหาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือด จำนวน 414 ชุด

3.1.1 ผลการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงานจำนวน 46 คน ปีละ 2 ครั้ง ระหว่างพ.ศ. 2551-2554 และพ.ศ. 2555 ครั้งที่ 1 ได้แก่ ระดับสารตะกั่วในเลือดและปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด

3.1.2 ข้อมูลปริมาณวัตถุพิษที่ใช้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่วในอากาศ ลักษณะของงานที่ปฏิบัติ และอายุงาน ระหว่าง พ.ศ. 2551-2554 และพ.ศ. 2555 ครั้งที่ 1

3.2 ชุดข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือด จำนวน 46 ชุด

3.2.1 ผลการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงาน พ.ศ. 2555 ครั้งที่ 2 คือ ระดับสารตะกั่วในเลือด และปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด

3.2.2 ข้อมูลปริมาณวัตถุพิษที่ใช้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่วในอากาศ ลักษณะของงานที่ปฏิบัติ และอายุงาน พ.ศ. 2555 ครั้งที่ 2

4. การวิเคราะห์ข้อมูล โดย

4.1 การหาระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีจากผลการตรวจสุขภาพ สถิติที่ใช้คือ ร้อยละ

4.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยกับอายุงานเฉลี่ย ปริมาณฮีโมโกลบินในเลือดเฉลี่ย ปริมาณตะกั่ว ปริมาณดีบุก สถิติที่ใช้คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient)

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยเปรียบเทียบระดับสารตะกั่วในเลือดที่ทราบค่ากับระดับสารตะกั่วในเลือดที่ได้จากการพยากรณ์ สถิติที่ใช้คือ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Magnitude of Relative Error, MRE) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Mean Magnitude of Relative Error, MMRE) และค่าความแม่นยำ (Accuracy)

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยที่พบในครั้งนี้ มีดังนี้

1. การสำรวจระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีจากผลตรวจสุขภาพประจำปี การศึกษาผลตรวจระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในกรณีศึกษา จำนวน 46 คน ซึ่งมีผลการตรวจสุขภาพครบ 10 ครั้ง ระหว่าง พ.ศ. 2551-2555 โดยแบ่งเป็นเพศชาย 19 คน และเพศหญิง 27 คน พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ศึกษามีระดับตะกั่วในเลือดไม่เกิน 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามเกณฑ์มาตรฐานระดับสารตะกั่วในเลือดของผู้ใหญ่ ของกองอาชีวอนามัย กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งเป็นค่าระดับตะกั่วที่ไม่ทำให้เกิดความผิดปกติ ปริมาณสารตะกั่วในเลือดของงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จำนวน 232 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 50.4

เมื่อพิจารณาตามการสัมผัสตะกั่วสามารถแบ่งพนักงานออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่ได้สัมผัสโดยตรง จำนวน 20 คน และกลุ่มที่สัมผัสโดยตรง จำนวน 26 คน พบว่าพนักงานกลุ่มที่ไม่ได้สัมผัสโดยตรงและกลุ่มที่สัมผัสโดยตรงมีปริมาณตะกั่วในเลือดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ 11-15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าพนักงานกลุ่มที่สัมผัสโดยตรงมีปริมาณตะกั่วในเลือดอยู่ในช่วง 26-30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง

2. ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร การศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยกับอายุงานเฉลี่ย ปริมาณฮีโมโกลบินในเลือดเฉลี่ย ปริมาณตะกั่ว ปริมาณดีบุก ผลตรวจสารตะกั่วในอากาศ พบว่า ระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยของพนักงานในโรงงานกรณีศึกษามีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกั่วที่ใช้ในการผลิตในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 นอกจากนี้ ยังพบว่าระดับสารตะกั่วในเลือดไม่มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณฮีโมโกลบินใน

เลือด แต่ปริมาณฮีโมโกลบินในเลือดมีความสัมพันธ์กับอายุงานในทิศทางตรงกันข้ามกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3. ผลการจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายระดับสารตะกั่วในเลือด เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมตามตารางที่ 1 พบว่า รูปแบบโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการทำนายระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานโรงงานกรณีศึกษา โดยพิจารณาเลือกโครงสร้างที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์น้อยที่สุด และมี

ค่า R เข้าใกล้ 1 มากที่สุด คือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 3 ชุดสอน ต่อชุดตรวจสอบ ต่อชุดทดสอบ เท่ากับ 70:15:15 จำนวนโหนดซ่อน เท่ากับ 6 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์น้อยที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 1.37 แต่โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 6 ชุดสอน ต่อชุดตรวจสอบ ต่อชุดทดสอบ เท่ากับ 80:10:10 จำนวนโหนดซ่อน เท่ากับ 5 มีค่า R รวมมากที่สุด เท่ากับ 0.9503 จึงเลือกแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 3 และแบบที่ 6 ไปใช้ในการทำนายระดับสารตะกั่วในเลือด (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการการสอนโครงข่ายประสาทเทียม

แบบที่	ชุดสอน: ชุดตรวจสอบ: ชุดทดสอบ	จำนวน โหนด ซ่อน	MSE	R ชุดสอน	R ชุด ตรวจสอบ	R ชุด ทดสอบ	R รวม
1	70:15:15	4	2.77	0.9072	0.9004	0.7863	0.8925
2	70:15:15	5	1.70	0.9514	0.9257	0.9072	0.9432
3	70:15:15	6	1.37	0.9480	0.9563	0.9265	0.9474
4	70:15:15	7	1.51	0.9536	0.8893	0.8686	0.9302
5	80:10:10	4	1.50	0.9489	0.9229	0.9093	0.9431
6	80:10:10	5	1.44	0.9558	0.9309	0.9247	0.9503
7	80:10:10	6	1.57	0.9459	0.8892	0.9696	0.9411
8	80:10:10	7	1.49	0.9540	0.9409	0.9062	0.9488

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม นำข้อมูลปี 2555 ครั้งที่ 2 จำนวน 46 ชุด มาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานโรงงานกรณีศึกษา พบว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่ 6 มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ค่าระดับสารตะกั่วในเลือดมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.10 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เท่ากับ 9.94 และมีความแม่นยำ ร้อยละ 90.06

อภิปรายผล

ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยมาอภิปรายดังนี้

1. ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีจากผลตรวจสุขภาพประจำปี จากการวิเคราะห์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีจากผลตรวจสุขภาพประจำปี พบว่า พนักงานกลุ่มสัมผัสตะกั่วโดยตรงได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมากกว่าพนักงานกลุ่มที่ไม่สัมผัสโดยตรง สอดคล้องกับการศึกษาการประเมินการได้รับสารตะกั่วในคนงานโรงพิมพ์ในจังหวัดเพชรบุรีของสมพร กลิ่น

พุดตาล (2544) พบว่า คนงานในโรงพิมพ์ระบบเลตเตอร์เพรสได้รับตะกั่วเข้าสู่ร่างกายมากกว่าคนงานในระบบออฟเซต และทางที่ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายไม่ได้มาจากการสูดหายใจเข้าไป

2. ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยกับอายุงานเฉลี่ยและปริมาณตะกั่วมีดังนี้

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยกับอายุงานเฉลี่ย พบว่า ระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยไม่มีความสัมพันธ์กับอายุงานเฉลี่ย แต่พบว่าปริมาณฮีโมโกลบินเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กันกับอายุงานในทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยเมื่ออายุงานเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณฮีโมโกลบินลดลง เนื่องจากสารตะกั่วจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้สร้างฮีโมโกลบิน ทำให้มีผลกระทบต่อการสร้างฮีโมโกลบินในเซลล์ของเม็ดเลือดแดงในไขกระดูก (ตะกั่วกับการสร้างฮีโมโกลบินและพอร์พัยริน, ม.ป.ป.)

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยกับปริมาณตะกั่วที่ใช้ พบว่า ระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กันกับปริมาณตะกั่วที่ใช้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลผลตรวจสุขภาพประจำปีของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษาที่พบว่า หากปีไหนใช้ตะกั่วในการผลิตน้อย ในปีนั้นพนักงานจะมีระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยต่ำ หากปีไหนใช้ตะกั่วในการผลิตมาก ในปีนั้นพนักงานจะมีระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยสูง แต่ไม่เกินค่ามาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยกับระดับสารตะกั่วในบรรยากาศ (จากผลการตรวจวัดสารตะกั่วในอากาศที่ปล่อยและผลการตรวจวัดสารตะกั่วในอากาศที่พื้นที่) พบว่า ระดับสารตะกั่วในเลือดเฉลี่ยไม่มีความสัมพันธ์กับระดับสารตะกั่วในบรรยากาศการทำงาน สอดคล้องกับการศึกษาเรื่องการประเมินการได้รับสารตะกั่วในคนงานโรงพิมพ์ในจังหวัดเพชรบุรีของสมพร กลิ่นพุดตาล (2544) ที่พบว่า ระดับสารตะกั่วในบรรยากาศ

การทำงานของโรงพิมพ์ทั้งสองที่ศึกษาไม่มีความสัมพันธ์กับระดับสารตะกั่วในเลือดของคนงานทั้ง 2 ระบบ

3. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม ชนิดที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กลับ ลักษณะการเรียนรู้แบบมีผู้สอนคือ ลีเวนเบิร์ก มาร์ควอดท์ ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบฟังก์ชันซิกมอยด์ ในชั้นซ่อน และใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบเพียวรีนที่ชั้นเอาต์พุต เพื่อให้ได้เส้นการตัดสินใจที่เป็นเส้นตรงเพื่อพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรี พบว่า การพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ร้อยละ 9.31 สอดคล้องกับการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้น โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กลับ ลักษณะการเรียนรู้แบบมีผู้สอนคือ ลีเวนเบิร์ก มาร์ควอดท์ หากความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการไฟฟ้าในอนาคตกับค่าความต้องการไฟฟ้าและอุณหภูมิในอดีต พบว่า มีความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ร้อยละ 4.18 และร้อยละ 7.92 ตามลำดับ (อดิศร แก้วสินธุ์, 2552)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยในครั้งนี้สรุปได้ว่า

1. พนักงานทุกคนที่ปฏิบัติงานมีระดับสารตะกั่วในเลือด ไม่เกิน 40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยปริมาณสารตะกั่วในเลือดของพนักงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 6-10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ร้อยละ 50.4 รองลงมา คือ 11-15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ร้อยละ 32.2 และพบว่าใน พ.ศ. 2553 ครั้งที่ 1 มีคนงานที่มีปริมาณสารตะกั่วในเลือดเกิน 26-30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 คน

2. ระดับสารตะกั่วในเลือดไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด แต่ปริมาณฮีโมโกลบินใน

เลือดมีความสัมพันธ์กับอายุงานในทิศทางตรงกันข้าม
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3. การพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดของพนักงาน
ในโรงงานผลิตโลหะบัดกรีด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม
ให้ค่าความแม่นยำในการพยากรณ์สูงถึงร้อยละ 90.06

ข้อเสนอแนะการวิจัย

1. การศึกษาครั้งนี้ได้นำโครงข่ายประสาทเทียมมา
ประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือด อาศัย
คุณลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความสามารถ
ในการประมวลผลข้อมูลที่มีความซับซ้อน ซึ่งแบบจำลอง
ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามระดับสาร
ตะกั่วในเลือดของพนักงานในโรงงานกรณีศึกษาแห่งนี้
อย่างไรก็ตาม หากจะนำไปใช้กับโรงงานที่มีกระบวนการ
ผลิตที่มีสารตะกั่วคล้ายกับโรงงานแห่งนี้ ควรสำรวจว่า มี
ปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลต่อระดับสารตะกั่วในเลือดมาเป็น
ข้อมูลอินพุต

2. การนำเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้
ในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดเป็นอีกวิธีหนึ่ง
ในการหาความสัมพันธ์ของระดับสารตะกั่วในเลือดกับสภาพ
แวดล้อม ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเพิ่ม
ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ระดับสารตะกั่วในเลือดเพื่อ
ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยเพิ่มปัจจัยนอก
อื่นๆ เช่น การประเมินพฤติกรรมทางสุขศึกษา การประเมิน
มาตรการควบคุมทางวิศวกรรมของทางโรงงาน เป็นต้น
มาเป็นปัจจัยในการพยากรณ์ นอกจากนี้ ยังต้องพิจารณา
ถึงข้อมูลในอดีตที่นำมาฝึกสอน ซึ่งจะต้องมีข้อมูลมาก
เพียงพอและมีความถูกต้อง ซึ่งเป็นแนวทางในการทำวิจัย
สำหรับผู้สนใจต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผลิตโลหะบัดกรีแห่งหนึ่งในจังหวัด
สมุทรปราการที่ได้ให้ข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.
(2532). *ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ*. ตอนที่ 5
หน้าที่ 1-8. สืบค้นจาก [http://www.pcd.go.th/
Info_serv/haz_battery.htm](http://www.pcd.go.th/Info_serv/haz_battery.htm)

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2552). *การวิเคราะห์สถิติขั้นสูง
ด้วย SPSS for Windows*, พิมพ์ครั้งที่ 7.
กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network).
(ม.ป.ป.). สืบค้นจาก [http://alaska.reru.ac.th/
text/ann.pdf](http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf)

จงดี้ วินิจจะกุล. (2540). *พฤติกรรมกำบังโรครพิษ
ตะกั่วของผู้ใช้แรงงานในโรงงานแห่งหนึ่งในเขต
นิคมอุตสาหกรรม ภาคเหนือ จังหวัดลำพูน
(วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)*.

ตะกั่วกับการสร้างฮีโมโกลบินและพอร์พิริน. (ม.ป.ป.). สืบค้นจาก
[http://cai.md.chula.ac.th/lesson/lesson4613/
lesson/main09.html](http://cai.md.chula.ac.th/lesson/lesson4613/lesson/main09.html)

ธนาวุฒิ ประกอบผล. (2552). *โครงข่ายประสาทเทียม*.
วารสาร มฉก.วิชาการ, 12(24), น. 73.

ณรงค์ศักดิ์ อังคะสุวพลา, สลธิธร เทพตระการพร, และ
ปรียานุช บุรณะภักดี. (2556). *โรครพิษตะกั่ว*. ใน
*สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 22 เรื่องที่
๖ อาชีวอนามัย*. สืบค้นจาก [http://kan-
chanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?-
book=22&chap=6&page=t22-6-infode-
tail02.html](http://kan-
chanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?-
book=22&chap=6&page=t22-6-infode-
tail02.html)

ภาสุตดวงมาลา. (2554, 30 พฤษภาคม). *โครงข่ายประสาท
เทียมโดยการใช้โปรแกรม Matlab*. กรุงเทพฯ:
ห้างหุ้นส่วนจำกัด IBOOK ENGINEERING

- มนัส สติรจินดา. (2536). *โลหะหนักกลุ่มเหล็ก*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิลาวัลย์ จึ่งประเสริฐ และสุรจิต สุนทรธรรม. บรรณาธิการ (2542). *โรคตะกั่ว. อาชีวเวชศาสตร์ฉบับพิเศษวิทยา*. นนทบุรี: โครงการตำรากรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- สุประภาพร พัฒนสิงห์เสนีย์ สุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ และ นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. (ม.ป.ป.). *แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่วมสำหรับแม่น้ำป่าสัก*. สืบค้นจาก pindex.ku.ac.th/file_research/WE73.doc
- สลิลลา ยรรยงสวัสดิ์. (2548). *สถานการณ์ตะกั่วโลก*. กรุงเทพฯ: สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน.
- อวยพร คำวงศ์ศา. (2550). *โรคพิษจากสารโลหะ*. ใน *สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค 2550*. สำนักระบาดวิทยา. สืบค้นจาก <http://epid.moph.go.th/>
- Howard, B.D., Mark, B. & Martin, T.H. (1996). *Neural Network Design*. Boston: PWS Publishing.
- Shilu, T., Yasmin, E., Von, S., & Prapamontol, T. (2000). Environmental lead exposure: A public health problem of global dimensions. *Bulletin WHO*, 78(9), pp. 1068-1077.

