วารสารวิชาการ
อุตสาหกรรมศึกษา

วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (58-70)

การพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

ภาณุสฤษฏ์ บุญคำ, ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, โอภาส สุขหวาน

สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

114 สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

Development of Electroplating Equipment for Rhodium plating using Ergonomics technique

Panusarit Boonkum, Pairust Vongyuttakrai, Ophat Sukwan

Division of Industrial Education, Faculty of Education, Srinakarinwirot University

114 Sukhumvit 23 Wattana Bangkok 10110

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาและประเมินแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ จำนวน 3 แบบ คือ แบบ ก แบบ ข และแบบ ค การออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการชุบจำนวน 9 ขั้นตอน คือ 1.การล้างด้วยไฟฟ้า 2.การล้างน้ำไหลล้น 3.การกระตุ้นผิวด้วยกรด 4.การล้างด้วยน้ำกลั่น 5.การน้ำยาชุบเงิน 6.การล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน 7.การน้ำยาชุบโรเดียม 8.การล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม 9.การล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน ผลการวิจัยมีดังนี้ 1) ผู้วิจัยได้ออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ จำนวน 3 แบบ คือ แบบ ก แบบ ข และแบบ ค โดยได้ออกแบบโครงสร้างของเครื่องชุบให้สอดคล้องตามหลักของการยศาสตร์ของชาวเอเชีย มีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) ขนาดความกว้าง 1.60 เมตร ความยาว 1.80 เมตร ความสูง 1.40 เมตร 2) ผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ (ค) มีค่าเฉลี่ยโดยภาพรวมสูงสุด อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 (SD=0.47) โดยผลการประเมินรายด้าน ดังนี้ ด้านการออกแบบโครงสร้างอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (SD=0.46) ด้านการออกแบบการใช้งานอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 (SD=0.46) ด้านการออกแบบความปลอดภัยอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 (SD=0.38) ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุงอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 (SD=0.58) 3) การประเมินความล้าจากการทำงาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA ผลการประเมินอยู่ที่ระดับ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 (SD= 0.00) หมายความว่าชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ (ค) ที่ได้ออกแบบ มีระดับความล้าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ทั้งนี้อาจมีปัญหาความล้าได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำ ๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานาน

ภาณุสฤษฏิ์ บุญคำ, ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, โอภาส สุขหวาน
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2556 (58-70)

คำสำคัญ: *ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า, การยศาสตร์, การชุบโรเดียม*

Abstract

The objectives of this research were to develop and evaluate the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique and evaluated the fatigue of the worker using the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique. The researcher designed electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique in 3 types. Including type A, type B and type C. The searcher designed the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique in 9 processes. They were 1) Electro Cleaning, 2) Water Overflow, 3) Acid Activation, 4) DI water, 5) Silver solution 6) Drag out silver solution, 7) Rhodium solution, 8) Drag out rhodium solution, 9) Water overflow and hot water. The research found that: The researcher designed electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique in 3 types. They were type (A), type (B) and type (C). The structure of these electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique of Asia people. The structure was in C shape structure, with the dimension 1.6 (W) x 1.8 (L) x 1.4 (H) meters. The experts evaluated the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique type (C) was the highest had the average of4.39 (SD=0.47) and had the results in each areas as followed. Structure in good level had the average of 4.33 (SD=0.46,). Operation in very good level had the average of 4.60 (SD=0.46,t=2.901,p<.05). Safety in good level had the average of 4.28 SD=0.38,t=1.767,p<.05). Maintenance in good level had the average of 4.33 (SD=0.58). 3) The evaluated on the fatigue of the worker using the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique. The researcher used the Rapid Upper Limb Assessment to evaluated the fatigue of the worker, the fatigue of the worker in first level had the average of 2.00 (SD= 0.00), that mean using the electroplating equipment for rhodium plating by ergonomics technique had. The fatigue in acceptable level but may have some problems if the worker working for a long time.

Keyword: *Electroplating Equipment, Ergonomics, Electroplating for rhodium*

บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมส่งออกสำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งมีการชุบเคลือบผิวเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการผลิต (สุรสิงห์ ไชยคุณ; คณะคนอื่น ๆ. 2547: 39) อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับไทยมีผู้ประกอบการทั้งรายใหญ่และรายย่อย ที่ต้องชุบเคลือบผิวตัวเรือนเครื่องประดับด้วยโลหะมีค่า เช่น ชุบเคลือบผิวทอง แพลทินัม โรเดียม พาลาเดียม เป็นต้น เพื่อความสวยงาม ความคงทนของสภาพผิว และเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ เมื่อผู้ประกอบการได้พิจารณาถึงประโยชน์ดังกล่าวและต้องให้ความสำคัญเกี่ยวกับการจัดการความปลอดภัยในการทำงาน ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับมีการออกแบบโรงชุบหรือห้องชุบต่าง ๆ ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ ลักษณะงาน และเทคนิคกรรมวิธีการผลิต จึงมีความจำเป็นที่มีการออกแบบสายการผลิตในขั้นตอนการชุบเคลือบผิวโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มวัสดุอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้งานให้มีความเสี่ยงต่อการทำงานให้ต่ำ และในกรณีความเมื่อยล้าจากการทำงานในห้องชุบนั้นต้องมีความเสียหายหรือได้รับอันตรายกับผู้ปฏิบัติงานน้อยที่สุด โดยปกติแล้วจะเป็นการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า ปริมาณการสั่งทำแต่ละครั้งมักจะจำนวนไม่มากนัก แต่โดยทั่วไปจะมีประเภทของการผลิตอยู่หลากหลาย ด้วยเหตุผลดังกล่าวอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่นำมาใช้ในการผลิต จึงมักเป็นแบบอเนกประสงค์ (multi-purpose machine) คือ สามารถปรับแต่งให้ใช้ได้กับทุก ๆ ประเภทผลิตภัณฑ์ จุดสำคัญของการดำเนินงานชนิดแบบทำตามสั่ง ก็คือทรัพยากรต่าง ๆ จะต้องมีความอ่อนตัวหรือยืดหยุ่น(Flexible) สามารถปรับแต่งให้ใช้ได้ตามความ

แปรปรวนของอุปสงค์ที่ไม่อาจจะพยากรณ์ค่าได้แม่นยำ (ชุมพล ศฤงคารศิริ .2550 : 3) การปฏิบัติงานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มุ่งเน้นด้านคุณภาพ จะเป็นอีกกลยุทธ์หนึ่งที่นอกเหนือจากจะเป็นการสร้างพจน์ที่ดีขององค์กรและเผยแพร่ต่อสาธารณะชนผ่านทางโฆษณาประชาสัมพันธ์แล้ว ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต และช่วยเพิ่มคุณภาพในตัวสิ้นค้าและบริการที่จะถึงมือผู้บริโภคโดยตรงอีกด้วย กระบวนการทำงาน และการผลิตในยุคใหม่นี้ นอกจากจะแข่งขันกับตัวเองในการเพิ่มผลผลิตแล้ว ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงความสามารถในการแข่งขันได้กับองค์กรอื่น ๆ ที่เป็นคู่แข่งอีกด้วย (วีรวุธ มาฆะศิรานนท์ .2542 : 28)

เครื่องชุบเคลือบผิวโลหะมีค่าด้วยไฟฟ้าใช้กันในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับนั้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการชุบนั้น ผู้วิจัยซึ่งอยู่ในโรงงานนี้มักพบปัญหาอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการทำงาน ด้วยพนักงานใช้เวลาส่วนใหญ่ทำกิจกรรมอยู่ในสถานีชุบเป็นเวลานาน ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพกับพนักงาน ทั้งยังต้องเสียเวลาเดินและล้าจากการทำงาน เนื่องจากเครื่องชุบเคลือบผิวในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มีความยาวของสายการผลิตประมาณ 5.0-12.0 เมตร และในอุตสาหกรรมขนาดกลางหรือขนาดย่อม จะมีสถานีชุบมีความยาวของสายการผลิตประมาณ 2.0-5.0 เมตร จะเห็นว่าเครื่องชุบในอุตสาหกรรมทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดย่อม ดังกล่าวนี้มีขนาดใหญ่เกินกำลังผลิตที่จะใช้ในโรงงานผลิตเครื่องประดับที่ทำแบบครบวงจร ซึ่งเครื่องชุบต่าง ๆมีราคาแพงมากเมื่อต้องติดตั้งชิ้นส่วนหรือองค์ประกอบเสริมให้สมบูรณ์ที่สุด มีค่าซ่อมบำรุงที่สูง เครื่องชุบขนาดใหญ่และกลางจะมีรูปแบบเป็นสายการผลิตแบบเส้นตรงที่ต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนไหวร่างกายมาก โดยเฉพาะการเดิน-ไปมาเพื่อชุบชิ้นงานตามกระบวนการชุบจนเสร็จสิ้น ส่วนปัญหาด้านการออกแบบ ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก(สถานประกอบการขนาดเล็ก ร้านขายทอง หรือคลินิกซ่อมทั่วไป) จะมีเครื่องชุบแบบสำเร็จรูปขนาดเล็ก หรือประกอบเองอย่างง่ายด้วยบีกเกอร์ มักมีความยาวของสายการผลิตประมาณ 1.0-2.0 เมตร มีความยาวไม่มากนัก จึงพบปัญหาด้านการยศาสตร์น้อย แต่เครื่องชุบดังกล่าวมีองค์ประกอบของสายการผลิตไม่สมบูรณ์ การถอดประกอบยาก จัดซื้อและหาอะไหล่ไม่มีตามท้องตลาด เพราะส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนที่มีเฉพาะผู้ผลิตเท่านั้น อีกทั้งปัญหาอื่น ๆของเครื่องชุบแบบถัง (Barrel) เช่น ปัญหาการล้างบ่อ/ถังน้ำยา การจัดเก็บน้ำยา การบำรุงรักษา การถอดและการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การเคลื่อนย้ายชุดควบคุม ขนาดของเครื่องและถังน้ำยาที่ไม่เหมาะสมและไม่สะดวกในการย้ายตำแหน่ง เป็นต้น นอกจากนั้นจะต้องสั่งทำเป็นพิเศษซึ่งต้องสั่งจากผู้ผลิตโดยตรง เมื่อเกิดการชำรุดเสียหายหรือขัดข้องต้องพึ่งผู้ผลิตโดยตลอดทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองงบประมาณในการส่งซ่อม

การยศาสตร์ (Ergonomic) จึงมีบทบาทและความสำคัญในส่วนนี้ กล่าวคือ สามารถที่จะนำความรู้และประสบการณ์ทางด้านการยศาสตร์มาใช้สำหรับการออกแบบระบบคน – เครื่องจักร (man – machine systems) ให้มีความเหมาะสมมากขึ้น รวมทั้งสามารถใช้ในการออกแบบระบบคน – เครื่องจักร ดังกล่าวให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมอีกด้วย ซึ่งจากการออกแบบที่เหมาะสมนี้ จะทำให้สามารถแก้ไขผลเสียหรือปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้ หลักของการยศาสตร์มีส่วนสำคัญในการทำให้ มีการปรับปรุงสุขภาพและความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน เช่น การออกแบบระบบของกล้ามเนื้อและกระดูก(Musculoskeletal injuries) การออกแบบสถานีงานเกี่ยวกับ Visual Display Unit (VDU) เพื่อลดความไม่สะดวกในการมอง และท่าของการทำงาน(Posture) การออกแบบเครื่องมือ (Hand Tools) เพื่อลดความเมื่อยล้าในการทำงาน การออกแบบเครื่องมือและการวางตำแหน่งของจุดควบคุมเพื่อทำให้ข้อมูลเพียงพอที่จะทำงานได้อย่างรวดเร็ว และลดความเสี่ยงที่จะเกิดจากความผิดพลาด การจัดให้มีสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ดี เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงและหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อสุขภาพ (อนุสารแรงงาน :13) เช่น สถานที่ยืนปฏิบัติงาน การทำงานที่ต้องยืนปฏิบัติงานนาน ๆ จะทำให้เกิดอาการปวดหลัง ขาบวม มีปัญหาเรื่องการไหลเวียนโลหิต เส้นเลือดขอดที่ขา และปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ หากมีความจำเป็นต้องยืนปฏิบัติงานนาน ๆ ควรปฏิบัติดังนี้ควรจัดหาเก้าอี้ไว้ในบริเวณปฏิบัติงาน เพื่อให้พนักงานได้พักเป็นระยะตามต้องการควรจัดวางเครื่องมือให้พนักงานหยิบได้

สะดวกทั้งด้านหน้าและด้านหลังเพื่อป้องกันการบิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงานควรปรับความสูงของระดับงานให้เหมาะสมกับความสูงของพนักงาน หากปรับระดับงานไม่ได้ควรปรับระดับพื้น เช่น การจัดให้พนักงานที่ตัวเตี้ยยืนบนฐานที่ยกระดับขึ้นจากพื้นควรจัดให้มีที่พักเท้าและมีพื้นที่เพื่อให้คนงานวางเท้าและเปลี่ยนอิริยาบถเพื่อลดแรงกดที่หลังควรจัดแผ่นรองเท้าบริเวณที่คนงานยืนหรือให้พนักงานใส่รองเท้าที่สามารถกระจายแรงกดที่ส้นเท้าระยะของหน้างานควรอยู่ห่างประมาณ 8 – 12 นิ้ว เพื่อมิให้พนักงานต้องเมื่อยมากเกินไปขณะทำงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ควบคุมการปฏิบัติงาน เครื่องมือควรออกแบบมาให้คนงานใช้กล้ามเนื้อมัดใหญ่ เช่นกล้ามเนื้อหัวไหล่, แขนและขา แทนกล้ามเนื้อมัดเล็ก เช่น ข้อมือและนิ้วมือ และไม่ควรออกแบบเครื่องมือให้พนักงานงอข้อมือหรือบิดข้อมือขณะจับด้ามจับควรสะดวกสบายต่อการจับและมีความยาวพอที่จะจับได้ถนัดมือ เป็นต้น

จะเห็นว่าความรู้ด้านการยศาสตร์ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาปัจจัยทางด้านการยศาสตร์ทั้งหมดเมื่อต้องการปรับปรุงคุณภาพ การละเลยความสะดวกสบายของบุคคลขณะทำงาน จะทำให้ประสิทธิภาพของงานต่ำกว่ามาตรฐานโดยเฉลี่ย และจะนำมาซึ่งความเจ็บป่วยที่เกิดสะสมอย่างช้า ๆ (Repetitive Stress Injuries) โดยที่เราไม่ทันสังเกต ซึ่งความเจ็บป่วยนี้บ่อยครั้งเกิดจาการเคลื่อนไหว และวางตำแหน่งสรีระในลักษณะที่ไม่ถูกต้อง (อนุสารแรงงาน: 14) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ โดยปรับลดกระบวนการชุบตามแบบที่พัฒนาเรียงลำดับ ดังนี้ 1.ล้างด้วยไฟฟ้า 2.ล้างน้ำไหลล้น 3.กระตุ้นผิวด้วยกรด 4.ล้างด้วยน้ำกลั่น 5.น้ำยาชุบเงิน 6.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน 7.น้ำยาชุบโรเดียม 8. ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม 9.ล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน ทั้งนี้มีการออกแบบและสร้างมีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) ทำให้ผู้ปฏิบัติงานจะควบคุม โดยไม่ต้องเอื้อม หรือโค้งตัวไปข้างหน้า หรือระยะเดินมาก เพื่อช่วยลดการเคลื่อนไหวร่างกายจากการทำงานกับเครื่องชุบนั้น ซึ่งเน้นหลักการประหยัดพลังงานในการเคลื่อนไหวร่างกาย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีความมุ่งหมายในการวิจัยดังต่อไปนี้

1.ออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

2.ประเมินความสามารถในลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์

ความสำคัญของการวิจัย

ได้ชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ เพื่อช่วยลดเวลาทำงานต่อรอบ ช่วยลดการเคลื่อนไหวร่างกายจากการทำงานและลดความล้าจากการทำงาน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ที่สร้างขึ้น เพื่อให้การวิจัยในครั้งนี้ บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบมีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) ทำด้วยสแตนเลสมีขนาดความกว้าง 1.60 เมตร ความยาว 1.80 เมตร ความสูง 1.40 เมตร จำนวน 3 แบบ คือ แบบ ก แบบ ข และแบบ ค

2. การปรับปรุงกระบวนการชุบ ประกอบด้วย ชุดถังล้างไฟฟ้าขนาด 25 ลิตร ชุดถังโพลีพรอพพิลีนบรรจุน้ำยาชุบขนาด 15 ลิตร ชุดหม้อแปลงจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V 30 A และชุดควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งกระบวนการชุบตามแบบที่พัฒนาเรียงลำดับ ดังนี้ 1.ล้างด้วยไฟฟ้า 2. ล้างน้ำไหลล้น 3.กระตุ้นผิวด้วยกรด 4.ล้างด้วยน้ำกลั่น 5. น้ำยาชุบเงิน 6.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน 7.น้ำยาชุบโรเดียม 8.ล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม 9.ล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน

3. ประเมินหลักของการยศาสตร์ ของพนักงานประจำเครื่องชุบ จำนวน 10 คน

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา ผลลการประเมินการแบบและการลดความล้าของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์

สมมติฐานการวิจัย

แบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ที่สร้างขึ้น ผ่านการประเมินแบบและชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ในเกณฑ์ดี

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยในครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1.เกณฑ์ข้อกำหนดของการออกแบบและสร้างชุดชุบในการวิจัย

1.1 การออกแบบและสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ มีส่วนประกอบดังนี้

1.1.1 การออกแบบมีรูปแบบโครงสร้างเป็นรูปตัวซี (C) เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม

1.1.2 ปรับปรุงกระบวนการชุบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดขั้นตอนการผลิต

1.1.3 สร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตามที่ออกแบบและผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

2. ลำดับขั้นตอนการวิจัย

2.1 เป็นการศึกษาและค้นคว้าหนังสือ ตำรา และรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า ผู้วิจัยวิเคราะห์แบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการยศาสตร์ที่จะพัฒนา ตามระยะทางของตำแหน่งอุปกรณ์ควบคุมที่อยู่ข้างหน้าของผู้ปฏิบัติงาน ทั้ง 2 กรณี คือ (1) การยืนปฏิบัติโดยใช้ มือขวามือเดียว (2) การยืนทำงานที่ใช้มือสองข้างจับอุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น

ระยะห่างที่ เอื้อมมากที่สุดมาข้างหน้าถึงตำแหน่งของอุปกรณ์ควบคุม (ประมาณ 46-51 เซนติเมตร หรือ 18-20 นิ้ว) ถ้าผู้ปฏิบัติงานจะควบคุม โดยไม่ต้องเอื้อม หรือโค้งตัวไปข้างหน้า เท่ากับ 36 เซนติเมตร (14 นิ้ว) และอุปกรณ์ควบคุมนั้นอยู่สูงจากพื้นประมาณ 110-165 เซนติเมตร (43-65 นิ้ว) ผู้วิจัยจึงกำหนดระยะจากพื้นถึงข้อพับของข้อศอกอยู่ที่ 110 เซนติเมตร (44 นิ้ว) ผู้วิจัยได้ออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ จำนวน 3 แบบ คือ แบบ ก แบบ ข และแบบ ค ผู้เชี่ยวชาญประเมินแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ ค มีค่าเฉลี่ยโดยภาพรวมสูงสุด ผู้วิจัยจึงเลือกแบบ ค ใช้ต้นทุนประมาณ 80,000 บาท ซึ่งมีรายละเอียดการประเมินดังตาราง 1 มีความเหมาะสม ด้วยขนาดโครงสร้างเหมาะสม ขนาดกะทัดรัด ถอดประกอบได้ง่าย โครงสร้างดูโปร่ง การขึ้นรูปง่าย ไม่หนักเกินไป อุปกรณ์และวัสดุสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด การติดตั้งสะดวก จึงนำไปสร้างชุดชุบต้นแบบได้ ซึ่งสถานที่ในการสร้างและทดลอง ที่ดำเนินการตั้งอยู่เลขที่ 50/291หมู่บ้านปัญจทรัพย์ ถนนบรมราชนนี ศาลายา อำเภอสามพราน นครปฐม และโรงฝึกงานสาขาวัสดุศาสตร์(เครื่องประดับและอัญมณี) คณะวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร การทดสอบ ปรับปรุงและแก้ไขหลังจากได้สร้างต้นแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบเงินและโรเดียมขึ้นมาแล้ว ทำการทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่องการทำงานของชุดบรรจุสารเคมีและน้ำยาชุบ ชุดจ่ายกระแสไฟฟ้า ชุดควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ได้ตามข้อกำหนด

2.2 การประเมินแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้หลักการยศาสตร์ โดยใช้แบบประเมินแบ่งเป็น 3 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย คำถามจำนวน 4 ข้อ

ตอนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิว

โลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ จำนวน 22 ข้อ ประกอบด้วยคุณลักษณะสมบัติ 4 ด้าน คือ

1) ด้านการออกแบบโครงสร้าง
2) ด้านการออกแบบในการใช้งาน
3) ด้านการออกแบบความปลอดภัย
4) ด้านการออกแบบการบำรุงรักษา

ซึ่งแบบประเมินความคิดเห็น แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนน เป็น 5 ระดับ คือ

ระดับ 5 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ดีมาก
ระดับ 4 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ดี
ระดับ 3 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ พอใช้
ระดับ 2 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ต้องปรับปรุง
ระดับ 1 หมายถึง ผลการประเมินในระดับ ใช้ไม่ได้

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

2.3 การประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับ
กระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C เปรียบเทียบกับแบบเส้นตรงมาตรฐาน โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA (McAtamney, L and Corlett, E.N. (1993) อ้างอิง ผศ.นริศ เจริญพร) ซึ่งค่าที่ต้องการวัดโดยให้คะแนนมาตราส่วนประเมิน5 ระดับ โดยแบ่งแบบประเมินแบ่งออกเป็น 3 ตอน

ตอนที่ 1 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพของผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย คำถามจำนวน 4 ข้อ

ตอนที่ 2 แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เกี่ยวกับการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA จำนวน 16 ข้อ ซึ่งค่าที่ต้องการวัดโดยให้คะแนนมาตราส่วนประเมิน 5 ระดับ ผลการประเมิน คือ

ระดับ 0: คะแนนอยู่ที่ 0 หมายถึง งานนั้นไม่พบปัญหาทางการยศาสตร์

ระดับ 1: คะแนนอยู่ที่ 1-2 หมายถึง งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม

ระดับ 2: คะแนนอยู่ที่ 3-4 หมายถึง งานนั้นควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น

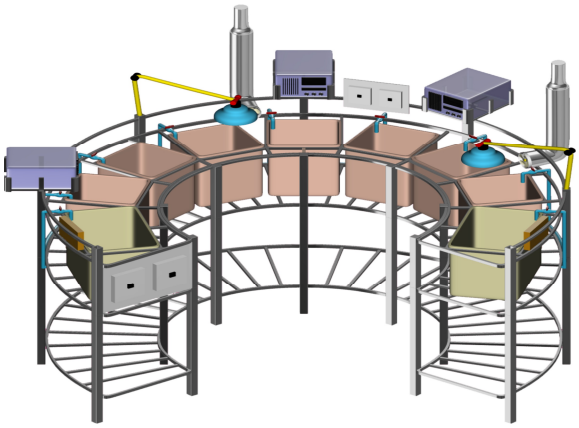
ระดับ 3: คะแนนอยู่ที่ 5-6 หมายถึง งานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงานดังกล่าว

ระดับ 4: คะแนนตั้งแต่ 7 ขึ้นไป หมายถึง งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การดำเนินงานในการจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลต่างๆ โดยใช้เครื่องมือ เช่น การใช้แบบประเมินการออกแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อใช้ประโยชน์ในการออกแบบและปรับปรุงงาน ให้มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยที่ดีขึ้น

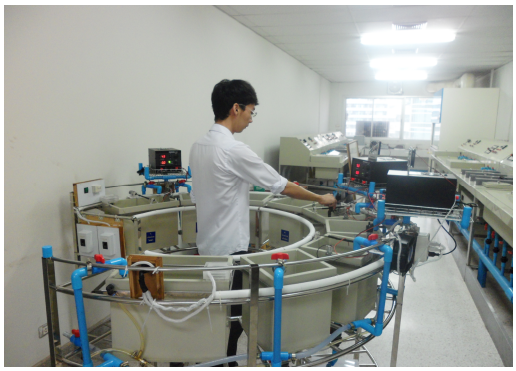


ภาพประกอบ 1 แสดงส่วนประกอบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C แบบ ค

ภาพประกอบ 2 โครงสร้างชั้นส่วนบนและส่วนล่าง ถอดประกอบได้ มีชั้นใช้วางถังชุบและสารเคมีต่าง ๆ

ภาพประกอบ 3 ถังล้างด้วยไฟฟ้า ถังชุบเงิน และชุบโรเดียม กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

ภาพประกอบ 4 ผู้ทดลอง มีส่วนสูง 165 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 105 เซนติเมตร



ภาพประกอบ 5 ผู้ทดลอง มีส่วนสูง 180 เซนติเมตร ความสูงถึงข้อศอก 114 เซนติเมตร

ผลการวิจัย

1. ผลการประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า ผู้วิจัยได้นำผลการวิจัยนำเสนอเป็นรายหัวข้อ เพื่อให้สอดคล้องกับสมมุติฐาน ดังนี้

ผลประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ผลการประเมินโดยรวมในระดับค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39 และวิเคราะห์เป็นรายหัวข้อพบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างมีค่าเฉลี่ย4.33 ด้านการออกแบบการใช้งานมีค่าเฉลี่ย 4.60 ด้านการออกแบบความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ย 4.28 ด้านการออกแบบสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ จากการประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี

ตาราง 1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การประเมินการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ค) ในภาพรวม

รายการประเมินการออกแบบ (แบบ ค)	$\overline{X}$	SD.	แปลความ
1.โครงสร้าง	4.33	0.46	ดี
2.การใช้งาน	4.60	0.46	ดีมาก
3.ความปลอดภัย	4.28	0.38	ดี
4.การซ่อมบำรุง	4.33	0.58	ดี
รวม	4.39	0.47	ดี

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะการออกแบบโครงสร้างแบบ (ค)

-เพิ่มขนาดถังชุบให้ใหญ่กว่านี้อีกได้ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตต่อรอบ

2. ผลประเมินความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) โดยใช้แบบประเมินท่าทางของร่างกาย-RULA มีค่าเฉลี่ย 2.00 ผลอยู่ที่ระดับ 1 คือ งานนั้นยอมรับได้ แต่อาจเป็นมีปัญหาทางการยศาสตร์ได้ ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม ดังแสดงในตาราง 2

จากผลการประเมินผู้วิจัยได้นำการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ (แบบ ค) นำมาสร้างเครื่องต้นแบบ เพราะมีค่าเฉลี่ยทั้งหมดในภาพรวมสูงที่สุด และผู้เชียวชาญเสนอแนะให้สร้างแบบที่มีต้นทุนถูกที่สุด

ตาราง 2 ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) จำนวน10 คน

ความสามารถในการลดความล้าจากการทำงานของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ C	$\overline{X}$	ระดับ	หมายถึง
ขั้นตอนที่ 1 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนบน (upper arm)	3.00	ระดับ 2	ควรได้รับการพิจารณา
ขั้นตอนที่ 2 การประเมินตำแหน่งแขนส่วนล่าง (Lower arm หรือ forearm)	1.00	ระดับ 1	ยอมรับได้
ขั้นตอนที่ 3 การประเมิน ตำแหน่งมือ และข้อมือ (Hand และ wrist)	2.00	ระดับ 1	ยอมรับได้
ขั้นตอนที่ 4 การประเมินการบิดข้อมือ (wrist twist)	1.00	ระดับ 1	ยอมรับได้
ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลจากขั้นตอนที่ 1-4 โดยใช้ตาราง A	3.00	ระดับ 2	ควรได้รับการพิจารณา
ขั้นตอนที่ 6 ประเมินระดับของการใช้แรงจากกล้ามเนื้อในการทำงาน	0.00	ระดับ 0	ไม่พบปัญหา
ขั้นตอนที่ 7 ประเมินภาระงานที่ทำ	0.00	ระดับ 0	ไม่พบปัญหา
ขั้นตอนที่ 8 สรุปผลคะแนนการวิเคราะห์ของแขนและมือ(5+6+7)	3.00	ระดับ 2	ควรได้รับการพิจารณา
ขั้นตอนที่ 9 การวิเคราะห์ท่าทางของศีรษะและคอ	3.00	ระดับ 2	ควรได้รับการพิจารณา
ขั้นตอนที่10 การวิเคราะห์ตำแหน่งของลำตัว (trunk)	2.00	ระดับ 1	ยอมรับได้
ขั้นตอนที่11 การประเมินท่าทางของขาและเท้า	1.00	ระดับ 1	ยอมรับได้
ขั้นตอนที่12 สรุปผลท่าทางการทำงานจากขั้นตอนที่ 9-11 โดยใช้ตาราง B	3.00	ระดับ 2	ควรได้รับการพิจารณา
ขั้นตอนที่13 ประเมินระดับลักษณะการใช้แรงจากกล้ามเนื้อ	1.00	ระดับ 1	ยอมรับได้
ขั้นตอนที่14 ประเมินระดับภาระงาน จาก น้ำหนักของหรือแรงที่ใช้	0.00	ระดับ 0	ไม่พบปัญหา
ขั้นตอนที่15 สรุปผลการวิเคราะห์ ศีรษะ คอ ลำตัว ขา และเท้า	2.00	ระดับ 1	ยอมรับได้
การสรุปผลระดับคะแนนของ RULA ในตาราง C (8 และ15)	2.00	ระดับ 1	ยอมรับได้

อภิปรายผล

1. จากสมมุติฐานที่ตั้งขึ้น ผลของการวิจัยได้อภิปรายผลของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ทั้ง 3 แบบ คือ แบบ ก แบบ ข และแบบ ค อภิปรายผลการออกแบบของชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตัว C (แบบ ค) ขนาดความกว้าง 1.60 เมตร ความยาว 1.80 เมตร ความสูง 1.40 เมตร การออกแบบกระบวนการชุบด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการชุบจำนวน 9 ขั้นตอน ดังนี้

1.ขั้นตอนล้างด้วยไฟฟ้า 2.ขั้นตอนล้างน้ำไหลล้น 3.ขั้นตอนกระตุ้นผิวด้วยกรด 4.ขั้นตอนล้างด้วยน้ำกลั่น 5.ขั้นตอนน้ำยาชุบเงิน 6.ขั้นตอนล้างเก็บกลับน้ำยาชุบเงิน 7.ขั้นตอนน้ำยาชุบโรเดียม 8.ขั้นตอนล้างเก็บกลับน้ำยาชุบโรเดียม 9.ขั้นตอนล้างน้ำไหลล้นและน้ำร้อน

เนื่องจากการพัฒนาโครงสร้างจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า ประกอบด้วย ชุดถังบรรจุน้ำยาชุบขนาด 15 ลิตร ชุดหม้อแปลงจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 15V 0-30 A ชุดควบคุมเวลา และชุดควบคุมอุณหภูมิ หลังจากการสร้างเครื่องต้นแบบซึ่งมีความสมบูรณ์ของกระบวนการชุบตามทฤษฎี สามารถชุบได้จริง สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมคิด ภิรมย์ภักดี. (2549) ได้ทดลองและพัฒนาเรื่อง “การพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน กรณีศึกษา บริษัท เอื้อวิทยาเครื่องอุปกรณ์ จำกัด “หลังจากการพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีได้คุณภาพชิ้นงานชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่มีผิวเคลือบที่ได้ความหนาสม่ำเสมอเป็นไปตามเกณฑ์ข้อยอมรับ คือ ชิ้นงานที่มีความหนาน้อยกว่า 6.0 มม.ความหนาผิวเคลือบเท่ากับ 91 ± 5 ไมครอน ได้ค่าดัชนี 0.56 ส่วนชิ้นงานที่มีความหนามากกว่าหรือเท่ากับ 6.0 มม. ความหนาผิวเคลือบเท่ากับ 100 ± 10 ไมครอน ค่าดัชนี 0.40 ซึ่งได้ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่สูงขึ้นกว่าก่อนการพัฒนา

2. จากสมมุติฐานที่ตั้งขึ้น แบบ ค มีค่าเฉลี่ยโดยภาพรวมสูงสุด และสร้างต้นแบบได้มีต้นทุนต่ำเหมาะสม ผลของการวิจัยได้อภิปรายผลของการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ตัว C (แบบ ค) อยู่ในระดับเกณฑ์ ดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.39(SD=0.47) โดยผลการประเมินรายด้าน คือ

2.1ด้านการออกแบบโครงสร้างพบว่าการออกแบบอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.33, SD=0.46) ทั้งนี้ เพราะความเหมาะสมของโครงสร้างตามทฤษฎีกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าด้านโครงสร้าง ความแข็งแรงของโครงสร้าง รูปทรงของเครื่องสวยงาม จัดวางตำแหน่งอุปกรณ์เหมาะสม ความสูง ความกว้าง ความยาวเหมาะสมกับหลักการยศาสตร์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรพจน์ เสรีรัส และ ชนกานต์ วุฒิวรคุปต์. (2552) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าบนที-นัต โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณภาพ ดังนี้กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการทางปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญต่อการผลิตที-นัต เป็นอย่างมาก ปัจจุบันนี้พบว่าในกระบวนการชุบยังขาดการควบคุมที่ดีเนื่องจากยังไม่มีการสร้างวิธีทำงานที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งทำให้เกิดข้อบกพร่องของที-นัต เป็นจำนวนมาก โดยปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น ได้แก่ ชิ้นงานเป็นรอย เป็นคราบมัว ชุบติดไม่ทั่ว ไหม้ ลอกง่าย เป็นผื่นเม็ดๆ และเกลียวดำ ซึ่งข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทำให้นำกลับไปซ่อมใหม่ ทำให้เสียทรัพยากรโดยไม่จำเป็นเสียเวลา วัตถุดิบและแรงงาน จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัย จึงมุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและปรับปรุงกระบวนการชุบสังกะสี เพื่อให้มีการควบคุมที่ดีและมีการทำงานที่เป็นมาตรฐาน โดยมีการศึกษาวิจัยที่โรงงานชุบสังกะสีแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ จากการศึกษาพบว่าปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากขาดการตรวจสอบในกระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติการไม่เหมาะสม ไม่มีมาตรฐานในการทำงาน เป็นต้น จากนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงโดยกำหนดวิธีการปฏิบัติงานที่เหมาะสม สร้างระบบการทำงานใหม่ให้มีการควบคุมการปฏิบัติงาน โดยกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงาน ในรูปแบบของเอกสารอย่างชัดเจน มีการจัดทำคู่มือน้ำยาชุบโลหะ จัดทำใบตรวจสอบน้ำยา จัดทำแผนการบำรุงรักษาต่างๆ มาใช้ในโรงงาน พบว่ากระบวนการชุบมีวิธีการทำงานที่เป็นมาตรฐานขึ้นและมี

ควบคุมที่ดี ทำให้ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีจำนวนลดลงจาก 8.96% เป็น 3.19 %

2.2 ด้านการออกแบบการใช้งาน พบว่า การออกแบบอยู่ในระดับเกณฑ์ ดีมาก ($\overline{X}$ =4.60, SD=0.46) ทั้งนี้เพราะมีการออกแบบให้สะดวกในการใช้งาน การออกแบบให้สะดวกในการเคลื่อนย้ายและเหมาะสมกับพื้นที่ การออกแบบให้ถอดประกอบได้ง่าย การออกแบบระยะแผงควบคุมระบบเหมาะสมในการใช้งาน การออกแบบขนาดและรูปแบบเหมาะสมสำหรับ SMEและสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนม เสือสืบพันธุ์. (2545) ได้ออกแบบและสร้างเรื่อง “ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี “ โดยออกแบบวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-30 V 0-5 A แบบลิเนียร์ พร้อมทั้งวงจรกำเนิดความถี่ตั้งแต่ 1- 99 มิลลิวินาทีและวงจรขับกำลังโดยให้สัญญาณไฟตรงจากวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าวงจรกำเนิดและขับสัญญาณพัลส์ โดยนำไปใช้กับในการชุบกรอบขาไอซี โดยการทดสอบประสิทธิภาพของรูปคลื่นที่ได้เมื่อจ่ายภาระที่เป็นถังชุบกับการจ่ายภาระที่เป็นตัวต้านทาน เพื่อทดสอบสัญญาณพัลส์ที่ได้ ตามทฤษฎีของ Enrique Gutierrez Jr. ผลการทดสอบสรุปได้ว่า ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี มีรายละเอียด ดังนี้

1) ชุดกำเนิดสัญญาณพัลส์สามารถปรับคลื่นคาบเวลาของรูปคลื่นได้ตั้งแต่ 1-99 มิลลิวินาที

2) ชุดจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-5 แอมป์ ปรับแรงดันได้ตั้งแต่ 0-30 โวลท์

3) ค่ากระเพื่อมของสัญญาณหรือค่าสัญญาณรบกวนต่ำกว่า 5 % ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์ในภาระแบบตัวต้านทนที่ปรับค่ากระแสขาออกที่ 5 แอมป์ แต่สูงกว่า 5 % เท่ากับ 6.25 % เมื่อปรับค่ากระแสด้านออกที่ 3.5 แอมป์ และกรณีเมื่อจ่ายเข้าถังชุบโดยปรับค่ากระแสที่ 3.4 แอมป์ จะมีค่าการกระเพื่อหรือค่าสัญญาณรบกวนมากขึ้น

4) ค่าการกระโดดของสัญญาณพัลส์ต่ำกว่า 5 % ของค่าปรับตั้งสัญญาณพัลส์ในภาระแบบตัวต้านทานและภาระที่ต่อเข้าช่องชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี ทั้งการเปลี่ยนตำแหน่งการวัดที่ขาออกของสัญญาณพัลส์และที่วัดคร่อมที่หน้าสัมผัสใกล้ช่องที่น้ำยาที่เกิดปฏิกิริยาอิเลคโทรไลท์

5) ค่าเวลาในการตั้งตัวรูปคลื่นน้อยกว่า 1 ใน 10 ของความกว้างพัลส์ทั้งภาระที่เป็นตัวต้านทานและช่องใกล้บริเวณการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยจะเห็นการหน่วงของเวลาชัดเจนเมื่อวัดคร่อมช่องใกล้บริเวณการเกิดปฏิกิริยาเคมี

6) เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์มีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดจากการปรับค่าเวลา On Time/Off Time ต่อค่าเวลาที่แสดงที่ออสซิลโลสโคปเท่ากับ 0.1 %

2.3 ด้านการออกแบบความปลอดภัย พบว่า การออกแบบอยู่ในระดับเกณฑ์ ดี ($\overline{X}$ =4.28, SD=0.38,) ทั้งนี้เพราะมีความปลอดภัยในการติดตั้งอุปกรณ์ ระบบป้องกันโดยการตัดไฟ การป้องกันอันตรายจากการสัมผัสไฟฟ้า เช่น ปุ่ม ปลั๊ก สายไฟฟ้า สวิทช์ ความปลอดภัยในขณะใช้งาน ความปลอดภัยในการซ่อมบำรุง การถ่ายและจัดเก็บสารเคมีมีความปลอดภัย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ นิรุตติ์ กิจพจนี; คณะคนอื่น ๆ. (2548) . ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการสร้างเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการสวิตช์ ด้วยวงจรแปลงผันแบบฟูล - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ และประกอบด้วยวงจรพัลส์วิดมอดูเลชั่น ซึ่งจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมและส่งไปที่ ชุดขับนำเกตของมอสเฟตกำลัง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากเกิดกำลังงานสูญเสีย จากการสวิตช์ต่ำและไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสนับเบอร์ โดยเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้านี้ สามารถใช้งานในการชุบโลหะได้หลายชนิด โดยขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาและตัวล่อที่จะนำมาชุบให้ติดกับชิ้นงาน

2.4 ด้านการออกแบบการซ่อมบำรุง พบว่า การออกแบบอยู่ในระดับเกณฑ์ดี ($\overline{X}$ =4.33,SD=0.58) ทั้งนี้เพราะมีการใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงทนทาน สะดวกในการซ่อมบำรุง วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่ชำรุดสามารถซื้อได้ง่าย การตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ง่าย การทำความสะอาด ล้างถังได้ง่าย การคัดแยกน้ำยาชุบและสารเคมี และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พงพันธุ์ ประสิทธิเมตต์. (2547) ได้พัฒนาและสร้างเรื่อง “การพัฒนาเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์

ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ “ โดยกำหนดเกณฑ์ในการพัฒนาเป็นแบบเพิ่มขึ้นต่อพิกัดเวลา คืออุณหภูมิคงที่ 57 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิน 7 องศาเซลเซียสต่อนาที การออกแบบส่วนควบคุมความร้อนผู้วิจัยกำหนดระบบการป้องการ 2 ลำดับ คือ ระดับที่ 1 ป้องกันด้านอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 57 องศาเซลเซียส $\pm$ 5 องศาเซลเซียสลำดับที่ 2 ป้องกันโดยการหน่วงเวลาไม่ให้เกิน 1 นาที ผลการพัฒนาการทดสอบประสิทธิภาพและการประเมินทางด้านกายภาพเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้มีดังนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนา โดยสร้างอุปกรณ์แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 12 โวลท์ดีซี 500 มิลลิแอมป์ และออกแบบเครื่องมือทดสอบลักษณะเป็นก้านที่มีชุดให้ความร้อน ขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร อยู่ด้านบนโดยก้านมีความยาว 1.20 เมตร พร้อมทั้งได้ทดสอบประสิทธิภาพและประเมินทางด้านกายภาพ สรุปได้ว่าเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่ระยะที่ 5 เซนติเมตร เครื่องมือทำงานที่เวลา 30 นาที โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่อยู่ที่ 58.78 องศาเซลเซียส

3.จากสมมุติฐานที่ตั้งขึ้น ผลของการวิจัยได้อภิปรายผลของการออกแบบชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียมโดยใช้หลักของการยศาสตร์ตัว C (แบบ ค) ผลการประเมินอยู่ที่ระดับ 1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 (SD= 0.00) หมายความว่าชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าสำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ แบบ (ค) ที่ได้ออกแบบ มีระดับความล้าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ทั้งนี้อาจมีปัญหาความล้าได้ถ้ามีการทำงานดังกล่าว ซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานาน สามารถลดระยะทางในการเดินและลดเวลาในการทำงาน สอดคล้องทางทฤษฎีของ สราวุธ สุธรรมาสา; คณะคนอื่นๆ. (2550) การเคลื่อนไหวของร่างกายหมายถึง การออกแรงเคลื่อนที่ของบุคคล เพื่อทำงานชิ้นหนึ่งชิ้นใดให้สำเร็จ ในระยะเวลาที่อาจจะกำหนดไว้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การเคลื่อนไหวของร่างกาย มีความสำคัญในการทำงาน เพราะถ้าตัวเคลื่อนไหวได้ถูกทิศทางจะประหยัดเวลา ประหยัดแรงงานและช่วยตัดการเคลื่อนไหวที่ไร้ประโยชน์หรือไม่มีประสิทธิภาพออกไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐธิดา บังเมฆ. (2547) ได้ศึกษาเรื่อง “เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชัน ที่มีต่อความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขา ผลการวิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขึ้นอยู่กับระยะเวลาและระดับความชันของการวิ่ง ดังนี้

การวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา ความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด เกิดความเมื่อยล้าขึ้นจากระยะเวลาที่ใช้ในการวิ่งเท่านั้น

การวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อขาส่วนล่างทั้ง 4 มัด เกิดความเมื่อยล้าขึ้นจากระยะเวลาและจากมัดกล้ามเนื้อเอง

ผลการระหว่างการวิ่งบนพื้นเรียบ 0 องศา และการวิ่งบนพื้นลาดชัน 3 องศา ทั้ง 30 นาที พบว่าค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนนอก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 10 และ 13 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน่องส่วนใน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาที 17 ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อโซเลียส ไม่มีความแตกต่าง ค่าเฉลี่ยของความเมื่อยล้าหน้าแข้ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในนาทีที่ 26 และได้ปรับปรุงอุปกรณ์ควบคุมให้สะดวก ทั้งนี้ชุดชุบสามารถเคลื่อนย้ายโดยง่าย ปรับระดับ แยกส่วนได้และมีขนาดพอเหมาะใช้ได้ในพื้นที่จำกัดได้ ติดตั้งในพื้นที่อย่างน้อย 3x4 ตารางเมตร ช่วยลดปัญหาด้านการยศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิลาวัลย์ ชัยแก่น ; คณะคนอื่นๆ. (2550) ได้ศึกษาเรื่อง “ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ “ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยด้านการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม ท่าทางการทำงานซ้ำซาก และการยกของ อัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อ พบว่าการสัมผัสปัจจัยทางการยศาสตร์ด้านท่าทางการทำงานไม่เหมาะสมร่วมท่าทางการทำงานซ้ำซาก และท่าทางการ

ทำงานไม่เหมาะสมร่วมการยกของ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อที่มีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัฒนา เอียวสวัสดิ์. (2541) ได้ทำการวิจัยเรื่อง คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและความเมื่อยล้าของพนักงานจับเส้นขนมจีนที่นั่งปฏิบัติงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่งยืนของพนักงานโรงงานขนมจีนรัตน์พร นิคมขนมจีนฉะเชิงเทรา จำนวน 10 คน โดยใช้เครื่องมือวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลัง กล้ามเนื้อขา ร่วมกับใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้า ขณะทำงานเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่ง 90 นาที นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน พบว่ากล้ามเนื้อหลังส่วนล่างขณะที่นั่งทำงานบนเก้าอี้นั่งกึ่งยืนมีความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อน้อยว่าการนั่งทำงานบนเก้าอี้เตี้ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กล้ามเนื้อขาไม่พบความแตกต่างระหว่างการนั่งทำงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่ง อีกทั้งยังพบว่า ค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อที่วัดได้ สามารถให้รายละเอียดการทำงานของกล้ามเนื้อได้ดีกว่าใช้แบบสอบถามความรู้สึกเมื่อยล้าอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

ความคิดเห็นเกี่ยวกับการพัฒนาชุดชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า สำหรับกระบวนการชุบเคลือบโรเดียม โดยใช้หลักของการยศาสตร์ ตามคุณลักษณะสมบัติ 4 ด้าน คือ

1) ด้านการออกแบบโครงสร้าง

1.1 โครงสร้างควรเพิ่มความแข็งแรงของชั้นวางหม้อแปลงไฟควรเป็นสแตนเลสทั้งหมด

1.2 โครงสร้างควรติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิฮีตเตอร์ให้เป็นมาตรฐาน

2) ด้านการออกแบบในการใช้งาน

2.1 การใช้งานควรมีระบบควบคุมเวลาชุบ

2.2 การใช้งานควรออกแบบจิ๊ก (jig) แขวนชิ้นงานให้เหมาะสม

2.3 การใช้งานควรเพิ่มขนาดถังชุบให้ใหญ่ได้ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตต่อรอบ

3) ด้านการออกแบบความปลอดภัย

3.1 ด้านความปลอดภัยควรปรับเพิ่มขั้วบวก (ตัวล่อ) เป็น 2 ขั้ว ช่วยให้อัตราการเกาะติดดีขึ้น

3.2 ด้านความปลอดภัยควรติดหลอดไฟส่องสว่างด้านบนตัวเครื่อง จะได้ทำงานได้อย่างสมบูรณ์

3.3 ด้านความปลอดภัยควรมีกล่องปิดมอเตอร์ สำหรับป้องกันสารเคมี

4) ด้านการออกแบบการบำรุงรักษา

4.1 การบำรุงรักษาควรสร้างแป้นควบคุมระบบไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนจากกล่องไม้เป็นวัสดุ PP เหมือนถัง จะช่วยเรื่องความทนทานและทนการกัดกร่อนจากสารเคมี

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1.) ด้านการออกแบบในการใช้งาน การออกแบบ จิ๊ก (jig) แขวนชิ้นงานและออกแบบขั้วบวก (ตัวล่อ) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเกาะผิว

2) ด้านการออกแบบในการใช้งาน ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเมื่อยล้ากับระดับความเค้นหรือระหว่างความเมื่อยล้ากับผลผลิตจากการปฏิบัติงาน

บรรณานุกรม

ชุมพล ศฤงคารศิริ. (2550). *การวางแผนและควบคุมการผลิต.*กรุงเทพฯ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

ณัฐธิดา บังเมฆ. (2547). *เปรียบเทียบผลของการวิ่งบนพื้นเรียบและพื้นลาดชันที่มีต่อความเมื่อยล้าของล้ามเนื้อขา.*วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การกีฬา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

นิรุตติ์ กิจพจนี; คณะคนอื่นๆ. (2548). *การสร้างเครื่องชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้หลักการสวิตช์ด้วยวงจรแปลงผันแบบฟูล – บริดจ์คอนเวอร์เตอร์.* สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2554, จาก http://www/library.kmutnb.ac.th.

พนม เสือสืบพันธ์. (2545). *การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ชุบเคลือบผิวกรอบขาไอซี.*วิทยานิพินธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พงพันธุ์ ประสิทธิเมตต์. (2547). *การพัฒนาเครื่องทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้.* วิทยานิพนธ์ กศ.ม.

(อุตสาหกรรมศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วรพจน์ เสรีรัฐ และชนกานต์ วุฒิวรคุปต์. (2552). *การ ปรับปรุงกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้าบนที-นัต โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณภาพ.* วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.

วัฒนา เอียวสวัสดิ์. (2541). *คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อและความเมื่อยล้าของพนักงานจับเส้นขนมจีนที่นั่งปฏิบัติงานบนเก้าอี้เตี้ยและเก้าอี้นั่งกึ่งยืน.*ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. (สุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหิดล.

วิลาวัลย์ ชัยแก่น; คณะคนอื่นๆ. (2550). *ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ* . วิชาการสาธารณสุข. 16 (2) : เชียงใหม่.

วีรวุธ มาฆะศิรานนท์. (2542). *คัมภีร์บริหาร องค์กรเรียนรู้สู่ TQM.* กรุงเทพฯ.

สมคิด ภิรมย์ภักดี. (2549). *การพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน กรณีศึกษาบริษัท เอื้อวิทยาเครื่องอุปกรณ์ จำกัด.*วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สุรสิงห์ ไชยคุณ; คณะคนอื่นๆ. (2547). Lab today. วารสาร.กรุงเทพฯ.

สราวุธ สุธรรมาสา; คณะคนอื่นๆ. (2550). *เออร์กอนอมิคส์และจิตวิทยาในการทำงาน.*หน่วยที่ 1-7. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. กรุงเทพฯ.

อนุสารแรงงาน. (2547). *การยศาสตร์สำนักงาน เพื่อสุขภาพของคนทำงาน*. วารสาร. 14(3): กรุงเทพฯ.

McAtamney, L and Corlett, E.N. (1993) RULA: a Survey method for investigation of work-related upper limb disorders, Applied Ergonomics, 24(2) 91-99 อ้างอิงจาก: Professor Alan Hedge, Cornell University (2001), อ้างอิงโดย ผศ.นริศ เจริญพร. สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2554, จาก www.est.or.th