

ความสัมพันธ์ของปริมาณตะกั่วในเลือด (PbB) กับระดับเอนไซม์แอลดีไฮด์ - อะมิโนเลวูกลินิก แอซิด
ดีไฮเดรเตส (δ -ALAD Activity) ซิงค์ โปรโตพอร์ฟิริน (ZPP) และแอลดีไฮด์ - อะมิโนเลวูกลินิก แอซิด
ในปัสสาวะ (ALAU) ในกลุ่มคนงานที่ทำงาน ไม่สัมผัสและสัมผัสกับสารตะกั่ว

วัชรชัย รุจิโรจน์กุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

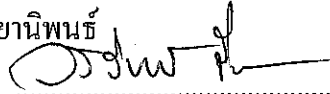
มิถุนายน 2549

ISBN 974-502-773-1

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ วัชรชัย รุจิโรจน์กุล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัย
บูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์



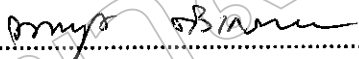
..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ ชีวาพร)



..... กรรมการ

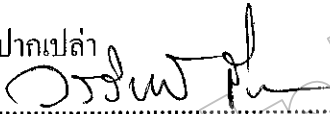
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชาย สุว่างวงศ์)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า



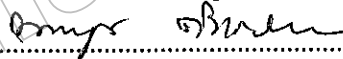
..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ ชีวาพร)



..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชาย สุว่างวงศ์)



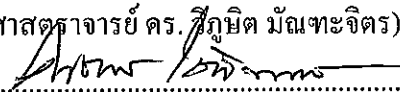
..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร)



..... กรรมการ

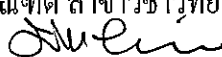
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภูษิต มั่นทะจิตร)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เกษนทร เกลิมวัฒน์)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. ประทุม ม่วงมี)

วันที่ 16 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2549

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ ชีวาพร ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน เอาใจใส่ และให้ความช่วยเหลือในการเดินทางไปเก็บตัวอย่างตามต่างจังหวัด ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้บริหาร โรงงานและบริษัทต่าง ๆ ตลอดจนพนักงานทุกท่านที่กรุณาให้ความร่วมมือในการเก็บตัวอย่าง และตอบแบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณคุณสุวรรณา จินดาถาวรกิจ และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลรามาริบัติทุกท่านที่ให้ความกรุณาในการวิเคราะห์ระดับซิงค์ โปรโตพอร์พัยริน ขอขอบคุณผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ชลบุรีที่อนุญาตให้ใช้สถานที่และเครื่องมือวิเคราะห์บางส่วน ขอขอบคุณคุณกมล ฝอยหิรัญ และคุณวราพร ชลอำไพ ที่กรุณาดูแลและให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการตรวจวิเคราะห์ระดับตะกั่วในเลือดเป็นอย่างดี ขอขอบคุณภาควิชาวาริชศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์บางส่วน ขอขอบคุณคุณวัฒน์ ศิริบุรานนท์ และเจ้าหน้าที่บริษัทชลบุรี อาร์ ไอ เอ จำกัด ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและช่วยตรวจวิเคราะห์ CBC รวมทั้งท่านอื่น ๆ ที่มีได้เอื้อนในในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ซึ่งมีส่วนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

วิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากโครงการบัณฑิตศึกษา ฝึกอบรมและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนาศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ทบวงมหาวิทยาลัย จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

วัชรชัย รุจิโรจน์กุล

45912005: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: ตะกั่วในเลือด/ ตัวชี้วัดความเป็นพิษของตะกั่ว

วัชรชัย รุจิโรจน์กุล: ความสัมพันธ์ของปริมาณตะกั่วในเลือด (PbB) กับระดับเอนไซม์เดลต้า-อะมิโนเลวูลินิก แอซิด ดีฮัยดราเทส (δ -ALAD ACTIVITY) ซิงค์ โปรโตพอร์ฟิริน (ZPP) และเดลต้า-อะมิโนเลวูลินิกแอซิดในปัสสาวะ (ALAU) ในกลุ่มคนงานที่ทำงานไม่สัมผัสและสัมผัสกับสารตะกั่ว (RELATIONSHIP OF BLOOD LEAD LEVEL (PbB) TO DELTA-AMINOLEVULINIC ACID DEHYDRATASE (δ -ALAD ACTIVITY), ZINC PROTOPORPHYRIN (ZPP) AND DELTA-AMINO LEVULINIC ACID IN URINE (ALAU) IN NON-EXPOSED AND EXPOSED WORKERS) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์:

วรวิทย์ ชีวาพร, ป.ร.ด., พิชาญ สว่างวงศ์, ป.ร.ด., นงนุช ตั้งเกริกโอฬาร, ป.ร.ด. 110 หน้า. ปี พ.ศ. 2549. ISBN 974-502-773-1

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณตะกั่วในเลือด กับระดับเอนไซม์เดลต้า-อะมิโนเลวูลินิก แอซิด ดีฮัยดราเทส ซิงค์ โปรโตพอร์ฟิริน และเดลต้า-อะมิโนเลวูลินิกแอซิดในปัสสาวะ ในกลุ่มคนงานที่ทำงานไม่สัมผัสและสัมผัสกับสารตะกั่ว ผลวิจัย พบระดับตะกั่วในเลือดในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วมีค่า $2.02 - 13.19 \mu\text{g/dl}$ และในกลุ่มสัมผัสสารตะกั่ว ได้แก่ โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานถลุงตะกั่ว และโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าตะกั่วในเลือด $12.42 - 67.24$, $28.88 - 57.66$ และ $1.29 - 15.92 \mu\text{g/dl}$ ตามลำดับ สำหรับระดับเอนไซม์เดลต้า-อะมิโน เลวูลินิก แอซิด ดีฮัยดราเทส ระดับซิงค์โปรโตพอร์ฟิริน และระดับกรดเดลต้า-อะมิโนเลวูลินิกในปัสสาวะ ในกลุ่มที่ไม่สัมผัสและสัมผัสกับตะกั่ว มีค่า $190-528$ และ $37.9-425 \text{ Unit/ml Erythrocyte}$, $34-96$ และ $30-227 \mu\text{g/dl Whole Blood}$ และ $0-7.33$ และ $0-6.94 \text{ mg/dl}$ ตามลำดับ พบความสัมพันธ์ระหว่างระดับตะกั่วในเลือดกับระดับเอนไซม์เดลต้า-อะมิโนเลวูลินิก แอซิด ดีฮัยดราเทส และระดับซิงค์ โปรโตพอร์ฟิริน อย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยมีค่า $r = -0.93$ และ 0.80 ตามลำดับ ไม่พบความสัมพันธ์กับระดับกรดเดลต้า-อะมิโนเลวูลินิกในปัสสาวะทั้งในกลุ่มทำงานไม่สัมผัสและสัมผัสกับสารตะกั่ว สรุปได้ว่าระดับเอนไซม์เดลต้า-อะมิโนเลวูลินิก แอซิด ดีฮัยดราเทส เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ ที่อาจนำมาใช้เพื่อตรวจคัดกรองการปนเปื้อนของสารตะกั่วในกลุ่มคนงานที่ทำงานสัมผัสสารตะกั่วได้ ในขณะที่ ระดับซิงค์ โปรโตพอร์ฟิริน เมื่อเปรียบเทียบกับระดับเอนไซม์เดลต้า-อะมิโนเลวูลินิก แอซิด ดีฮัยดราเทสแล้ว มีความไวต่ำกว่า

45912005: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

KEYWORDS: BLOOD LEAD LEVEL/ BIOMARKER

WATCHARACHAI RUJIRKUL: RELATIONSHIP OF BLOOD LEAD LEVEL (PbB) TO DELTA-AMINOLEVULINIC ACID DEHYDRATASE (δ -ALAD ACTIVITY), ZINC PROTOPORPHYRIN (ZPP) AND DELTA-AMINO LEVULINIC ACID IN URINE (ALAU) IN NON-EXPOSED AND EXPOSED WORKERS. THESIS ADVISORS: VORAVIT CHEEVAPORN, Ph.D., PICHAN SAWANGWONG, Ph.D., NONGNUTH THANGKEARKOLAN, Ph.D. 110 P. 2006. ISBN 974-502-773-1

The purpose of this research was to study the relationship of blood lead level to delta-aminolevulinic acid dehydratase (δ -ALAD), zinc protoporphyrin (ZPP) and delta-aminolevulinic acid in urine (ALAU) in non-exposed and exposed workers. Results of the investigation indicated that blood lead level (PbB) in non-exposed workers was from 2.02 to 13.19 $\mu\text{g}/\text{dl}$, and in exposed workers such as batteries factory, lead melting factory, and electronic factory was from 12.42 to 67.24, 28.88 to 57.66, and 1.29 to 15.92 $\mu\text{g}/\text{dl}$, respectively. The levels of delta-aminolevulinic acid dehydratase, zinc protoporphyrin and delta-aminolevulinic acid in urine of both non-exposed and exposed workers were in the range of 190 - 528, 37.9 - 425 Unit/ ml Erythrocyte, 34 - 96, 30 - 227 $\mu\text{g}/\text{dl}$ of Whole Blood, and 0 - 7.33, 0 - 6.94mg/ dl, respectively. In exposed workers, blood lead level, delta-aminolevulinic acid dehydratase and zinc protoporphyrin were found significantly correlation ($p < 0.05$, $r = 0.93$ and 0.80 , respectively). In contrast, delta-aminolevulinic acid in urine was found not significantly correlated with blood lead level both in exposed and non-exposed workers. We concluded that delta-aminolevulinic acid dehydratase may be used as a biomarker for lead contamination screening among exposed workers, while zinc protoporphyrin was less sensitive in relation to delta-aminolevulinic acid dehydratase.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
คำนิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
สถานที่ทำการวิจัย.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
คุณสมบัติของสารตะกั่วและการนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม.....	6
แหล่งที่มาและการเข้าสู่ร่างกายของสารตะกั่ว.....	7
พิษวิทยาของโรคพิษตะกั่ว.....	11
พิษต่อเม็ดเลือดแดง.....	11
พิษต่อระบบประสาท.....	13
พิษต่อการทำงานของไต.....	14
พิษต่อระบบสืบพันธุ์.....	14
พิษต่อระบบทางเดินอาหาร.....	14
อาการทางคลินิกกับระดับตะกั่วในเลือด	14
การได้รับพิษเฉียบพลัน.....	15
การได้รับพิษเรื้อรัง.....	15

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
กระบวนการสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน.....	17
โครงสร้างของฮีโมโกลบิน.....	17
การสังเคราะห์ฮีโมโกลบิน.....	18
การทดสอบเกี่ยวกับการเกิดพิษของสารตะกั่ว.....	20
ตัวชี้วัดทางชีวภาพของการสัมผัสสารตะกั่ว.....	22
ระดับตะกั่วในเลือด.....	22
ระดับเอนไซม์ ALAD ในเลือด.....	23
ระดับ ALA ในปัสสาวะ.....	23
ระดับ ZPP ในเลือด.....	24
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	30
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	30
วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง.....	32
ระเบียบวิธีวิจัย.....	33
ผังการทำงานและการรวบรวมข้อมูล.....	33
การเก็บข้อมูลและวิธีการวิเคราะห์.....	33
แบบสอบถาม.....	33
การวิเคราะห์ระดับตะกั่วในเลือดโดยเครื่อง GFAAS.....	34
การตรวจการทำงานของเอนไซม์ ALAD.....	37
การวิเคราะห์ปริมาณ ALA ในปัสสาวะ.....	39
การตรวจระดับ ZPP โดยเครื่อง Hematofluorometer.....	40
การคัดแยกตัวอย่างที่มีภาวะโลหิตจางจากการขาดเหล็ก.....	41
การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติ.....	42
4 ผลการศึกษา.....	45
การกระจายข้อมูล ALAD, ALAU, ZPP และ PbB.....	45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ระดับสารตะกั่วในเลือด.....	49
ระดับซิงค์ โปรโตพอร์ฟิรินในเลือด.....	49
ระดับกรดแลคติก อะมิโนเลวูลินิกในปัสสาวะ.....	51
ระดับเอ็นไซม์แลคติก อะมิโนเลวูลินิก ดีไฮโดรเทสในเลือด.....	53
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PbB กับระดับ ALAD, ZPP และ ALAU ในกลุ่ม ที่ไม่สัมผัสตะกั่วและกลุ่มที่สัมผัสตะกั่ว.....	53
5 อภิปรายและสรุปผล.....	57
อภิปรายผล.....	57
สรุปผลการวิจัย.....	60
ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก ข้อมูลตัวอย่างและผลการตรวจวิเคราะห์.....	69
ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	78
ภาคผนวก ค ข้อมูลการคำนวณทางสถิติด้วย SPSS for Windows.....	82
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 อาชีพหรือปฏิบัติการที่อาจทำให้ผู้ทำงานได้รับสารตะกั่ว.....	8
2 อาชีพหรือกิจกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องกับสารตะกั่วแต่อาจเกิดพิษจากสารตะกั่วได้.....	10
3 การประเมินการบริโภคตะกั่วจากอากาศ ดิน อาหารและน้ำ.....	10
4 ระดับตะกั่วต่ำสุดในเลือดที่ทำให้เกิดอาการทางคลินิกในระบบอวัยวะต่าง ๆ.....	16
5 สภาพแวดล้อมสำหรับเครื่อง GFAAS ยี่ห้อ Varian รุ่น SpectrAA 640Z ที่ใช้ตรวจวิเคราะห์ระดับตะกั่วในเลือด.....	36
6 การทำ Working Standard โดยการทำ Dilution จาก Stock Standard.....	40
7 การประเมินภาวะผิดปกติจากการขาดเหล็ก.....	42
8 เกณฑ์การวินิจฉัยสำหรับภาวะขาดเหล็ก	43
9 Maximum Hemoglobin Concentration and Hematocrit Values for Anemia.....	44
10 ค่าสถิติของระดับ ALAD, ZPP, PbB และ ALAU ในกลุ่มที่ทำงานไม่สัมผัสสารตะกั่วและในกลุ่มที่ทำงานสัมผัสสารตะกั่ว.....	45
11 ระดับ ALAD, ZPP, PbB และ ALAU ในกลุ่มที่ไม่สัมผัสสารตะกั่วและในกลุ่มที่สัมผัสสารตะกั่วจากโรงงานต่าง ๆ.....	50
12 ระดับ ALAD, ZPP, PbB และ ALAU ในกลุ่มที่ไม่สัมผัสสารตะกั่วในเพศชายและหญิง.....	51
13 ระดับ ALAD, ZPP, PbB และ ALAU ในกลุ่มที่สัมผัสสารตะกั่วในเพศชายและหญิง.....	51
14 ระดับ ALAD, ZPP, PbB และ ALAU ในระยะเวลาต่าง ๆ ที่ทำงานสัมผัสสารตะกั่ว.....	52
15 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PbB กับระดับ ALAD, ZPP และ ALAU.....	55
16 ระดับ PbB, ALAD, ZPP ในเลือด และ ALAU ในปัสสาวะ ของคนที่ทำงานในโรงงานถลุงตะกั่ว และไม่พบภาวะการขาดเหล็ก ภาวะพร่องเหล็ก และภาวะติดเชื้อเรื้อรัง แต่มีภาวะซีด.....	56
17 ระดับ PbB, ALAD, ZPP ในเลือด และ ALAU ในปัสสาวะ ของคนที่ทำงานในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ และไม่พบภาวะการขาดเหล็ก ภาวะพร่องเหล็ก และภาวะติดเชื้อเรื้อรัง แต่มีภาวะซีด.....	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
18 ระดับตะกั่วในเลือดจากงานวิจัยอื่น ๆ.....	59
19 ข้อมูลตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ของกลุ่มคนที่ทำงานสัมผัสตะกั่ว.....	70
20 ข้อมูลตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ของกลุ่มคนที่ทำงานสัมผัสตะกั่ว ซึ่งถูกคัดออกเนื่องจากไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินภาวะผิดปกติจากการขาดเหล็ก หรือข้อมูลไม่ครบถ้วนสมบูรณ์.....	72
21 ข้อมูลตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ของกลุ่มคนที่ทำงานไม่สัมผัสตะกั่ว.....	73
22 ข้อมูลตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ ของกลุ่มคนที่ทำงานไม่สัมผัสตะกั่ว ซึ่งถูกคัดออกเนื่องจากไม่ผ่านเกณฑ์ประเมินภาวะผิดปกติจากการขาดเหล็ก หรือข้อมูลไม่ครบถ้วนสมบูรณ์.....	76
23 ข้อมูลเชิงพรรณนาของระดับ ALAD ในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	83
24 ข้อมูลเชิงพรรณนาของระดับ ZPP ในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	83
25 ข้อมูลเชิงพรรณนาของระดับ ALAU ในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	84
26 ข้อมูลเชิงพรรณนาของระดับ PbB ในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	84
27 ข้อมูลเชิงพรรณนาของระดับ ALAD ในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	85
28 ข้อมูลเชิงพรรณนาของระดับ ZPP ในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	86
29 ข้อมูลเชิงพรรณนาของระดับ ALAU ในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	87
30 ข้อมูลเชิงพรรณนาของระดับ PbB ในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	88
31 การทดสอบการแจกแจงของระดับ ALAD ในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	89
32 การทดสอบการแจกแจงของระดับ ZPP ในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	89
33 การทดสอบการแจกแจงของระดับ ALAU ในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	90
34 การทดสอบการแจกแจงของระดับ PbB ในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	90
35 การทดสอบการแจกแจงของระดับ ALAD ในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	91
36 การทดสอบการแจกแจงของระดับ ZPP ในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	91
37 การทดสอบการแจกแจงของระดับ ALAU ในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	92
38 การทดสอบการแจกแจงของระดับ PbB ในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	92
39 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ ALAD ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

[illegible]

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
54 ค่า P-value ของระดับ ZPP ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์.....	98
55 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ ALAU ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่ว	98
56 ค่า P-value ของระดับ ALAU ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	98
57 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ ALAU ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานผลิตแบตเตอรี่.....	99
58 ค่า P-value ของระดับ ALAU ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานผลิตแบตเตอรี่.....	99
59 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ ALAU ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานถลุงตะกั่ว.....	99
60 ค่า P-value ของระดับ ALAU ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานถลุงตะกั่ว.....	100
61 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ ALAU ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์.....	100
62 ค่า P-value ของระดับ ALAU ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์.....	100
63 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ PbB ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	101
64 ค่า P-value ของระดับ PbB ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	101
65 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ PbB ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานผลิตแบตเตอรี่.....	101
66 ค่า P-value ของระดับ PbB ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานผลิตแบตเตอรี่.....	102
67 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ PbB ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานถลุงตะกั่ว.....	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
68 ค่า P-value ของระดับ PbB ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานถลุงตะกั่ว.....	102
69 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ PbB ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์.....	103
70 ค่า P-value ของระดับ PbB ระหว่างกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่วกับกลุ่มสัมผัสตะกั่วที่ทำงานในโรงงานอิเล็กทรอนิกส์.....	103
71 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ ALAD, ALAU, ZPP และ PbB ระหว่างเพศชายและเพศหญิงในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	103
72 ค่า P-value ของระดับ ALAD, ALAU, ZPP และ PbB ระหว่างเพศชายและเพศหญิงในกลุ่มไม่สัมผัสตะกั่ว.....	104
73 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ ALAD, ALAU, ZPP และ PbB ระหว่างเพศชายและเพศหญิงในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	104
74 ค่า P-value ของระดับ ALAD, ALAU, ZPP และ PbB ระหว่างเพศชายและเพศหญิงในกลุ่มสัมผัสตะกั่ว.....	105
75 การเปรียบเทียบค่ากลางของระดับ ALAD, ALAU, ZPP และ PbB ในกลุ่มที่ทำงานสัมผัสตะกั่ว โดยแบ่งตามระยะเวลาการทำงาน.....	105
76 ค่า P-value ของระดับ ALAD, ALAU, ZPP และ PbB ในกลุ่มที่ทำงานสัมผัสตะกั่ว โดยแบ่งตามระยะเวลาการทำงาน.....	106
77 ค่า P-value และค่า r ของระดับ ALAD กับ PbB ในกลุ่มที่ทำงานไม่สัมผัสตะกั่ว....	106
78 ค่า P-value และค่า r ของระดับ ZPP กับ PbB ในกลุ่มที่ทำงานไม่สัมผัสตะกั่ว.....	107
79 ค่า P-value และค่า r ของระดับ ALAU กับ PbB ในกลุ่มที่ทำงานไม่สัมผัสตะกั่ว...	107
80 ค่า P-value และค่า r ของ $\ln(\text{ALAD})$ กับ PbB ในกลุ่มที่ทำงานสัมผัสตะกั่ว.....	108
81 ค่า P-value และค่า r ของ $\ln(\text{ZPP})$ กับ PbB ในกลุ่มที่ทำงานสัมผัสตะกั่ว.....	108
82 ค่า P-value และค่า r ของระดับ ALAU กับ PbB ในกลุ่มที่ทำงานสัมผัสตะกั่ว.....	109

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แหล่งที่มาและเส้นทางที่ตะกั่วจากสิ่งแวดล้อมผ่านเข้าสู่มนุษย์.....	9
2 การเข้าสู่ร่างกายของตะกั่วและอวัยวะต่างๆ ที่ตะกั่วไปสะสม.....	12
3 กระบวนการสร้างฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง.....	13
4 โครงสร้างของ Hemoglobin และ Iron Containing Heme Group.....	17
5 ขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์ฮีโม.....	18
6 การสร้าง Delta-Aminolevulinic Acid โดยใช้เอนไซม์ ALA Synthase ภายในไมโทคอนเดรีย.....	19
7 การสร้าง Porphobilinogen; ALA Dehydratase ใน Cytosol.....	20
8 การเปลี่ยน Porphobilinogen 4 โมเลกุล เป็น Hydroxymethylbilane และ Uroporphyrinogen.....	21
9 ปฏิกิริยา Decarboxylation ทำให้ Uroporphyrinogen กลายเป็น Coprophyrinogen.....	22
10 กรอบแนวคิดในการศึกษา.....	30
11 ผังการทำงานและการรวบรวมข้อมูล.....	33
12 ภาพฮิสโตแกรมแสดงการกระจายของระดับ ALAD, ZPP, PbB และ ALAU ในกลุ่มที่ทำงานไม่สัมผัสและสัมผัสกับสารตะกั่ว.....	46
13 ระดับ ALAD, ZPP, PbB และ ALAU ในเพศชายและหญิง.....	47
14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PbB กับระดับ ALAD, ZPP และ ALAU ในกลุ่มที่ไม่สัมผัสสารตะกั่วและในกลุ่มที่สัมผัสสารตะกั่ว.....	54
15 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Unicam รุ่น HELIOS β ที่ใช้ตรวจวิเคราะห์หาระดับ ALAD และ ALAU.....	80
16 เครื่อง Hematofluorometer ยี่ห้อ AVIV รุ่น 206D ที่ใช้ตรวจวิเคราะห์ระดับ ZPP.....	80
17 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ชนิด Graphite Furnace ยี่ห้อ Varian รุ่น SpectrAA 640Z ที่ใช้ตรวจวิเคราะห์ระดับตะกั่วในเลือด.....	81