



# การสัมผัสสารไดทูเอทิลเฮซิลพทาเลท (ดีอีเอชพี) ทางหายใจและระดับสารเมแทบอลิต์ในปัสสาวะของพนักงานอุตสาหกรรมพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์

ธีรพัฒน์ สานิพามะณี นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย) รองศาสตราจารย์ ดร. ประมุข โอศิริ Sc.D. (Industrial Hygiene) ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล  
รองศาสตราจารย์ ดร. สมพร กันทรดุษฎี เตรียมชัยศรี Ph.D. (Neuroscience) คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเฉลิมกาญจนา  
รองศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชัย ชัยกิตติภรณ์ Dr.P.H. (Epidemiology) คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพกร จงวิศาล Ph.D. (Industrial Hygiene)

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการสัมผัสสาร Di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) ทางหายใจและวิเคราะห์ระดับสารเมแทบอลิต์ในปัสสาวะของพนักงานโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก โพลีไวนิลคลอไรด์ จำนวน 56 คนโดยใช้แบบสัมภาษณ์เพื่อเก็บข้อมูลพื้นฐาน และเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดตัวบุคคลตาม NIOSH Method 5020 เพื่อประเมินการสัมผัส DEHP ทางหายใจ และเก็บตัวอย่างปัสสาวะเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารบ่งชี้การสัมผัส ซึ่งประกอบด้วย Mono(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate (MEHHP) และ Mono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate (MEOHP) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลิควิดโครมาโตกราฟี ผลการศึกษาพบว่าการสัมผัส DEHP ที่ความเข้มข้นเฉลี่ย  $7.796 \pm 3.113 \mu\text{g}/\text{m}^3$  กลุ่มพนักงานทำความสะอาดเครื่องจักรมีระดับการสัมผัสสูงสุดที่ความเข้มข้นเฉลี่ย  $9.335 \pm 3.927 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ผลการวิเคราะห์สาร

MEHHP และ MEOHP ในปัสสาวะก่อนการสัมผัสพบความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $6.905 \pm 5.142$  และ  $7.353 \pm 4.955 \mu\text{g}/\text{g-creatinine}$  และหลังการสัมผัสพบความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ  $9.766 \pm 7.654$  และ  $10.120 \pm 7.624 \mu\text{g}/\text{g-creatinine}$  ผลของการทดสอบทางสถิติพบความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEHHP และ MEOHP หลังการสัมผัสมีค่าสูงกว่าก่อนการสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ข้อเสนอแนะของการศึกษานี้ ควรมีการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อเฝ้าระวังการสัมผัสอย่างต่อเนื่องและวิเคราะห์ความเข้มข้นของสาร MEHHP และ MEOHP ในตัวอย่างปัสสาวะเพิ่มเติม เพื่อใช้เป็นข้อมูลยืนยันการกำหนดสารบ่งชี้การสัมผัส DEHP ที่ถูกต้อง

## คำสำคัญ:

DEHP/ MEHHP/ MEOHP/ เมแทบอลิต์ในปัสสาวะ/ พนักงานโรงงานผลิตพีวีซี

\* ผู้รับผิดชอบบทความ รองศาสตราจารย์ ดร. ประมุข โอศิริ ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 420/1 ถนนราชวิถี เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์: 0-2644-4069-70 ต่อ 102 โทรสาร: 0-2354-8561 E-mail: pramuk.osi@mahidol.ac.th

# Inhalation Exposure to Di (2-ethylhexyl) Phthalate (DEHP) and Urinary Metabolites in Polyvinyl Chloride Processing Workers

Teepipath Sanipamane, Student in M.Sc. (Industrial Hygiene and Safety)

Associate Professor Dr. Pramuk Osiri, Sc.D. (Industrial Hygiene) Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Mahidol University

Associate Professor Dr. Somporn Kantharadussadee-Triamchaisri, Ph.D. (Neuroscience) Faculty of Public Health, Chulalongkornrajavidyalaya University

Associate Professor Dr. Chalermchai Chaikittiporn, Dr.P.H. (Epidemiology) Faculty of Public Health, Thammasat University

Assistant Professor Dr. Noppakorn Chongvisal, Ph.D. (Industrial Hygiene)

## Abstract

*This cross-sectional study aimed to evaluate the level of inhalation exposure to di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) and analyze urinary metabolites concentration of 56 workers in polyvinyl chloride manufacturing. The questionnaire was conducted to collect health information, NIOSH method 5020 was applied for DEHP personal exposure assessment and liquid chromatography was used to determine metabolites concentration which were Mono (2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate (MEHHP) and Mono (2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate (MEOHP) in worker's urine. The results of exposure assessment revealed that the average concentration of DEHP at workplaces were  $7.796 \pm 3.113 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The majority group was the machinery cleaning workers who had exposed to the average of  $9.335 \pm 3.927 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . The analyses*

*of MEHHP and MEOHP from worker's urine were conducted at pre-shift and post-shift. The results at pre-shift showed the average concentration of  $6.905 \pm 5.142$  and  $7.353 \pm 4.955 \mu\text{g}/\text{g-creatinine}$  whereas at post-shift revealed the average of  $9.766 \pm 7.654$  and  $10.120 \pm 7.624 \mu\text{g}/\text{g-creatinine}$ , respectively. The results of the statistical tests showed that the MEHHP and MEOHP of post-shift were significantly higher than pre-shift ( $p < 0.05$ ). The recommendations were that the personal air sampling must be conducted continuously and the concentration measurement of MEHHP and MEOHP in worker's urine must be further studied in order to provide a better biomarker for DEHP exposure assessment.*

## Keywords:

*DEHP/MEHHP/MEOHP/Urinary metabolites/ Polyvinyl chloride/ Workers*

\* Corresponding author Assoc. Prof. Pramuk Osiri, Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Mahidol University, 420/1 Ratchawithi Road, Ratchathewi District, Bangkok, 10400 Tel. 0-2 0-2644-4069-70 Ext.102 Fax.: 0-2354-8561 E-mail: pramuk.osi@mahidol.ac.th



## บทนำ

ไดเอทิลเฮกซิลฟทาเลท (Di (2-ethylhexyl) phthalate; DEHP) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้เป็นวัตถุติดกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (PVC) DEHP จัดเป็นสารเติมแต่งในกลุ่มพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ที่ใช้เติมลงไปในโพลีเมอร์ให้มีสมบัติที่สามารถยืดหยุ่นได้ มีความอ่อนนุ่ม ง่ายต่อการนำไปรีด ดึง หล่อแบบ หรือนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ DEHP เป็นสารเคมีที่มีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมพลาสติกพีวีซีเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุที่ DEHP ที่ผสมลงไปในพลาสติกไม่ได้เกิดพันธะเคมีกับโพลีเมอร์ เป็นเพียงการแทรกตัวอยู่ตามช่องว่างระหว่างโมเลกุลเท่านั้น ทำให้ DEHP มีโอกาสถูกชะออกจากผลิตภัณฑ์และปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมหรือเข้าสู่ร่างกายผู้บริโภคได้โดยง่าย (Wittassek, Angerer, & Brüning, 2011; Fong, Uang, & Lee, 2014) ดังนั้น กลุ่มประชากรที่มีการรับสัมผัส DEHP จึงสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มประชากรทั่วไป และกลุ่มพนักงานที่ทำงานอยู่ในโรงงานผลิต DEHP หรือนำ DEHP ไปใช้ในทางอุตสาหกรรม กลุ่มประชากรทั่วไปมักได้รับสัมผัสผ่านทางอาหารบริโภคที่มีการปนเปื้อน DEHP จากบรรจุภัณฑ์ หรือกระบวนการผลิตอาหาร (Fromme et al., 2007; Wittassek et al., 2007; ECB, 2008) การรับสัมผัสทางผิวหนังจากการใช้ผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคลที่มี DEHP เป็นส่วนประกอบ (Duty, Calafat, & Hauser, 2005) การรับสัมผัสทางการหายใจที่มีการเจือปนของ DEHP ในอากาศภายในอาคาร (Otake, Yoshinaga, & Yanagisawa, 2004) และการรับสัมผัสในกลุ่มผู้ป่วยขณะเข้ารับการรักษาทางการแพทย์ที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์พลาสติกที่มี DEHP เป็นส่วนผสม (ATSDR, 2002; ECB, 2008) สำหรับการรับสัมผัสในกลุ่มพนักงานโดยส่วนใหญ่เป็นการรับสัมผัสทางการหายใจ โดยเฉพาะกลุ่มพนักงานที่ปฏิบัติงานในโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพีวีซี ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนสูง ช่วยส่งเสริมให้ DEHP เกิดการระเหยเป็นไอและปลดปล่อยสู่บรรยากาศการทำงานได้ง่าย เห็นได้จากผลการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดตัวบุคคลในกลุ่มพนักงานโรงงานผลิตสายไฟและรองเท้าบูทพีวีซีในประเทศเนเธอร์แลนด์ที่พบว่า มี DEHP ปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศการทำงานสูงสุด

1.26 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Dirven et al., 1993) ผลการศึกษาในกลุ่มพนักงานโรงงานผลิตพีวีซีของประเทศไต้หวันพบว่า มีการสัมผัส DEHP เฉลี่ย 15.5 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน (Fong, Uang, & Lee, 2014) และผลการศึกษาจากโรงงานผลิตพีวีซี จำนวน 9 แห่งในประเทศฟินแลนด์ที่พบว่า มีระดับความเข้มข้นของ DEHP ในบรรยากาศการทำงานเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20 - 500 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Vainiotalo & Pfaffli, 1990)

ด้วยเหตุที่ DEHP ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก จึงมีผู้สนใจทำการศึกษาถึงผลกระทบทางสุขภาพของกลุ่มประชากรผู้บริโภคและกลุ่มพนักงานที่รับสัมผัสสารนี้เป็นจำนวนมาก ผลจากทดสอบทางด้านพิษวิทยาพบข้อสรุปว่า DEHP เป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ของหนูเพศผู้ โดย DEHP มีฤทธิ์ขัดขวางการทำงานของเซลล์เซอร์โทลี (Sertoli cells) และเซลล์เลย์ดิก (Leydig cells) ในอัณฑะ ซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการสร้างสเปิร์ม (spermatogenesis) และการสร้างฮอร์โมนเทสโทสเตอโรนในหนู ผลจากการทดสอบการรับสัมผัส DEHP ที่ระดับความเข้มข้นสูงพบว่า DEHP สามารถกระตุ้นให้เกิดการบาดเจ็บที่ตับและไต มีความเป็นพิษต่ออัณฑะ และทำให้เกิดความผิดปกติของระบบต่อมไร้ท่อในการสร้างฮอร์โมนแอนโดรเจนของสัตว์ทดลองได้ (Oishi, 1994; David, 2000; Gray, 2000; Foster, 2001; Park, Habeebu, & Klaassen, 2002; Akingbemi, Zirkin, & Hardy, 2004; Eveillard et al., 2009; Martinez-Arguelles, Zirkin, & Papadopoulos, 2009; Doyle, McLean, & Kim, 2013; Głombik et al., 2014) สำหรับการศึกษาในมนุษย์ มีรายงานว่าการรับสัมผัส DEHP มีความสัมพันธ์กับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณภาพของอสุจิ สามารถขัดขวางการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ และส่งผลกระทบต่อพัฒนาการของระบบสืบพันธุ์ได้ (Heudorf U, Mersch-Sundermann, & Angerer, 2007; Hauser, 2008; Herr et al., 2009; Itoh, Tanaka, & Tsugane, 2009; Mendiola et al., 2010; Mendiola et al., 2012) สำหรับการศึกษาการรับสัมผัสในกลุ่มพนักงานพบว่า กลุ่มคนงานมีระดับสารเมแทบอลิต์ของ DEHP ในปัสสาวะสูงกว่ากลุ่มประชากรทั่วไป (Gaudin, Robert, & Ducos, 2010) และระดับ

สารเมแทบอลิต์ในปัสสาวะของกลุ่มพนักงานมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของ DEHP ในบรรยากาศการทำงานอย่างมีนัยสำคัญ (Fong, Uang, & Lee, 2014)

จากผลการศึกษาความเป็นอันตรายจากการรับสัมผัส DEHP ทั้งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง ผลการศึกษาการรับสัมผัสและผลกระทบต่อสุขภาพในกลุ่มพนักงานโรงงานผลิตพลาสติกพีวีซีในต่างประเทศ ทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงปัญหาและผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการรับสัมผัสสารนี้ โดยเฉพาะในกลุ่มพนักงานที่ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติกพีวีซีในประเทศไทย ซึ่งยังไม่พบการศึกษาใดที่ทำการประเมินระดับการรับสัมผัสในกลุ่มพนักงานเหล่านี้เลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและประเมินระดับการสัมผัส DEHP ของพนักงานในโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพีวีซีแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกพีวีซีแห่งแรกของประเทศไทย มีการใช้ DEHP เป็นพลาสติกไซเซอร์หลัก และมีกระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนสูงซึ่งช่วยสนับสนุนให้เกิดการปลดปล่อยไอระเหยของ DEHP ออกสู่บรรยากาศการทำงาน ทั้งนี้ เพื่อนำผลการศึกษามาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนป้องกันปัญหาทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยต่อไป

## วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) ผ่านการรับรองให้ดำเนินการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล รหัสโครงการ 144/2558 เอกสารรับรองโครงการวิจัย COA. No. MUPH 2015-152

### 1. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อประเมินระดับการสัมผัสสารไดทุเอทิลเฮกซิลพทาเลททางการหายใจและวิเคราะห์ระดับสารเมแทบอลิต์ในปัสสาวะของกลุ่มพนักงานในโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์

### 2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างคือ พนักงานทั้งหมด 56 คน ที่ปฏิบัติงานในโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ มีการจำแนกเป็นกลุ่มสัมผัสที่คล้ายคลึงกัน (similar exposure groups; SEGs) จำนวน 5 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 1

### 3. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

แบบสัมภาษณ์ซึ่งถูกจัดทำขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และผ่านการตรวจสอบ แก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวเวชศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญด้านระบาดวิทยา และผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย แบบสัมภาษณ์สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย 7 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป จำนวน 8 ข้อ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมสุขภาพและสถานะทางสุขภาพ จำนวน 4 ข้อ

ส่วนที่ 3 ข้อมูลประวัติการทำงานและการสัมผัสสารเคมีในอดีต จำนวน 5 ข้อ

ส่วนที่ 4 ข้อมูลประวัติการทำงานและการสัมผัสสารเคมีในปัจจุบัน จำนวน 4 ข้อ

ส่วนที่ 5 ข้อมูลอาการแสดงความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ จำนวน 6 ข้อ

ส่วนที่ 6 ข้อมูลอาการแสดงความผิดปกติของระบบการทำงานของตับ จำนวน 8 ข้อ

ส่วนที่ 7 ข้อมูลอาการแสดงความผิดปกติของระบบการทำงานของไต จำนวน 9 ข้อ

**ตารางที่ 1** จำนวนตัวอย่างอากาศและตัวอย่างปัสสาวะจำแนกตามกลุ่มสัมผัสที่คล้ายคลึงกัน

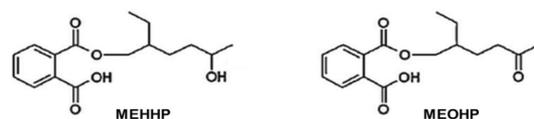
กลุ่มสัมผัสที่คล้ายคลึงกัน (SEGs)	จำนวนพนักงาน	จำนวนตัวอย่างอากาศ	จำนวนตัวอย่างปัสสาวะ	
			ก่อนการสัมผัส	หลังการสัมผัส
พนักงานควบคุมกระบวนการกวนผสม	4	4	4	4
พนักงานควบคุมกระบวนการอัดรีด	7	7	7	7
พนักงานเทวัตุดิบ	8	8	8	8
พนักงานทำความสะอาดเครื่องจักร	17	17	17	17
พนักงานบรรจุสินค้า	20	20	20	20
<b>รวม</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>56</b>

**3.2 การตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของ DEHP ในบรรยากาศการทำงาน** โดยติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดตัวบุคคล (personal air sampling) ติดไว้ที่ตัวผู้ปฏิบัติงานตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของ DEHP ในตัวอย่างอากาศด้วยเทคนิค Gas Chromatography with Flame Ionization Detector (GC-FID) ตาม NIOSH method 5020 (NIOSH, 1992)

**3.3 การวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของสารเมแทบอลิต์ที่บ่งชี้การสัมผัส DEHP ในตัวอย่างปัสสาวะ** โดยการเก็บตัวอย่างปัสสาวะจากผู้ปฏิบัติงานช่วงก่อนการสัมผัส (pre-shift) และหลังการสัมผัส (post-shift) ในวันเดียวกันที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ ตัวอย่างปัสสาวะทั้งหมดถูกบรรจุในหลอดเก็บตัวอย่างชนิดมีฝาปิดที่ไม่มี DEHP เป็นส่วนผสมและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นของสารเมแทบอลิต์ในตัวอย่างปัสสาวะผู้วิจัยประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ของ Frederiksen, Jorgensen, & Andersson, (2010) โดยใช้เทคนิค Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS) ทำการวิเคราะห์สารเมแทบอลิต์บ่งชี้การสัมผัส ประกอบด้วย 1) Mono(2-ethyl-5-hydroxyhexyl) phthalate (MEHHP) และ 2) Mono(2-ethyl-5-oxohexyl) phthalate (MEOHP) โดยมีโครงสร้างทางเคมี ดังภาพที่ 1

**3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล**

สำหรับกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ข้อมูลทั้งหมดถูกตรวจสอบและยืนยันความถูกต้อง และทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบค่าทีโดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของ MEHHP และ MEOHP

**ผลการวิจัย**

พนักงานที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการทั้งหมด 56 คน ประกอบด้วย พนักงานเพศชาย 45 คน เพศหญิง 11 คน มีอายุเฉลี่ย 31.80 ปี ส่วนใหญ่ร้อยละ 44.64 อยู่ในช่วงอายุ 20 - 30 ปี มีน้ำหนักเฉลี่ย 63.02 กิโลกรัม ร้อยละ 55.36 มีน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์ปกติ ร้อยละ 14.29 อยู่ในภาวะอ้วนระดับ 1 ร้อยละ 19.64 อยู่ในภาวะอ้วนระดับ 2 และร้อยละ 3.57 อยู่ในภาวะอ้วนระดับ 3 ระดับการศึกษาสูงสุดของพนักงานส่วนใหญ่สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษา ร้อยละ 53.57 รองลงมาคือ ระดับประถมศึกษา ร้อยละ 25.00 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ

ร้อยละ 19.64 และระดับปริญญาตรี ร้อยละ 1.79 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ข้อมูลสถานะทางสุขภาพของพนักงานพบว่า ส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว คิดเป็นร้อยละ 96.43 มีเพียงพนักงาน 4 ราย คิดเป็นร้อยละ 7.14 ที่มีประวัติการเจ็บป่วยด้วยโรคความดันโลหิตสูง โรคภูมิแพ้ทางเดินหายใจ โรคโลหิตจาง และโรคปวดศีรษะไมเกรน ข้อมูลพฤติกรรมทางด้านสุขภาพ พบร้อยละ 67.86 มีพฤติกรรมการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 42.86 มีพฤติกรรมการสูบบุหรี่ ร้อยละ 12.50 เคยมีประวัติเคยสูบบุหรี่ (ปัจจุบันเลิกแล้ว) และร้อยละ 44.64 ไม่เคยสูบบุหรี่ รายละเอียดดังตารางที่ 3

สำหรับข้อมูลการปฏิบัติงานพบว่า พนักงานทั้งหมดปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน พนักงานส่วนใหญ่ร้อยละ 82.14 มีอายุงาน 1 - 5 ปี มีพนักงานจำนวน 38 ราย มี

ประวัติการทำงานในสถานประกอบกิจการอื่นมาก่อน แต่พนักงานทั้งหมด 38 รายไม่เคยมีประวัติการสัมผัส DEHP จากสถานที่ทำงานเดิม และพนักงานทั้งหมดไม่ได้ประกอบอาชีพหรือหารายได้เสริมอื่นๆ นอกเหนือจากงานประจำที่ทำอยู่ในปัจจุบัน รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

จากข้อมูลผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของ DEHP ในบรรยากาศการทำงานเพื่อประเมินการสัมผัส DEHP ของพนักงานทั้ง 5 กลุ่มสัมผัสที่คล้ายคลึงกันพบว่า กลุ่มพนักงานทำความสะอาดเครื่องจักรมีระดับการสัมผัส DEHP สูงที่สุดที่ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 9.335 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ กลุ่มพนักงานบรรจุสินค้า พนักงานควบคุมกระบวนการอัดรีด พนักงานควบคุมกระบวนการกวนผสม และพนักงานเทวดูดิบที่ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 8.420, 6.186, 6.100 และ 5.588 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5

## ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของพนักงาน

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
<b>เพศ</b>		
ชาย	45	80.36
หญิง	11	19.64
<b>อายุ (ปี)</b>		
20 - 30	25	44.64
31 - 40	21	37.50
41 - 50	9	16.07
51 - 60	1	1.79
(Mean = 31.80, SD = 8.89, Min = 20, Max = 52)		
<b>น้ำหนัก (กิโลกรัม)</b>		
≤60	27	48.21
61 - 70	18	32.14
71 - 80	7	12.50
>80	4	7.14
(Mean = 63.02, SD = 10.79, Min = 47, Max = 103)		



## ตารางที่ 2 (ต่อ)

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
<b>ดัชนีมวลกาย (BMI)</b>		
น้ำหนักน้อยกว่ามาตรฐาน (<18.5)	4	7.14
น้ำหนักปกติ (18.5 – 22.9)	31	55.36
อ้วนระดับ 1 (23.0 – 24.9)	8	14.29
อ้วนระดับ 2 (25.0 – 29.9)	11	19.64
อ้วนระดับ 3 ( $\geq$ 30.0)	2	3.57
(Mean = 22.55, SD = 3.47, Min = 16.98, Max = 33.63)		
<b>ระดับการศึกษา</b>		
ประถมศึกษา	14	25.00
มัธยมศึกษา	30	53.57
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช./ ปวส.)	11	19.64
ปริญญาตรี	1	1.79

## ตารางที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมสุขภาพและสถานะทางสุขภาพของพนักงาน

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
<b>โรคประจำตัว</b>		
มีโรคประจำตัว	4	7.14
ไม่มีโรคประจำตัว	52	92.86
<b>พฤติกรรมการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์</b>		
ไม่เคยดื่ม	10	17.86
ปัจจุบันยังดื่ม	38	67.86
เคยดื่มแต่ปัจจุบันเลิกแล้ว	8	14.29
<b>พฤติกรรมการสูบบุหรี่</b>		
ไม่เคยสูบ	25	44.64
ปัจจุบันยังสูบ	24	42.86
เคยสูบแต่ปัจจุบันเลิกแล้ว	7	12.50

การสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสสารเคมีผ่านระบบทางเดินหายใจของพนักงานในขณะที่ปฏิบัติงานที่มีการสัมผัส DEHP พบว่า พนักงานมีการสวมใส่หน้ากากนิรภัยชนิดใส่กรองคู่แบบครึ่งหน้า ร้อยละ 48.21 และสวมใส่หน้ากากผ้าธรรมดา ร้อยละ 51.79 มีเพียงพนักงานจำนวน 7 ราย (ร้อยละ 12.50) เท่านั้นที่สวมใส่หน้ากากนิรภัยชนิดใส่กรองคู่แบบครึ่งหน้าตลอดเวลาปฏิบัติงานที่มีการสัมผัส DEHP รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 6

ผลการตรวจวิเคราะห์ระดับสารเมแทบอลิต์ที่บ่งชี้การสัมผัส DEHP ในปัสสาวะของพนักงาน พบสาร MEHHP และ MEOHP ในปัสสาวะก่อนการสัมผัส

(pre-shift) ที่ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 6.905 และ 7.353  $\mu\text{g/g-creatinine}$  ตามลำดับ และพบสาร MEHHP และ MEOHP ในปัสสาวะหลังการสัมผัส (post-shift) ที่ระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 9.766 และ 10.120  $\mu\text{g/g-creatinine}$  ตามลำดับ โดยกลุ่มพนักงานที่ตรวจพบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเมแทบอลิต์ทั้ง 2 ชนิด ในปัสสาวะทั้งก่อนและหลังการสัมผัสสูงที่สุดคือ พนักงานทำความสะอาดเครื่องจักร ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินการสัมผัสจากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของ DEHP ในบรรยากาศการทำงาน รายละเอียดเพิ่มเติมดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

#### ตารางที่ 4 ข้อมูลการทำงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัส DEHP ของพนักงาน

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
<b>อายุงาน (ปี)</b>		
1 – 5	46	82.14
6 – 10	6	10.72
>10	4	7.14
(Mean = 3.56, SD = 4.34, Min = 0.5, Max = 24.0)		
<b>จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน</b>		
8 ชั่วโมง	0	0.00
12 ชั่วโมง	56	100.00
<b>ประวัติการทำงานในอดีต</b>		
เคยทำงานในสถานประกอบกิจการอื่นมาก่อน	38	67.86
เคยมีประวัติสัมผัส DEHP	0	0.00
ไม่เคยมีประวัติสัมผัส DEHP	38	67.86
ไม่เคยทำงานในสถานประกอบกิจการอื่นมาก่อน	18	32.14
<b>การประกอบอาชีพเสริม นอกเหนือจากงานประจำ</b>		
ประกอบอาชีพเสริม	0	0.00
ไม่ได้ประกอบอาชีพเสริม	56	100.00

**ตารางที่ 5** ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ DEHP ในบรรยากาศการทำงานของพนักงานในแต่ละ SEGs

กลุ่มสัมผัสที่คล้ายคลึงกัน (SEGs)	จำนวนพนักงาน	ความเข้มข้นของ DEHP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
		Mean ( $\pm$ SD)	Min – Max
พนักงานควบคุมกระบวนการกวนผสม	4	6.100 (1.334)	5.000 - 7.700
พนักงานควบคุมกระบวนการอัดรีด	7	6.186 (2.496)	2.700 - 8.600
พนักงานเทวดูดิบ	8	5.588 (2.211)	1.300 – 8.000
พนักงานทำความสะอาดเครื่องจักร	17	9.335 (3.927)	1.200 – 21.200
พนักงานบรรจุสินค้า	20	8.420 (1.911)	2.900 – 12.000
<b>รวม</b>	<b>56</b>	<b>7.796 (3.113)</b>	<b>1.200 – 21.200</b>

**ตารางที่ 6** จำนวนและร้อยละของพนักงานที่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสสารเคมีผ่านทางเดินหายใจ

ชนิดและความถี่ของการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสสารเคมีผ่านระบบทางเดินหายใจ	จำนวน	ร้อยละ
<b>หน้ากากชนิดใส่กรองคู่แบบครึ่งหน้า</b>	<b>27</b>	<b>48.21</b>
สวมใส่ตลอดเวลา	7	12.50
สวมใส่บางครั้ง	20	35.71
<b>หน้ากากผ้าธรรมดา</b>	<b>29</b>	<b>51.79</b>
สวมใส่ตลอดเวลา	13	23.21
สวมใส่บางครั้ง	16	28.57

**ตารางที่ 7** ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเมแทบอลิต์ MEHHP ในปัสสาวะของพนักงานในแต่ละกลุ่มสัมผัส ( $\mu\text{g/g-creatinine}$ )

กลุ่มสัมผัสที่คล้ายคลึงกัน (SEGs)	ความเข้มข้นเฉลี่ย ( $\pm\text{SD}$ )	
	ก่อนการสัมผัส (pre-shift)	หลังการสัมผัส (post-shift)
พนักงานควบคุมกระบวนการกวนผสม	5.510 (2.247)	4.094 (0.933)
พนักงานควบคุมกระบวนการอัดรีด	4.047 (2.019)	6.893 (4.193)
พนักงานเทวัตุดิบ	7.088 (7.307)	9.117 (7.243)
พนักงานทำความสะอาดเครื่องจักร	9.311 (6.153)	13.375 (7.434)
พนักงานบรรจุสินค้า	6.066 (3.680)	9.096 (8.713)
<b>รวม</b>	<b>6.905 (5.142)</b>	<b>9.766 (7.654)</b>

**ตารางที่ 8** ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเมแทบอลิต์ MEOHP ในปัสสาวะของพนักงานในแต่ละกลุ่มสัมผัส ( $\mu\text{g/g-creatinine}$ )

กลุ่มสัมผัสที่คล้ายคลึงกัน (SEGs)	ความเข้มข้นเฉลี่ย ( $\pm\text{SD}$ )	
	ก่อนการสัมผัส (pre-shift)	หลังการสัมผัส (post-shift)
พนักงานควบคุมกระบวนการกวนผสม	5.700 (1.880)	5.007 (1.680)
พนักงานควบคุมกระบวนการอัดรีด	4.947 (2.147)	5.702 (2.688)
พนักงานเทวัตุดิบ	9.478 (8.452)	12.847 (9.231)
พนักงานทำความสะอาดเครื่องจักร	7.937 (4.857)	12.994 (8.368)
พนักงานบรรจุสินค้า	7.180 (4.234)	9.154 (7.141)
<b>รวม</b>	<b>7.353 (4.955)</b>	<b>10.120 (7.624)</b>

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระดับความเข้มข้นของสารเมแทบอลิต์ MEHHP และ MEOHP ในปัสสาวะก่อนการสัมผัสและหลังการสัมผัสพบว่า ระดับ

ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเมแทบอลิต์ทั้ง 2 ชนิด ในปัสสาวะหลังการสัมผัสมีค่าสูงกว่าก่อนการสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 9



ตารางที่ 9 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของ MEHHP และ MEOHP ในปัสสาวะก่อนและหลังการสัมผัส (Paired Samples T-test, p-value <0.05)

สารบ่งชี้การสัมผัส	ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง	ระดับความเข้มข้น ( $\mu\text{g/g-creatinine}$ )		t	p-value
		Mean	SD		
MEHHP	ก่อนการสัมผัส	6.905	5.142	3.171	0.002
	หลังการสัมผัส	9.766	7.654		
MEOHP	ก่อนการสัมผัส	7.353	4.955	3.075	0.003
	หลังการสัมผัส	10.120	7.624		

## อภิปรายผล

ผลของการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของ DEHP ในบรรยากาศการทำงานจากตัวอย่างอากาศแบบติดที่ตัวบุคคล แสดงให้เห็นว่า พนักงานโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์มีระดับการสัมผัส DEHP ต่ำกว่าผลการศึกษาอื่นๆ ที่ผ่านมา (Vainiotalo & Pfäffli, 1990; Dirven et al., 1993; Fong, Uang, & Lee, 2014) เมื่อนำผลการตรวจวัดมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเพื่อประเมินระดับการสัมผัสของพนักงานพบว่า สัมผัส DEHP ต่ำกว่าค่า TLV-TWA ที่เสนอแนะโดย ACGIH (ACGIH, 2005) และ OSHA PEL-TWA ซึ่งกำหนดไว้ต้องไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของสาร MEHHP และ MEOHP ในปัสสาวะของพนักงานทั้งก่อนและหลังการสัมผัสพบว่า มีค่าต่ำกว่าการศึกษาที่ผ่านมา (Dirven et al., 1993; Fong, Uang, & Lee, 2014) ขณะที่ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEHHP และ MEOHP ระหว่างก่อนและหลังการสัมผัสพบว่า มีผลการศึกษาที่สอดคล้องกัน ซึ่งพบว่า ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของ MEHHP และ MEOHP หลังการสัมผัสมีค่าสูงกว่าระดับความเข้มข้นเฉลี่ยก่อนการสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ (Dirven et al., 1993; Fong, Uang, & Lee, 2014)

สำหรับข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์การสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสสารเคมีผ่านทางระบบทางเดินหายใจ

แสดงให้เห็นว่า พนักงานส่วนใหญ่มีการสวมใส่หน้ากากผ้าธรรมดา ถึงร้อยละ 51.79 สวมใส่หน้ากากชนิดใส่กรองคู่แบบครึ่งหน้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมที่สุด เพียงร้อยละ 48.21 และมีเพียงร้อยละ 12.50 เท่านั้นที่พบว่า มีการสวมใส่หน้ากากชนิดใส่กรองคู่แบบครึ่งหน้าตลอดระยะเวลาการทำงาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสสารเคมีผ่านระบบทางเดินหายใจของพนักงานยังมีความไม่เหมาะสมต่อการป้องกันอันตรายจากการสัมผัส DEHP ดังนั้น สถานประกอบการจึงควรผลักดันให้มีการยกเลิกการใช้หน้ากากผ้าธรรมดา ควรจัดหาหน้ากากชนิดใส่กรองคู่แบบครึ่งหน้าให้เพียงพอ และส่งเสริมให้พนักงานสวมใส่หน้ากากชนิดนี้หรือชนิดที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันสูงกว่าตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน ควบคู่ไปกับการให้ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากการสัมผัส DEHP แก่พนักงานเพื่อสร้างความตระหนัก ตลอดจนการควบคุมและป้องกันการฟุ้งกระจายของ DEHP ที่แหล่งกำเนิด การจัดให้มีระบบระบายอากาศที่เพียงพอ และการบำรุงรักษาระบบระบายอากาศให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นประจำสม่ำเสมอ

## ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษา ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น ควรมีการขยายระยะเวลาการเก็บข้อมูลการศึกษาเพิ่มเติม ทั้งการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อเฝ้าระวังระดับการสัมผัส DEHP ของพนักงาน และการ

ตรวจวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของสาร MEHHP และ MEOHP ในปีสภาวะเพื่อใช้เป็นข้อมูลยืนยันการเลือกกำหนดสารบ่งชี้การสัมผัส DEHP ที่ถูกต้องในอนาคต

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับการสนับสนุนทั้งทางด้านวิชาการ บุคลากร เครื่องมือ และอุปกรณ์จากศูนย์อ้างอิงทางห้องปฏิบัติการและพิษวิทยา สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการได้รับคำแนะนำและการให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์จากคณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ และผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบเครื่องมือการวิจัย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

## เอกสารอ้างอิง

Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR). (2002). *Toxicological profile for di(2-ethylhexyl)phthalate*. Atlanta, Georgia: Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services.

Akingbemi, B., Ge, R., Klinefelter, G., Zirkin, B., & Hardy, M. (2004). Phthalate-induced Leydig cell hyperplasia is associated with multiple endocrine disturbances. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 101(3), 775-780.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). (2005). 2005 TLVs and BEIs. *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. Cincinnati, OH.

David, R. (2000). Chronic Toxicity of Di (2-ethylhexyl) phthalate in Rats. *Toxicological Sciences*. 55(2), 433-443.

Dirven, H., van den Broek, P., Arends, A., Nordkamp, H., de Lepper, A., Henderson, P., & Jongeneelen, F. (1993). Metabolites of

the plasticizer di (2-ethylhexyl) phthalate in urine samples of workers in polyvinylchloride processing industries. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 64(8), 549-554.

Doyle, T., Bowman, J., Windell, V., McLean, D., & Kim, K. (2013). Transgenerational Effects of Di-(2-ethylhexyl) Phthalate on Testicular Germ Cell Associations and Spermatogonial Stem Cells in Mice. *Biology of Reproduction*, 88(5), 112.

Duty, S., Ackerman, R., Calafat, A., & Hauser, R. (2005). Personal Care Product Use Predicts Urinary Concentrations of Some Phthalate Monoesters. *Environmental Health Perspectives*. 113(11), 1530-1535.

European Chemicals Bureau (ECB). (2008). *European Union Risk Assessment Report: bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Eveillard, A., Lasserre, F., de Tayrac, M., Polizzi, A., Claus, S., & Canlet, C. et al. (2009). Identification of potential mechanisms of toxicity after di-(2-ethylhexyl)-phthalate (DEHP) adult exposure in the liver using a systems biology approach. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 236(3), 282-292.

Fong, J., Lee, F., Lu, I., Uang, S., & Lee, C. (2014). Estimating the contribution of inhalation exposure to di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) for PVC production workers, using personal air sampling and urinary metabolite monitoring. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 217(1), 102-109.



- Foster, P. (2001). Effects of phthalate esters on the developing reproductive tract of male rats. *Human Reproduction Update*. 7(3), 231-235.
- Frederiksen, H., Jorgensen, N., & Andersson, A. (2010). Correlations Between Phthalate Metabolites in Urine, Serum, and Seminal Plasma from Young Danish Men Determined by Isotope Dilution Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry. *Journal of Analytical Toxicology*. 34(7), 400-410.
- Fromme, H., Bolte, G., Koch, H., Angerer, J., Boehmer, S., & Drexler, H. et al. (2007). Occurrence and daily variation of phthalate metabolites in the urine of an adult population. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 210(1), 21-33.
- Gaudin, R., Marsan, P., Ndaw, S., Robert, A., & Ducos, P. (2010). Biological monitoring of exposure to di(2-ethylhexyl) phthalate in six French factories: a field study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 84(5), 523-531.
- Głombik, K., Basta-Kaim, A., Sikora-Polaczek, M., Kubera, M., Starowicz, G., & Styrna, J. (2014). Curcumin influences semen quality parameters and reverses the di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)-induced testicular damage in mice. *Pharmacological Reports*. 66(5), 782-787.
- Gray, L. (2000). Perinatal Exposure to the Phthalates DEHP, BBP, and DINP, but Not DEP, DMP, or DOTP, Alters Sexual Differentiation of the Male Rat. *Toxicological Sciences*. 58(2), 350-365.
- Hauser, R. (2008). Urinary phthalate metabolites and semen quality: a review of a potential biomarker of susceptibility. *International Journal of Andrology*. 31(2), 112-117.
- Herr, C., zur Nieden, A., Koch, H., Schuppe, H., Fieber, C., & Angerer, J. et al. (2009). Urinary di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)—Metabolites and male human markers of reproductive function. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 212(6), 648-653.
- Heudorf, U., Mersch-Sundermann, V., & Angerer, J. (2007). Phthalates: Toxicology and exposure. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 210(5):623-634.
- Itoh, H., Iwasaki, M., Hanaoka, T., Sasaki, H., Tanaka, T., & Tsugane, S. (2009). Urinary phthalate monoesters and endometriosis in infertile Japanese women. *Science of The Total Environment*. 408(1), 37-42.
- Martinez-Arguelles, D., Culty, M., Zirkin, B., & Papadopoulos, V. (2009). In Utero Exposure to Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate Decreases Mineralocorticoid Receptor Expression in the Adult Testis. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*. 94(11), 4624-4624.
- Mendiola, J., Jørgensen, N., Andersson, A., Calafat, A., Silva, M., & Redmon, J. et al. (2010). Associations between urinary metabolites of di(2-ethylhexyl) phthalate and reproductive hormones in fertile men. *International Journal of Andrology*. 34(4pt1), 369-378.

- Mendiola, J., Meeker, J., Jorgensen, N., Andersson, A., Liu, F., & Calafat, A. et al. (2011). Urinary Concentrations of Di(2-ethylhexyl) Phthalate Metabolites and Serum Reproductive Hormones: Pooled Analysis of Fertile and Infertile Men. *Journal of Andrology*. 33(3), 488-498.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (1992). *NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th ed.* Retrieved May 6, 2017, from <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/5020.pdf>
- Oishi, S. (1994). Prevention of di (2-ethylhexyl) phthalate-induced testicular atrophy in rats by Co-administration of the vitamin B12 derivative adenosylcobalamin. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 26(4), 497-503.
- Otake, T., Yoshinaga, J., & Yanagisawa, Y. (2004). Exposure to phthalate esters from indoor environment. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*. 14(7), 524-528.
- Park, J., Habeebu, S., & Klaassen, C. (2002). Testicular toxicity of di-(2-ethylhexyl) phthalate in young Sprague–Dawley rats. *Toxicology*. 171(2-3), 105-115.
- Vainiotalo, S., & Pfäffli, P. (1990). Air impurities in the PVC plastics processing industry. *The Annals of Occupational Hygiene*. 34(6), 585-590.
- Wittassek, M., Koch, H., Angerer, J., & Brüning, T. (2011). Assessing exposure to phthalates - The human biomonitoring approach. *Molecular Nutrition & Food Research*. 55(1), 7-31.
- Wittassek, M., Wiesmüller, G., Koch, H., Eckard, R., Dobler, L., & Müller, J. et al. (2007). Internal phthalate exposure over the last two decades – A retrospective human biomonitoring study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 210(3-4), 319-333.