

## Phosphorus

เรียบเรียงโดย นพ.วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์

วันที่เผยแพร่ 18 เมษายน 2556 ||||| ปรับปรุงครั้งล่าสุด 10 กรกฎาคม 2561

ชื่อ ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ||||| ชื่ออื่น ไม่มี

สัญลักษณ์อะตอม P ||||| น้ำหนักอะตอม 30.97 ||||| CAS Number 7723-14-0 (Elemental phosphorus), 12185-10-3 (Yellow phosphorus), 7803-51-2 (Red phosphorus) ||||| UN Number 1338 (Elemental phosphorus), 1381 (Yellow phosphorus), 1338 (Red phosphorus)

**ลักษณะทางกายภาพ** ฟอสฟอรัสเหลือง เป็นของแข็งนิ่มคล้ายขี้ผึ้ง มีสีเหลืองหรือสีขาว มีกลิ่นฉุนคล้ายกระเทียม ไม่ละลายน้ำ เมื่อถูกอากาศจะเรืองแสงสีฟ้าออกเขียวอ่อนๆ ออกมา ฟอสฟอรัสเหลืองถ้าทิ้งไว้ในอากาศจะระเบิดได้เอง และไวไฟมาก จึงมักถูกเก็บโดยแช่ไว้ในน้ำ ส่วนฟอสฟอรัสแดงนั้นเป็นผงสีแดงเข้ม ที่อุณหภูมิห้องจะไม่ระเบิดเมื่อสัมผัสกับอากาศ [1]

**คำอธิบาย** ฟอสฟอรัส เป็นธาตุโลหะชนิดหนึ่ง ที่มีส่วนสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกระดูกและสารประกอบต่างๆ ในร่างกาย ธาตุฟอสฟอรัสบริสุทธิ์นั้นพบได้ในหลายอัลโลโทรป (Allotrope) ที่พบบ่อยที่สุดนั้นจะมีอยู่ 2 อัลโลโทรป คืออยู่ในรูปฟอสฟอรัสเหลือง (Yellow phosphorus) หรืออาจเรียกว่า ฟอสฟอรัสขาว (White phosphorous) ซึ่งเกิดจากการที่อะตอมฟอสฟอรัส 4 อะตอมเรียงตัวกันเป็นโมเลกุล (สูตรโมเลกุล  $P_4$ ) กับอีกอัลโลโทรปหนึ่งคือฟอสฟอรัสแดง (Red phosphorus) ซึ่งเกิดจากการที่อะตอมฟอสฟอรัสเรียงตัวเป็นสายยาวต่อกัน ฟอสฟอรัสถูกใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง ทั้งการทำปุ๋ย ทำหัวไม้ขีด ดอกไม้ไฟ ระเบิด และยาปราบศัตรูพืช ฟอสฟอรัสเหลืองเป็นสารระคายเคือง มีฤทธิ์กัดกร่อนไหม้เนื้อเยื่อทางเดินอาหารได้อย่างรุนแรง อีกทั้งยังเป็นพิษต่อระบบร่างกายอย่างรุนแรงด้วย ทำให้เกิดความผิดปกติต่อระบบอวัยวะได้หลายระบบ ส่วนฟอสฟอรัสแดงนั้นดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อย และแทบไม่มีความเป็นพิษ

**ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน** ACGIH TLV (2016): Phosphorus (yellow) TWA =  $0.1 \text{ mg/m}^3$  [2] ||||| NIOSH REL: Phosphorus (yellow) TWA =  $0.1 \text{ mg/m}^3$ , IDLH =  $5 \text{ mg/m}^3$  [3] ||||| OSHA PEL: Phosphorus (yellow) TWA =  $0.1 \text{ mg/m}^3$  [3] ||||| ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (พ.ศ. 2560): Phosphorus (yellow) TWA =  $0.1 \text{ mg/m}^3$  [4]

**ค่ามาตรฐานในร่างกาย** ACGIH BEI (2016): ไม่ได้กำหนดไว้ [2]

**การก่อมะเร็ง** IARC Classification ไอโซโทปที่เสถียรคือ Phosphorus-31 องค์กร IARC ไม่ได้ทำการประเมินไว้ แต่ไอโซโทปที่เป็นกัมมันตรังสีคือ Phosphorus-32 ซึ่งมักใช้แต่เฉพาะในทางการแพทย์ เพื่อรักษาผู้ป่วยโรคเลือดข้นชนิด Polycythemia vera โดยจะให้อยู่ในรูปฟอสเฟต องค์กร IARC ทำการประเมินไว้ว่าเป็นสาร Group 1 (ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิดเฉียบพลัน (Acute leukemia) ในมนุษย์ เมื่อใช้ทำการรักษาผู้ป่วยโรคเลือดข้นชนิด Polycythemia vera) [5]

**แหล่งที่พบ** ฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย (Essential element) โดยฟอสฟอรัสที่สิ่งมีชีวิตจะใช้จะอยู่ในรูปฟอสเฟต (Phosphate;  $PO_4^{3-}$ ) เช่น เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟันซึ่งจะอยู่ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต (Calcium phosphate) เป็นส่วนประกอบของสารฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ในเยื่อหุ้มเซลล์ เป็นส่วนประกอบของสารเอทีพี (Adenosine triphosphate; ATP) ซึ่งใช้ขนส่งพลังงานในร่างกาย นอกจากนี้มนุษย์แล้วฟอสฟอรัสก็ยังเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสัตว์และพืชด้วย ในธรรมชาติจะพบฟอสฟอรัสอยู่ได้ทั่วไปบนพื้นผิวโลก โดยจะไม่อยู่ในรูปบริสุทธิ์ แต่อยู่ในรูปสารประกอบ

กับธาตุอื่นๆ แร่ที่มีฟอสฟอรัสอยู่มาก เช่น อะพาไทต์ (Apatite) เป็นต้น มนุษย์นำฟอสฟอรัสเหลืองมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง ที่มากที่สุดคือใช้ทำปุ๋ย (Fertilizer) เพื่อบำรุงต้นไม้ และยังใช้ทำสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส (Organophosphorus) ซึ่งใช้ทำยาฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate) ใช้เป็นสารเพิ่มคุณสมบัติความยืดหยุ่นและทนไฟให้พลาสติก ไส้ลงไนโลหะผสมบางสูตรเพื่อเพิ่มความทนทาน ใช้ทำดอกไม้ไฟ ใช้ทำประทัด และทำระเบิดที่ใช้ทางการทหาร สำหรับไม้ขีดนั้นเมื่อก่อนมีการใช้ฟอสฟอรัสเหลืองในการทำหัวไม้ขีด เป็นไม้ขีดชนิดขีดกับอะโรเก้ติด แต่ต่อมามีการใช้ลดลงเพราะติดไฟเองง่าย ทำให้อันตราย เก็บรักษาลำบาก จึงเปลี่ยนมาใช้ไม้ขีดที่ต้องขีดกับแถบเฉาะแทน ซึ่งหัวไม้ขีดจะทำมาจาก Phosphorus sesquisulfide และที่แถบสำหรับขีดจะเป็นฟอสฟอรัสแดง ฟอสฟอรัสแดงยังใช้ในกระบวนการผลิตยาไอซ์ (Metamphetamine) อย่างผิดกฎหมายด้วย ฟอสฟอรัสในรูปสารประกอบ Sodium tripolyphosphate ใช้ในงานซักฟอกและแก้ไขน้ำกระด้าง ส่วนฟอสฟอรัสในรูป Aluminium phosphide และ Zinc phosphide ใช้เป็นสารรมกำจัดศัตรูพืช [6]

**กลไกการก่อโรค** ฟอสฟอรัสเหลืองมีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรง และเป็นพิษต่อเซลล์ การกินเข้าไปทำให้ร่างกายสูญเสียน้ำเนื่องจากอาเจียนและท้องเสีย ทำให้ช็อกตายได้ อีกทั้งยังเป็นพิษต่อหัวใจโดยตรง ทำให้หัวใจล้มเหลว ฟอสฟอรัสเหลืองสามารถระเบิดลุกไหม้ได้เองในอากาศ ทำให้เกิดฟอสฟอรัสออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์ระคายเคืองรุนแรงเช่นกัน

**การเตรียมตัวเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน** เนื่องจากฟอสฟอรัสเหลืองสามารถติดไฟและระเบิดได้เมื่อโดนอากาศ อีกทั้งไอที่เกิดจากการเผาไหม้ยังกัดกร่อนรุนแรง ผู้เข้าไปช่วยเหลือกรณีรั่วไหลจึงต้องเตรียมความพร้อมให้ได้อย่างยิ่ง ทีมดับไฟต้องใช้น้ำหรือทรายเปียกในการป้องกันการระเบิดของฟอสฟอรัส ทีมเข้าไปช่วยเหลือควรใส่ชุดป้องกันที่เหมาะสม เป็นชุดกันสารเคมีที่ทนไฟ ใส่อุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจชนิดที่มีถังบรรจุอากาศในตัว

#### อาการทางคลินิก

- **อาการเฉียบพลัน** ฟอสฟอรัสเหลืองเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางการหายใจ การสัมผัสทางผิวหนัง และการกิน การสูดหายใจเอาไอหรือพุ่มเข้าไปในปริมาณมาก จะทำให้เกิดการกัดกร่อนของเยื่อและทางเดินหายใจ แสบจมูก แสบคอ ไอ แน่นหน้าอก หายใจมีเสียงหวีด ถ้ารุนแรงจะเกิดปอดบวมน้ำ และปอดอักเสบ (Chemical pneumonitis) ทำให้ตายได้ การสัมผัสทางผิวหนังและดวงตาทำให้ระคายเคือง เยื่อบุตาอักเสบ ผิวหนังเกิดผื่นระคายเคือง ถ้ารุนแรงจะเกิดกัดกร่อนจนผิวหนัง กัดกระจุกตา การกินเข้าไปจะเกิดอาการรุนแรงเช่นกัน คือ ทางเดินอาหารเป็นแผลไหม้ แสบร้อนในทางเดินอาหาร อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย อาจพบว่ ลมหายใจ อาเจียน และอุจจาระมีกลิ่นกระเทียม อาเจียนและอุจจาระที่ออกมาหากมีฟอสฟอรัสปนมากอาจเรืองแสงได้ (Smoking stool) อาการทางระบบร่างกาย จะปวดศีรษะ สับสน ชัก ช็อก โคม่า หัวใจเต้นผิดจังหวะ (Atrial fibrillation, QRS and QT prolongation, Ventricular tachycardia, Ventricular fibrillation) เกือบหมดปกติ เช่น แคลเซียมต่ำ น้ำตาลในเลือดต่ำ ส่วนระดับฟอสเฟตอาจปกติ สูง หรือต่ำก็ได้ การเสียชีวิตอาจเกิดจากหัวใจล้มเหลว ตับวาย หรือไตวาย ทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 24 – 48 ชั่วโมง การตั้งใจกินประทัดที่ทำมาจากฟอสฟอรัสเหลืองเพื่อฆ่าตัวตายนี้ พบมีรายงานในกลุ่มประเทศละตินอเมริกา และพบว่าผู้ป่วยหลายรายเสียชีวิตจากภาวะตับวายและไตวาย [7-8]
- **อาการระยะยาว** การสัมผัสกับไอหรือพุ่มของฟอสฟอรัสเหลืองเป็นเวลานาน ทำให้เกิดหลอดลมอักเสบ ซีด อ่อนเพลีย น้ำหนักลด ถ้าสัมผัสนานกว่า 10 เดือนขึ้นไปอาจเกิดการสูญเสียของกระดูกขากรรไกรล่าง (Osteonecrosis of mandibular bone) เรียกว่าภาวะ Phossy jaw หรือ Lucifer's jaw [9]

**การตรวจทางห้องปฏิบัติการ** การวินิจฉัยที่สำคัญคือการซักประวัติการสัมผัสฟอสฟอรัสเหลือง ไม่ว่าจะจากการสูดหายใจเข้าไปจากการทำงาน หรือจากการกินฆ่าตัวตาย การตรวจร่างกายถ้ามีกลิ่นกระเทียมจากลมหายใจ อาเจียน หรืออุจจาระ จะช่วยสนับสนุน อุจจาระอาจเรืองแสงถ้ามีฟอสฟอรัสออกมามาก ตรวจผิวหนังด้วยรังสีอุลตราไวโอเล็ต (Wood's lamp) อาจพบฝุ่นฟอสฟอรัสเหลืองเรืองแสงปนเปื้อนอยู่ สำหรับการตรวจทางห้องปฏิบัติการ การตรวจระดับฟอสเฟตในเลือดไม่มีประโยชน์เนื่องจากอาจพบปกติ หรือสูง หรือต่ำ ก็ได้ การตรวจที่ช่วยในการดูแลผู้ป่วยคือ การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ตรวจระดับเกลือแร่

ในเลือด ระดับแคลเซียมในเลือด ระดับน้ำตาลในเลือด การทำงานของไต การทำงานของตับ การแข็งตัวของเลือด ตรวจวิเคราะห์ปัสสาวะ ระดับแก๊สในหลอดเลือดแดง ตรวจภาพรังสีทรวงอกเพื่อหาภาวะปอดอักเสบในผู้ที่เป็นพิษจากการสูดหายใจ

### การดูแลรักษา

- **การปฐมพยาบาล** กรณีได้รับพิษจากการสูดหายใจหรือทางผิวหนัง ให้นำผู้ป่วยออกมาในที่อากาศถ่ายเทให้เร็วที่สุด ถอดเสื้อผ้าที่ปนเปื้อนออก รีบใช้น้ำล้าง อย่าปล่อยให้ลมพิษฟอสฟอรัสเหลืองโดนอากาศติดคาไว้ เพราะอาจจะเกิดลูกใหม่เป็นอันตรายต่อผู้ป่วยและผู้เข้าไปช่วยเหลือได้ ล้างน้ำให้นาน และถ้ามีบริเวณผิวหนังที่เป็นแผลใหม่ให้ใช้ผ้าก๊อชหรือผ้าพันแผลชุบน้ำปิด ให้ออกซิเจนเสริมถ้ามีหอบเหนื่อย แล้วรีบส่งพบแพทย์ กรณีกินฟอสฟอรัสเหลืองเข้าไป ให้รีบส่งพบแพทย์ทันที
- **การรักษา** เมื่อมาถึงโรงพยาบาล กรณีสูดหายใจ ให้ประเมินการหายใจ ใส่ท่อช่วยหายใจถ้าไม่หายใจ ให้ออกซิเจนเสริม ประเมินระบบไหลเวียน ประเมินสัญญาณชีพ ตรวจร่างกายและถ่ายภาพรังสีทรวงอกเพื่อค้นหาภาวะปอดบวม น้ำหรือปอดอักเสบ สังเกตการหายใจอย่างใกล้ชิดเพราะอาจมีทางเดินหายใจบวมหรือการหายใจล้มเหลวได้ ต่อจากนั้นให้การรักษาระดับประคอง กรณีสัมผัสทางผิวหนัง ให้ล้างตัวอย่างที่ไม่ได้ล้างตัวมา ถ้ามีเศษผงฟอสฟอรัสบนเสื้อผ้าให้ถอดออก เสื้อผ้าที่ปนเปื้อนให้เอาจุ่มน้ำ ล้างแผลและทำแผลเปียกไว้ กรณีกินมา ให้ประเมินสัญญาณชีพ ถ้าถ่ายหรืออาเจียนมากจะช็อกเพราะขาดน้ำ ต้องให้สารน้ำให้เพียงพอ ไม่มียาต้านพิษ (Antidote) สำหรับฟอสฟอรัสเหลือง การให้ผงถ่านกัมมันต์ ไม่มีข้อมูลถึงประโยชน์ การใส่สายทางจมูกเพื่อล้างท้องจะมีประโยชน์เฉพาะเมื่อทำภายใน 60 นาทีหลังกินมา ตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ รักษาอาการหัวใจเต้นผิดจังหวะ ชัก ช็อก และเกลือแร่ที่ผิดปกติ เช่น แคลเซียมต่ำ น้ำตาลต่ำ ถ้าเกิดขึ้น รักษาประคองตามอาการ

**การป้องกันและเฝ้าระวัง** การป้องกันที่ดีคือควบคุมการสัมผัสตามหลักอาชีวอนามัย ถ้าต้องทำงานกับฟอสฟอรัสเหลือง ต้องใส่อุปกรณ์ป้องกันผิวหนังและทางเดินหายใจให้เหมาะสม ควบคุมระดับในบรรยากาศไม่ให้เกินค่ามาตรฐาน การตรวจเฝ้าระวังให้สอบถามอาหารหอบเหนื่อย แน่นหน้าอก อ่อนเพลีย น้ำหนักลด ปวดฟันและขากรรไกร ในคนที่ทำงานสัมผัสฟอสฟอรัสเหลืองในปริมาณสูง (อย่างไรก็ตามโอกาสพบโรคจากการทำงานกับฟอสฟอรัสเหลืองในปัจจุบันอาจลดน้อยลง เนื่องจากในอดีตผู้ป่วยพิษจากฟอสฟอรัสเหลืองส่วนใหญ่จะพบในคนทำงานโรงงานไม้ขีด แต่ปัจจุบันไม้ขีดมักเปลี่ยนไปใช้ฟอสฟอรัสแดงในการทำแล้ว โอกาสพบผู้ป่วยจึงน้อย) ส่วนการป้องกันพิษจากการกินเพื่อฆ่าตัวตายนั้น อาจต้องให้ความรู้ในชุมชนที่เสี่ยง และป้องกันปัญหาในรูปแบบนโยบายสาธารณสุขของประเทศ

### เอกสารอ้างอิง

1. International Programme on Chemical Safety. International Chemical Safety Cards (ICSCs). Geneva: International Labour Office; 1998.
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). TLVs and BEIs. Cincinnati: ACGIH; 2016.
3. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Pocket guide to chemical hazards (NIOSH Publication No. 2005-149). 3rd printing. Cincinnati: NIOSH; 2007.
4. ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134 ตอนพิเศษ 198 ง. (ลงวันที่ 28 มิถุนายน 2560).
5. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans Vol. 100D – Radiation. Lyon: IARC Press; 2012.

6. Olson KR, Anderson IB, Benowitz NL, Blanc PD, Clark RF, Kearney TE, et. al., editors. Poisoning & drug overdose. 6th ed. New York: McGraw-Hill; 2012.
7. González-Andrade F, López-Pulles R. White phosphorus poisoning by oral ingestion of firecrackers or little devils: current experience in Ecuador. *Clin Toxicol (Phila)* 2011;49(1):29-33.
8. Santos O, Restrepo JC, Velásquez L, Castaño J, Correa G, Sepúlveda E, et. al. Acute liver failure due to white phosphorus ingestion. *Ann Hepatol* 2009;8(2):162-5.
9. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Emergency response safety and health database (ERSH-DB) – White phosphorus: systemic agent [Internet]. 2011 [cited 2018 Jul 10]. Available from: [https://www.cdc.gov/niosh/ershdb/EmergencyResponseCard\\_29750025.html](https://www.cdc.gov/niosh/ershdb/EmergencyResponseCard_29750025.html).