

Beryllium

เรียบเรียงโดย พ.ท.นพ.วชร โอนพรัตน์วิบูล

วันที่เผยแพร่ 18 เมษายน 2556 ||||| **ปรับปรุงครั้งล่าสุด** 11 กรกฎาคม 2561

ชื่อ เบริลเลียม (Beryllium) ||||| ชื่ออื่น Glucinium

สัญลักษณ์อะตอม Be ||||| น้ำหนักอะตอม 9.01 ||||| CAS Number 7440-41-7 ||||| UN Number 1567

ลักษณะทางกายภาพ โลหะสีเทาออกขาว เบา และแข็งแรง [1]

คำอธิบาย เบริลเลียมเป็นโลหะหายาก มีน้ำหนักเบา แข็งแรง ทนทานการยืดขยาย และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี จึงนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสูง เช่น เป็นใช้ส่วนประกอบของยานอวกาศ เครื่องบินความเร็วสูง ดาวเทียม จรวดมิสไซล์ เป็นต้น เบริลเลียมมีพิษร้ายแรง สามารถทำให้เกิดโรคปอดทั้งแบบปอดอักเสบเฉียบพลันและโรคปอดเรื้อรัง ซึ่งทำให้ตายได้ นอกจากนี้ยังเกิดพิษต่อผิวหนัง และยังเป็นสารก่อมะเร็งปอดอีกด้วย กลไกการเกิดพิษของเบริลเลียม เชื่อว่านอกจากจะเกิดจากการก่อการอักเสบโดยตรงแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันชนิด Cell-mediated immune response ด้วย

ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน ACGIH TLV (2013): Beryllium and compounds, as BE TWA = 0.00005 mg/m^3 [skin] [sensitizer] [2] ||||| NIOSH REL: Ca (พิจารณาเห็นว่าเป็นสารก่อมะเร็ง), TWA = not to exceed 0.0005 mg/m^3 , IDLH = Ca [4 mg/m^3] [3] ||||| OSHA PEL: TWA = 0.002 mg/m^3 , C = 0.005 mg/m^3 , Acceptable maximum peak = 0.025 mg/m^3 [maximum duration = 30 minutes] [3] ||||| ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (พ.ศ. 2560): Beryllium and beryllium compounds, as BE TWA = 0.002 mg/m^3 , C = 0.005 mg/m^3 , Acceptable maximum peak = 0.025 mg/m^3 [maximum duration = 30 minutes] [4]

ค่ามาตรฐานในร่างกาย ACGIH BEI (2013): ไม่ได้กำหนดไว้ [2]

คุณสมบัติก่อมะเร็ง IARC Classification: Group 1 (ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งปอดในมนุษย์) [5] ||||| ACGIH Carcinogenicity (2013): A1 (ยืนยันว่าเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์) [2]

แหล่งที่พบ เบริลเลียมเป็นแร่ธาตุหายากที่พบตามธรรมชาติบนพื้นผิวโลก เบริลเลียมในธรรมชาติจะอยู่ในรูปสารประกอบ โดยสินแร่และผลึกอัญมณีที่มีธาตุเบริลเลียมอยู่มาก เช่น เบริล (Beryl) ไครโซเบริล (Crysoberyl) เบอร์แทรนด์ไต์ (Bertrandite) เป็นต้น ในกระบวนการผลิตเบริลเลียมค่อนข้างอันตราย จะมีทั้งการใช้ฟลูออไรด์ (Fluoride) กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) และความร้อนสูง เมื่อเป็นธาตุบริสุทธิ์แล้ว เบริลเลียมจะมีลักษณะเป็นโลหะที่น้ำหนักเบา แข็งแรง ทนทาน และทนความร้อน ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของยานอวกาศ เครื่องบินความเร็วสูง ดาวเทียม จรวดมิสไซล์ อาวุธนิวเคลียร์ เครื่องเอกซเรย์ กระจกชนิดพิเศษที่ต้องการความเบาและทนทาน เช่น กระจกบนดาวเทียม กระจกที่ใช้ในกล้องโทรทรรศน์อวกาศ เบริลเลียมยังใช้ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) เครื่องเสียง โลหะผสมของเบริลเลียมมีความทนทาน ใช้ทำรถจักรยานชนิดแข็งแรงพิเศษ เครื่องยนต์ชนิดพิเศษ อุปกรณ์ช่าง อุปกรณ์กีฬา เช่น ไม้กอล์ฟ คอมพิวเตอร์ และทำวัสดุอุดฟัน [6] ในสมัยก่อนมีการนำเบริลเลียมมาใช้เป็นส่วนประกอบของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ผู้ป่วยที่พบโรคปอดและผิวหนังจากเบริลเลียมในยุคแรกๆ ก็คือคนงานในโรงงานหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์นี้ แต่เนื่องจากอันตรายที่พบมาก ปัจจุบันจึงเลิกใช้ในอุตสาหกรรมนี้ไปแล้ว

กลไกการก่อโรค ทางเข้าสู่ร่างกายหลักของเบริลเลียมคือทางปอด ส่วนทางผิวหนังและทางการกินนั้น เบริลเลียมดูดซึมเข้าได้น้อย แต่หากกินสารประกอบเบริลเลียมที่ละลายน้ำได้หรือผิวหนังที่สัมผัสสัมผัส แผล การดูดซึมจะเพิ่มขึ้น เมื่อเข้าสู่กระแสเลือดแล้ว เบริลเลียมส่วนใหญ่จะจับกับโปรตีนในกระแสเลือด เช่น Prealbumin และ Globulin สะสมในปอด กระดูก และอวัยวะอื่นๆ และขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะเป็นหลัก กลไกการเกิดโรคนั้นเชื่อว่าเกิดได้ทั้งจากพิษก่อการอักเสบของเบริลเลียมโดยตรง เช่น ในกรณีของโรคปอดอักเสบเฉียบพลัน และเกิดจากการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันแบบ Cell-mediated immune response (Delayed-type hypersensitivity หรือ Type IV hypersensitivity) เช่นในกรณีของโรคปอดเรื้อรังและฝิ่นแพ้ที่ผิวหนัง โดยเบริลเลียมจะทำตัวเป็น Antigen ไปกระตุ้น Human leukocyte antigen (HLA) และ T-lymphocyte ทำให้เกิดกระบวนการหลั่งสาร Cytokine ชนิดต่างๆ เช่น TNF- α และ IL-6 ออกมา จนเกิดการอักเสบแบบ Granulomatous inflammation ขึ้นที่ปอดหรือผิวหนังในที่สุด

การเตรียมตัวเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน กรณีฝุ่นของเบริลเลียม หรือไอของสารประกอบเบริลเลียมรั่วไหลแพร่กระจาย ผู้เข้าไปช่วยเหลือผู้ป่วยต้องใส่ชุดป้องกันสารเคมีที่เหมาะสม ถ้าความเข้มข้นสูงมากต้องใช้ชุดที่มีถังบรรจุอากาศในตัว

อาการทางคลินิก

- **อาการเฉียบพลัน** การสูดดมฝุ่นหรือฟุ้งของเบริลเลียม และสารประกอบของเบริลเลียมที่ละลายน้ำได้ เช่น เบริลเลียมฟลูออไรด์ (Beryllium fluoride) เบริลเลียมคลอไรด์ (Beryllium chloride) เบริลเลียมซัลเฟต (Beryllium sulfate) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะพบได้ในโรงงานผลิตเบริลเลียม สามารถทำให้เกิดการอักเสบรุนแรงในทางเดินหายใจ เรียกว่า Acute beryllium disease อาการจะแสบจุก แสบคอ หลอดลมอักเสบ ไอ แน่นหน้าอก ถ้ารุนแรงจะเกิดปอดอักเสบ (Chemical pneumonitis) อาการสามารถเกิดเฉียบพลันแทบจะทันทีหลังสูดดมได้ ถ้ารุนแรงทำให้ตาย ถ้าอาการไม่รุนแรงจะหายโดยไม่มีอาการตกค้างในหลายสัปดาห์ถึงหนึ่งเดือนต่อมา ผู้ป่วยที่เคยเป็นโรคปอดอักเสบเฉียบพลันจากเบริลเลียมแล้ว บางส่วนจะป่วยเป็นโรคปอดเรื้อรังจากเบริลเลียมต่อไปได้ในระยะยาว
- **อาการระยะยาว** พิษของการได้รับเบริลเลียมในระยะยาวนั้นมีได้หลายอย่าง ทั้งทำให้เกิดโรคปอดเรื้อรัง ทำให้เกิดโรคผิวหนัง และทำให้เกิดมะเร็งปอด (1.) โรคปอดเรื้อรังที่เกิดจากเบริลเลียมนี้เรียกว่า Beryllosis หรือ Chronic beryllium disease (CBD) โรคนี้เริ่มแรกพบในกลุ่มคนทำงานโรงงานหล่อไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้เบริลเลียมในสมัยก่อน เกิดจากการสูดดมเอาฝุ่นของสารประกอบเบริลเลียมที่ไม่ละลายน้ำ หลักๆ คือเบริลเลียมออกไซด์ (Beryllium oxide) เข้าไป ซึ่งจะก่อให้เกิดการอักเสบแบบ Granulomatous inflammation ในปอดขึ้น ภาพรังสีจะพบเป็นจุดกระจายทั่วปอดทั้งสองข้าง ตัดขึ้นเนื้อส่องกล้องดูจะพบมี Interstitial granulomatous เล็กๆ คล้ายกับโรค Sarcoidosis อาการจะออกแรงแล้วเหนื่อย แน่นหน้าอก เจ็บหน้าอก ไอ น้ำหนักลด อ่อนเพลีย สมรรถภาพปอดลดลง ปอดไม่สามารถแลกเปลี่ยนแก๊สได้ดีเนื่องจากเนื้อปอดเป็นพังพืด หัวใจข้างขวาโต (Cor pulmonale) ถ้าเป็นมาก อาจเกิดตัวเขียว และกระดูกเกิดภาวะ Hypertrophic osteoarthropathy ได้ ในที่สุดอาจทำให้เสียชีวิต เนื่องจากพบว่าโรคนี้นี้พบได้ทั้งในคนที่สัมผัสฝุ่นเบริลเลียมทั้งในความเข้มข้นสูงและความเข้มข้นที่ต่ำมาก บางรายเกิดโรคนี้นี้หลังจากหยุดการสัมผัสไปแล้วหลายปี [7] จึงเชื่อว่าโรคนี้น่าจะเกิดจากกลไกการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ซึ่งอาจจะเป็นชนิด Antigen-stimulated, cell-mediated immune response โดยเบริลเลียมทำตัวเป็น Antigen กระตุ้น T-lymphocyte และ Human leukocyte antigen (HLA) ทำให้เกิดการหลั่งสาร Cytokine ออกมาจนเกิดการอักเสบแบบ Granulomatous inflammation และเกิดพังพืดในเนื้อปอดขึ้นในที่สุด (2.) โรคผิวหนังจากเบริลเลียม การสัมผัสกับสารประกอบของเบริลเลียมที่ละลายน้ำได้จะทำให้เกิดการระคายเคืองและอักเสบที่ดวงตา เกิดผิวหนังอักเสบ (Contact dermatitis) ลักษณะจะขึ้นเป็นจุดและตุ่มน้ำใส ซึ่งน่าจะเกิดจากฤทธิ์ระคายเคืองของเบริลเลียมโดยตรง ในคนที่ใส่วัสดุอุดฟันที่มีเบริลเลียมเป็นส่วนประกอบบางราย อาจเกิดการอักเสบที่เหงือกขึ้นรอบฟันที่ใช้วัสดุอุดเนื่องจากการแพ้ได้ การตกค้างของฝุ่นสารประกอบเบริลเลียมชนิดไม่ละลายน้ำอยู่ในผิวหนัง เช่น ในกรณีที่ทำงานแล้วสะเก็ดกระเด็นมาฝังในผิวหนัง จะทำให้เกิดการอักเสบซึ่งน่าจะเป็นผลจาก Cell-mediated

immune response ทำให้เกิดรอยโรคเป็น Granuloma ในผิว ลักษณะเป็นตุ่มคล้ายๆ หูด นานไปจะแตกเป็นแผลเรื้อรังได้ ผิวหนังยังเป็นช่องทางในการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (Sensitization) ของร่างกายต่อเบริลเลียม การจะตรวจยืนยันให้ทราบว่าผู้ใดเกิดการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันไปแล้ว (Beryllium sensitized) หรือยัง ทำโดยตรวจ Beryllium lymphocyte proliferation test (BeLPT) และ Beryllium sulfate skin test (3.) สำหรับการก่อกัมเริงนั้น เบริลเลียมเป็นสารที่ก่อมะเร็งปอด พบว่าในคนทำงานโรงงานผลิตและหลอมเบริลเลียม มีโอกาสเป็นมะเร็งปอดได้ในอัตราสูงกว่าปกติ

การตรวจทางห้องปฏิบัติการ (1.) สำหรับกรณีโรคปอดอักเสบเฉียบพลัน ควรตรวจร่างกายดูการอักเสบในจมูกและลำคอ ตรวจภาพรังสีทรวงอกเพื่อค้นหาการอักเสบ ตรวจระดับออกซิเจนทางปลายนิ้ว ตรวจระดับแก๊สในหลอดเลือดแดง (2.) สำหรับกรณีโรคปอดเรื้อรัง (CBD) ตรวจภาพรังสีทรวงอกจะพบจุดกระจายทั่วปอดทั้ง 2 ข้าง คล้าย Miliary tuberculosis หรือ Sarcoidosis อาจพบต่อมน้ำเหลืองที่ซั้วปอดโต (Hilar lymphadenopathy) การตรวจภาพรังสีคอมพิวเตอร์ความละเอียดสูง อาจทำให้เห็นรอยโรคได้ชัดเจนขึ้น ตรวจสมรรถภาพปอดช่วงแรกอาจปกติ เมื่อเป็นมากจะผิดปกติแบบจำกัดการขยายตัว ถ้าพังผืดเกิดขึ้นมาก การตรวจเพื่อดูการแลกเปลี่ยนแก๊ส เช่น D_{LCO} test ค่าจะลดลง การส่องกล้องตรวจน้ำล้างปอด (Bronchoalveolar lavage; BAL) จะพบเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์สูง ตรวจชิ้นเนื้อจากปอดจะพบลักษณะ Non-caseating granuloma และมี Perivascular and parenchymal fibrosis with lymphocyte deposition [7] ได้ (3.) กรณีรอยโรคที่ผิวหนัง ตรวจร่างกายดูผื่นหรือตุ่มที่ผิวหนัง กรณีต้องการทดสอบว่าผู้ป่วยเคยได้รับสัมผัสเบริลเลียมและเกิดการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันไปแล้วหรือยัง ทำโดยการตรวจ BeLPT คือเจาะเลือดไปแยกเอาเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์มาทำปฏิกิริยากับสารละลายเบริลเลียมในหลอดทดลอง ถ้าเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์เกิดการเพิ่มจำนวนขึ้นแสดงว่าเคยมีการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันจากเบริลเลียมแล้ว ถ้าผลเป็นบวกจากการทำ 2 ครั้งจะยืนยันได้ค่อนข้างแน่นอน คนกลุ่มนี้จะมีโอกาสเกิดโรคปอดเรื้อรังจากเบริลเลียม (CBD) ในอนาคตได้สูง ต้องตรวจเฝ้าระวังโรคเป็นอย่างดี อีกวิธีในการตรวจการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันคือทำ Skin patch test โดยแปะสารทดสอบด้วยสารละลาย 1 % Beryllium sulfate [6,8] (4.) กรณีมะเร็งปอด ตรวจภาพรังสีทรวงอกและภาพรังสีคอมพิวเตอร์เพื่อดูรอยโรค ตรวจชิ้นเนื้อเพื่อยืนยันการเป็นมะเร็ง

การดูแลรักษา

- **การปฐมพยาบาล** นำผู้ป่วยออกจากที่สัมผัสให้เร็วที่สุด ถอดเสื้อผ้าออก ล้างผิวหนังส่วนที่สัมผัสด้วยน้ำเปล่า ถ้าเข้าตาให้ล้างตาด้วย ให้ออกซิเจนเสริม รีบส่งพบแพทย์
- **การรักษา** (1.) กรณีปอดอักเสบเฉียบพลัน เมื่อผู้ป่วยมาถึงโรงพยาบาล ถ้ายังไม่ได้ล้างตัวให้ล้างตัวก่อน ประเมินการหายใจ ช่วยหายใจถ้าไม่หายใจ ให้ออกซิเจนเสริม ประเมินระบบไหลเวียน ให้สารน้ำอย่างเพียงพอ ให้ออนพัก ตรวจภาพรังสีทรวงอกเพื่อค้นหาการอักเสบที่ปอด ให้การรักษาประคับประคองตามอาการ อาจพิจารณาให้ยาสเตียรอยด์เพื่อลดการอักเสบร่วมด้วย (2.) กรณีโรคปอดเรื้อรัง (CBD) เมื่อเป็นแล้วรักษาให้หายขาดไม่ได้ อาการผู้ป่วยมักจะแย่ลงเรื่อยๆ การป้องกันโรจึงเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญที่สุด เมื่อเป็นโรคแล้วต้องให้หยุดการสัมผัสโดยการเปลี่ยนงานทันที ถ้ามีอาการมาก เช่น หอบหรือไอตลอด เหนื่อยง่าย สมรรถภาพปอดผิดปกติมาก ค่าการแลกเปลี่ยนแก๊สลดลง เริ่มมีความดันในปอดสูง หัวใจข้างขวาโต หรืออาการแย่ลงอย่างรวดเร็ว หากมีอาการเหล่านี้ให้เริ่มการรักษาด้วยยาสเตียรอยด์เพื่อชะลอการอักเสบ เช่น Prednisolone 40 mg ทุกวันหรือวันเว้นวัน หลังให้ไป 3 – 6 เดือนต้องประเมินการตอบสนองในการรักษา ส่วนใหญ่เมื่ออาการมากแล้วมักต้องให้กินยาไปตลอดชีวิต ซึ่งทำให้ต้องดูแลผู้ป่วยในเรื่องผลข้างเคียงจากยาสเตียรอยด์ด้วย เช่น น้ำตาลในเลือดสูง ความดันสูง กระดูกพรุน กล้ามเนื้ออ่อนแรง ในรายที่อาการหนักมาก อาจต้องให้ออกซิเจนที่บ้าน ยาขยายหลอดลม ยาสเตียรอยด์ชนิดพ่นทางเดินหายใจ ยาขับปัสสาวะ เมื่อมีการติดเชื้อต้องให้ยาปฏิชีวนะ ฉีดวัคซีนให้ตามความเหมาะสม ในรายที่ไม่ตอบสนองต่อสเตียรอยด์อาจต้องให้เป็นกลุ่มยากดภูมิแทน เช่น Methotrexate กินไม่เกิน 15 mg ต่อสัปดาห์ ส่วนในกลุ่มที่อาการยังไม่มาก ให้สังเกตอาการเป็นระยะอย่างน้อยทุก 1 ปี ตรวจติดตามภาพรังสีทรวงอกหรือภาพรังสีคอมพิวเตอร์ความละเอียดสูง และสมรรถภาพปอด ในกลุ่มที่ยังไม่เป็นโรคแต่ผลตรวจ BeLPT เป็นบวกคือมีการ

กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันโดยเบริลเลียมแล้ว (Beryllium-sensitized) ควรตรวจฝ้าระวางด้วยเช่นกัน อย่างน้อยทุก 2 ปี (3.) กรณีโรคผิวหนัง อาการแพ้รักษาเหมือนผื่นแพ้ผิวหนังทั่วไป ให้หยุดการสัมผัสเบริลเลียมและใช้ยาทาสเตียรอยด์ก็จะหายได้ ถ้าเป็นการแพ้วัสดุอุดฟัน หากอาการรุนแรงมากอาจต้องถอดออกแล้วเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่ทำจากโลหะชนิดอื่นที่ไม่แพ้ กรณีรอยโรคเป็น Granuloma ในผิวหนังเนื่องจากมีสะเก็ดเบริลเลียมฝังใน การรักษาให้หายจะต้องผ่าและล้าง (Excision and debridement) เอาสะเก็ดนั้นออก จึงจะหายได้

การป้องกันและฝ้าระวาง เนื่องจากเป็นแร่ธาตุหายาก และใช้ในอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสูงบางอย่างเท่านั้น โอกาสจะพบการใช้เบริลเลียมในอุตสาหกรรมทั่วไปจึงค่อนข้างน้อย อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีพิษร้ายแรง หากพบว่ามีการใช้เบริลเลียมในโรงงานจะต้องดูแลใส่ใจ ฝ้าระวางด้านสุขภาพอนามัยเป็นพิเศษ จะเห็นว่าโรคที่เกิดขึ้นจากเบริลเลียมนั้นรุนแรง และบางโรครักษาให้หายขาดไม่ได้ เป็นแล้วมักเสียชีวิต เช่น โรคปอดเรื้อรัง (CBD) และโรคมะเร็งปอด ดังนั้นการป้องกันโรคจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ในการทำงานกับเบริลเลียม ควรให้คนทำงานสัมผัสกับสารเคมีนี้ให้น้อยที่สุด แม้การสัมผัสกับผิวหนังก็มีผลเสีย เพราะทำให้เกิดการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (Sensitization) อันจะนำไปสู่โรคปอดเรื้อรังตามมา ต้องใส่ชุดป้องกันที่รัดกุม ใส่เสื้อแขนยาวและผ้ากันเปื้อน ปิดบังผิวหนังบริเวณแขน ใบหน้า และลำคอ การสัมผัสทางการหายใจต้องใส่หน้ากากป้องกันที่เหมาะสม การป้องกันที่ดีที่สุดคือป้องกันที่แหล่งกำเนิด ใช้ระบบปิด ใช้เครื่องจักรแทนคนทำงานถ้าทำได้ ควบคุมระดับสารเคมีที่อยู่ในบรรยากาศไม่ให้เกินค่ามาตรฐาน ส่วนการฝ้าระวางสุขภาพนั้น ในคนทำงานกับเบริลเลียมควรจัดทำทะเบียนและติดตามฝ้าระวางสุขภาพไว้ ควรทำ BeLPT ให้ทุกราย เพื่อให้ทราบว่าใครที่เกิดการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันไปแล้วบ้างจะได้ฝ้าระวางมากเป็นพิเศษ การตรวจฝ้าระวางสุขภาพอย่างน้อยควรตรวจภาพรังสีทรวงอกและสมรรถภาพปอดเป็นระยะ การตรวจภาพรังสีคอมพิวเตอร์ความละเอียดสูงอาจทำให้มองเห็นรอยโรคในระยะแรกได้ดีขึ้นในรายที่สงสัย ควรให้ความรู้กับคนทำงานเพราะโรคปอดเรื้อรังสามารถเกิดได้แม้หยุดการสัมผัสหรือออกจากงานไปนานแล้ว ตรวจดูฝุ่นและตุ่มที่ผิวหนัง สอบถามอาการเหนื่อย แน่นหน้าอก ขณะทำงาน

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; 2013.
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. 100C – Arsenic, metals, fibres and dusts. Lyon: IARC Press; 2012.
6. Klaassen CD, editor. Casarett and Doull's toxicology: The basic science of poisons. 7th ed. New York: McGraw-Hill; 2008.
7. Rom WN, Markovitz SB, editors. Environmental and occupational medicine. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
8. Fontenot AP, Maier LA, Canavera SJ, Hendry-Hofer TB, Boguniewicz M, Barker EA, et. al. Beryllium skin patch testing to analyze T cell stimulation and granulomatous inflammation in the lung. J Immunol 2002;168(7):3627-34.