

การตรวจวัดระดับก๊าซ เอทิลีน ออกไซด์ (EtO)  
และการคำนวณหาระยะเวลาที่ปลอดภัยจากการสัมผัส  
ในหน่วยเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อ โรงพยาบาลศิริราช

ประพันธ์ เชิดชูงาม วท.บ., ส.ม.\*

ธีระ กลลดาเรืองไกร พ.บ.\*

สัมมน โฉมฉาย พ.บ.\*

ดุจปรารถนา พิศาลสารกิจ วท.บ.\*

อัญชลี อมรรัตน์ วท.ม.\*

ทัศนีย์ ดีชู ป.พนักงานวิทยาศาสตร์การแพทย์\*

**เรื่องย่อ :** วัตถุประสงค์ของการตรวจวัดระดับก๊าซ เอทิลีน ออกไซด์ (Ethylene Oxide, EtO) ในหน่วยเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อ โรงพยาบาลศิริราช ด้วยเครื่องดูดอากาศจำเพาะอย่างง่ายคือ เพื่อศึกษาค่าความเข้มข้นของก๊าซ EtO ที่เหลือตกค้างด้านหลังเครื่องอบอุปกรณ์การแพทย์ขณะเครื่องอบก๊าซเปิดในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ กัน ในปริมาณอากาศของห้องที่คงที่ และคำนวณระยะเวลาที่เหมาะสมก่อนเคลื่อนย้ายอุปกรณ์การแพทย์ไปยังเครื่องไล้ก๊าซ (aerator) ผลการตรวจวัดระดับก๊าซ EtO ด้านหลังเครื่องอบก๊าซเปิดที่ระยะเวลาที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที มีค่าเท่ากับ 1.5, 1.2, 0.7 และ 0.4 ppm ตามลำดับ โดยอาศัยลักษณะของการซัดก๊าซในรูปแบบของสมการชนิด กึ่งล็อกกาสิทึม (semi-logarithm equation) ซึ่งสามารถหาค่าความลาด (slope of elimination) ระหว่างจุด 2 จุดได้ การคำนวณหาระยะเวลาที่คาดว่าจะระดับความเข้มข้นของก๊าซ EtO ในห้องดังกล่าวจะน้อยกว่า (หรือเท่ากับ) 0.5 ppm เท่ากับ 18.75 นาที สำหรับขนาดของห้องที่มีปริมาตร 115.83 ลบ.ม. ซึ่งเป็นค่าที่ระดับปริมาณของก๊าซ EtO หลงเหลืออยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการปฏิบัติงานของบุคลากรได้ และเป็นแบบอย่างในการนำไปใช้กับห้องปฏิบัติการอื่น ๆ ต่อไป

**Abstract :** Measurement of Ethylene Oxide Gas and Calculation of a Safe Period for Contact at the Medical Sterilization Unit in Siriraj Hospital

Prapan Cherdchoo-ngarm, B.Sc., M.P.H.\*, Teera Kolladaruengkri, M.D.\*, Summon Chomchai, M.D.\*, Dujpratana Pisalsarakij, B.Sc.\*, Anchalee Amornrat, M.Sc.\*, Tatsanee Deechoo, M.A.T.\*

\*Department of Preventive and Social Medicine, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok 10700.

*Siriraj Hosp Gaz* 2004; 56: 129-134.

The objectives in measuring the ethylene oxide (EtO) level at the Medical Sterilization Unit in Siriraj Hospital by using a simple Piston gas hand pump, are to examine the residual EtO level at

ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม, คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร 10700.

the back of the sterilizer after the sterilizer opened (the end of the sterilization process) at different time periods and to calculate a safe period of time to wait before transferring equipment and supplies to the aerator. The EtO levels at 5, 10, 15 and 20 minutes after the sterilizer opened were 1.5, 1.2, 0.7 and 0.4 ppm, respectively. By using a semi-logarithm equation to calculate the slope of elimination between 2 points, the expected time for the concentration of EtO level to be equal to or less than 0.5 ppm would be 18.75 minutes for a room volume of 115.83 cubic meters. A concentration of residual EtO level at 0.5 ppm or lower was safe for workers in routine work environments and could be applied by other laboratories.

**Key words :** Ethylene oxide, EtO, Sterilization

### คำนำ

ก๊าซ เอทิลีน ออกไซด์ (Ethylene oxide หรือ EtO) มีสูตรทางเคมีคือ  $C_2H_4O$  เป็นก๊าซที่ถูกนำมาใช้ในห้องเครื่องมือแพทย์ให้ปราศจากเชื้อโรค (sterilant) และนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ethylene glycol, โพลีเอสเตอร์ ผงซักฟอก พลาสติกอัดรูป สารกำจัดเชื้อราในดิน สารกำจัดโรคพืช นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารรมควันสำหรับอาหารบางชนิด ยารักษาโรค อุตสาหกรรมกระดาษ เสื้อผ้า สิ่งทอ และผ้าขนสัตว์เป็นต้น<sup>1-4</sup>

เนื่องจากก๊าซดังกล่าวไม่มีสี ไม่มีกลิ่น (ในปริมาณน้อยกว่า 450 ppm) จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบหรือสังเกตได้จากการปฏิบัติการทำงาน ยกเว้นกรณีที่มีปริมาณรั่วไหลจำนวนมาก ผู้สัมผัสสามารถบอกได้ถึงกลิ่นหอมหวาน ซึ่งระดับดังกล่าวถือว่าอยู่ในระดับที่เกิดอันตรายแล้ว ปัจจุบันสถาบันดูแลสุขภาพความปลอดภัยทางอาชีวอนามัย (Occupational Safety and Health Administration, OSHA)<sup>5</sup> ได้กำหนดมาตรฐานการสัมผัสที่ระดับไม่เกิน 1 ppm สำหรับการสัมผัสโดยการหายใจไม่เกิน 8 ชั่วโมงการทำงานและจำกัดที่ 5 ppm สำหรับการสัมผัสโดยการหายใจในช่วง 15 นาที

ปัญหาที่เกิดจากการสูดดมหรือสัมผัสก๊าซดังกล่าวทางผิวหนังของบุคลากรที่ปฏิบัติงานในสถานทีนั้นได้เคยถูกรายงานด้วยการศึกษาในคนงานที่สัมผัสก๊าซดังกล่าวเป็นเวลานาน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของภาวะมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia), มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งของตับอ่อน อีกทั้งมีรายงานการเกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองอื่น ในช่วงระหว่างปี 1980 ถึงปัจจุบันมีหลาย

รายงานที่เกี่ยวกับการเกิดการอักเสบของเส้นประสาทส่วนปลายในคนงานที่ปฏิบัติงานในสถานที่ที่มีความเข้มข้นของก๊าซดังกล่าวเพียง 3 ppm ซึ่งเป็นระดับที่ไม่สามารถรู้สึกได้<sup>6,7</sup>

โรงพยาบาลศิริราชเป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่นำก๊าซเอทิลีน ออกไซด์ (EtO) มาใช้ในห้องเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ให้ปราศจากเชื้อ โดยประกอบด้วยขั้นตอนการใส่อุปกรณ์ที่ต้องการอบ การเปิดอุปกรณ์อบ การใช้เครื่องไล่ก๊าซ (aerator) สำหรับไล่ก๊าซที่เหลือจากการอบเพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ใช้งาน ขณะเดียวกันบุคลากรหรือคนงานที่ทำหน้าที่ขนถ่าย หรือเคลื่อนย้ายเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ก่อนและหลังเสร็จสิ้นกระบวนการอบ (sterilization) มีโอกาสสัมผัส และหายใจเอาก๊าซส่วนที่ตกค้างเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ เนื่องจาก เอทิลีน ออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่สามารถได้กลิ่นในระดับความเข้มข้นต่ำ แต่จะได้กลิ่นเมื่อมีความเข้มข้นสูงกว่า 450 ppm ดังนั้นหากเกิดการรั่วไหลของก๊าซ EtO ก็สามารถเล็ดลอดหรือกระจายไปยังบริเวณใกล้เคียงได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของบุคลากรข้างเคียงเมื่อสูดดมและสัมผัส

การตรวจวัดระดับความเข้มข้นก๊าซด้วยอุปกรณ์เฉพาะจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในการรักษาความปลอดภัยให้แก่บุคลากร และการคำนวณหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสัมผัสก๊าซดังกล่าวเป็นการลดความเสี่ยงจากการสัมผัสได้วิธีหนึ่ง

**วัตถุประสงค์**

เพื่อรายงานระดับความเข้มข้นของก๊าซ EtO ที่ตรวจพบในช่วงเวลาต่างๆ ดังนี้

1. เริ่มเปิดก๊าซ EtO เข้าเครื่องอบก๊าซ (sterilizer)
2. ด้านหลังหน้าต่างเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้วนาน 5 นาที
3. ด้านหลังหน้าต่างเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้วนาน 10 นาที
4. ด้านหลังหน้าต่างเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้วนาน 15 นาที
5. ด้านหลังหน้าต่างเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้วนาน 20 นาที

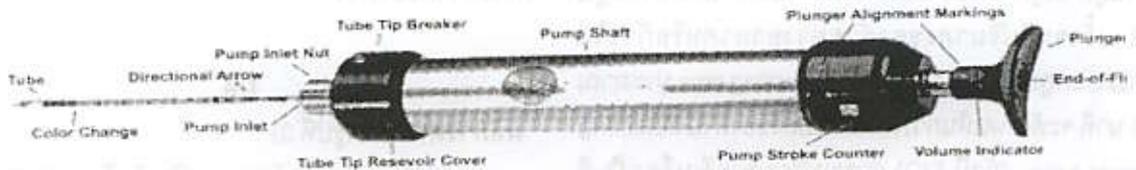
เพื่อคำนวณหาระดับการลดลงของก๊าซดังกล่าว (elimination time) ในบรรยากาศห้อง ขนาด 115.83 ลบ.ม. และค่าครึ่งชีวิต (half-life) ของก๊าซในบรรยากาศห้องดังกล่าว

เพื่อสามารถคำนวณหาระยะเวลาที่เหมาะสมหลังเครื่องอบก๊าซเปิด โดยกำหนดให้มีระดับความเข้มข้นของก๊าซ EtO เท่ากับหรือน้อยกว่า 0.5 ppm (ครึ่งหนึ่งของระดับที่ OSHA กำหนดเป็นมาตรฐาน)

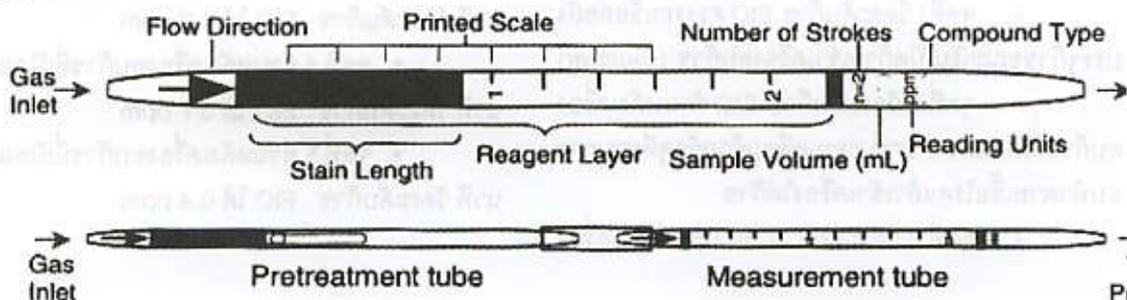
**วัตถุประสงค์และวิธีการ**

**เครื่องมือและอุปกรณ์**

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดระดับก๊าซ เอทธิลีน ออกไซด์ ประกอบด้วย Piston hand pump และ detector tube (รูปที่ 1 และ 2) โดยที่ Piston hand pump เป็นตัวปั๊มดูดตัวอย่างอากาศหรือก๊าซที่ต้องการตรวจเข้าไปในกระบอกสูบซึ่งจะซึมผ่านทาง tube ในที่นี้ detector tube เป็นของบริษัท GASTEC No.163L/Japan/expire 1. 2005 จะประกอบด้วย oxidizing layer tube และ detecting layer tube ก่อนการใช้งานจำเป็นต้องตรวจสอบสภาพของปั๊มสูบว่า



รูปที่ 1. เครื่องมือวัดระดับก๊าซ EtO



รูปที่ 2. หลอดวัดความเข้มข้นของก๊าซ EtO

อยู่ในสภาพดีหรือไม่ เช่นการตรวจสอบการรั่วของปั๊มสุบ เป็นต้น

#### การเตรียมเครื่องมือและวิธีวัด

หักปลาย oxidizing layer tube และ detecting layer tube โดยใช้ที่หักปลาย tube ซึ่งอยู่ตรงส่วนปลายของเครื่องสุบ จากนั้นนำ tube ทั้งสองมาต่อกันโดยใช้ท่อยางกลวง (rubber tubing) เป็นท่อเชื่อม เมื่อเสร็จเรียบร้อยดีแล้วนำส่วนปลายของ detecting layer tube สอดเข้าตรงช่องที่ก๊าซจะผ่านเข้าเครื่องสุบ และพยายามขยับ tube กับเครื่องสุบให้แน่น การตรวจวัดก๊าซ EtO ทำโดยใช้มือข้างซ้ายจับกระบอกสุบ ส่วนมือขวาจับคันสูบ (หรือตามถนัด) ในตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัดก๊าซ ให้ปลายด้านที่ก๊าซเข้า (gas inlet) อยู่ในบริเวณ breathing zone (ด้านหลังของเครื่องอบก๊าซเปิด) หรือบริเวณข้างใบหน้าผู้ปฏิบัติงานขณะทำหน้าที่ขนย้ายอุปกรณ์การแพทย์ที่ผ่านการอบแล้วไปยังเครื่องไลควันหรือห่างจากหลังเครื่องอบก๊าซเปิดไม่เกิน 1 ฟุต เมื่อพร้อมใช้งาน ตำแหน่งคันชักจะต้องเข้าสุด มือขวาต้องดึงคันสูบจนสุด เครื่องจะสูดโดยอัตโนมัติ (การดึงคันสูบ 1 ครั้งจะมีปริมาตรของตัวอย่างอากาศหรือก๊าซในกระบอกสุบจำนวน 100 มล.), sampling time ประมาณ 3 นาที จะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีใน detecting layer tube (ถ้ามี EtO) จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดง ให้อ่านผลทันที ถ้ารอทิ้งไว้นาน สีจะค่อย ๆ จางหายไป

#### ตำแหน่งที่ตรวจวัดระดับก๊าซ EtO เรียงตามลำดับดังนี้

- จุดที่ 1 วัดระดับก๊าซ EtO ตรงรอยข้อต่อถึงบรรจุภัณฑ์ขณะเริ่มเปิดก๊าซเข้าเครื่องอบก๊าซ (sterilizer)
- จุดที่ 2 วัดระดับก๊าซ EtO ด้านหลังเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้ว 5 นาที ก่อนเคลื่อนย้ายวัสดุที่ผ่านการอบทำลายเชื้อโรคแล้วเข้าเครื่องไลควัน
- จุดที่ 3 วัดระดับก๊าซ EtO ด้านหลังเครื่อง

อบก๊าซที่เปิดแล้ว 10 นาที ก่อนเคลื่อนย้ายวัสดุที่ผ่านการอบทำลายเชื้อโรคแล้วเข้าเครื่องไลควัน

- จุดที่ 4 วัดระดับก๊าซ EtO ด้านหลังเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้ว 15 นาที ก่อนเคลื่อนย้ายวัสดุที่ผ่านการอบทำลายเชื้อโรคแล้วเข้าเครื่องไลควัน
- จุดที่ 5 วัดระดับก๊าซ EtO ด้านหลังเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้ว 20 นาที ก่อนเคลื่อนย้ายวัสดุที่ผ่านการอบทำลายเชื้อโรคแล้วเข้าเครื่องไลควัน

คำนวณหาค่าความลาดของการกำจัดของก๊าซ (slope of elimination) โดยสมการ semi-logarithm ดังนี้:-

Slope (K) = [ Ln (C1) – Ln (C2) ] / time โดย C1 และ C2 คือความเข้มข้นของก๊าซที่วัดได้ ณ เวลาหนึ่ง และ time คือ ระยะห่างของเวลาระหว่างการวัด ที่ C1 และ C2

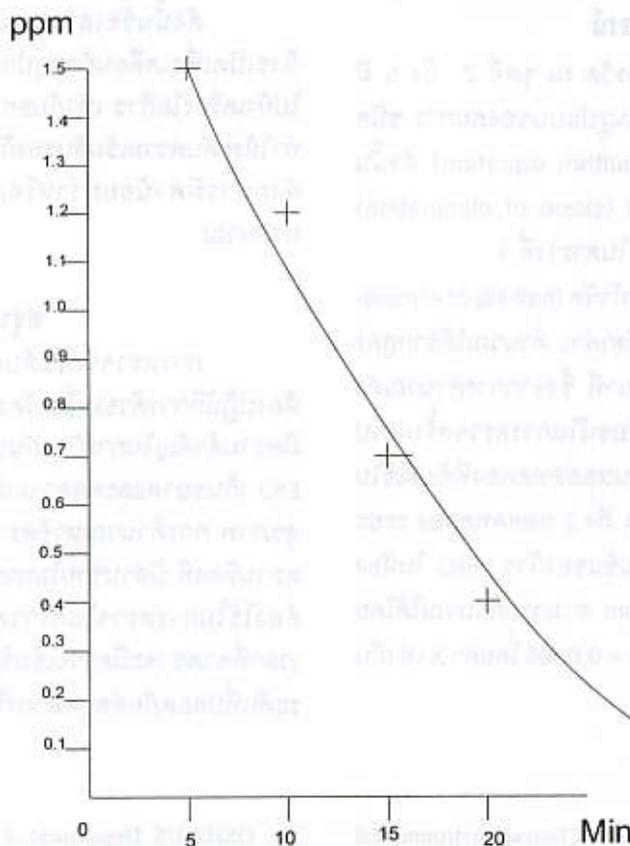
การคำนวณหาค่าครึ่งชีวิตของการกำจัดทำได้ด้วยสมการดังนี้

Half-life = Ln 2 / K โดย K คือค่าความลาดของการกำจัดของก๊าซ

#### ผล

ผลการตรวจ : (รูปที่ 3)

- จุดที่ 1 วัดขณะเปิดถังก๊าซ EtO ได้ 0.0 ppm
- จุดที่ 2 ด้านหลังเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้ว 5 นาที วัดระดับก๊าซ EtO ได้ 1.5 ppm
- จุดที่ 3 ด้านหลังเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้ว 10 นาที วัดระดับก๊าซ EtO ได้ 1.2 ppm
- จุดที่ 4 ด้านหลังเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้ว 15 นาที วัดระดับก๊าซ EtO ได้ 0.7 ppm
- จุดที่ 5 ด้านหลังเครื่องอบก๊าซที่เปิดแล้ว 20 นาที วัดระดับก๊าซ EtO ได้ 0.4 ppm



รูปที่ 3. กราฟแสดงระดับความเข้มข้นของก๊าซ EtO ที่วัดในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน

ตารางที่ 1. ลักษณะของการกำจัดของก๊าซเป็นรูปแบบของสมการชนิดกึ่งล็อกกาลิทึม (semi-logarithm equation)

รายการ	ค่าความลาดของการกำจัดของก๊าซ/นาที
ค่าคงที่การกำจัดระหว่าง จุดที่ 2 กับ 3 เท่ากับ $(\ln 1.5 - \ln 1.2) / 5$	0.044
ค่าคงที่การกำจัดระหว่าง จุดที่ 3 กับ 4 เท่ากับ $(\ln 1.2 - \ln 0.7) / 5$	0.1077
ค่าคงที่การกำจัดระหว่าง จุดที่ 4 กับ 5 เท่ากับ $(\ln 0.7 - \ln 0.4) / 5$	0.1119
ค่าคงที่การกำจัดระหว่าง จุดที่ 2 กับ 4 เท่ากับ $(\ln 1.5 - \ln 0.7) / 10$	0.0762
ค่าคงที่การกำจัดระหว่าง จุดที่ 3 กับ 5 เท่ากับ $(\ln 1.2 - \ln 0.4) / 10$	0.1098
ค่าคงที่การกำจัดระหว่าง จุดที่ 2 กับ 5 เท่ากับ $(\ln 1.5 - \ln 0.4) / 15$	0.0881
ค่าเฉลี่ยของการกำจัด (slope of elimination, K)	0.0896

### วิจารณ์

เนื่องจากข้อมูลการวัด ณ จุดที่ 2 ถึง 5 มีลักษณะของการกำจัดก๊าซในรูปแบบของสมการ ชนิดกึ่งล็อกกาลีทีม (semi-logarithm equation) ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความลาด (slope of elimination) ระหว่างจุด 2 จุด ได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ค่าครึ่งชีวิตของการกำจัด (half-life of elimination) ของก๊าซ EtO ในห้องดังกล่าว คำนวณได้จากสูตร  $\text{Half-life} = 0.693 / K = 7.7$  นาที ซึ่งจากการคำนวณดังกล่าวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจครั้งต่อไป โดยทำให้สามารถลดจำนวนหลอดทดลองที่ต้องใช้ในการตรวจแต่ละครั้งลงเหลือ 1 ถึง 2 หลอดทดลอง ระยะเวลาที่คาดว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซ EtO ในห้องดังกล่าวจะน้อยกว่า 0.5 ppm สามารถคำนวณได้โดยสมการ  $(\text{Ln } 0.7 - \text{Ln } 0.5) / x = 0.0896$  โดยค่า X เท่ากับ 3.75 นาทีนับจากนาทีที่ 15

### เอกสารอ้างอิง

1. Sullivan JB Jr, Krieger GR. Clinical environmental health and toxic exposures. Lippincott, Williams & Wilkins: Philadelphia, 2001: 1133 - 39.
2. Goldfrank LR. Goldfrank's toxicologic emergencies. 6<sup>th</sup> ed. Appleton & Lange: Connecticut, 1998: 1743 - 44.
3. Ellenhorn MJ. Ellenhorn's medical toxicology: diagnosis and treatment of human poisoning. 2<sup>nd</sup> ed. Williams & Wilkins: Baltimore, 1997: 1211 - 14.
4. LaDou J. Occupational and environmental medicine. 2<sup>nd</sup> ed. Appleton & Lange, 1997: 454 - 56.
5. OSHA US. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration Part III 1989, 54: 2332-983.
6. Crystal HA, Shcaumburg HH, Grober E, et al. Cognitive impairment and sensory loss associated with chronic low-level ethylene oxide exposure. Neurology 1988; 38: 567 - 69.
7. Estrin WJ, Cavalieri SA, Wald P, et al. Evidence of neurologic dysfunction related to long-term ethylene oxide exposure. Arch Neurol 1987; 44: 1283 - 86.

ดังนั้นข้อเสนอนี้ในการรอกห้องเครื่องอบก๊าซเปิดเพื่อเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่อบก๊าซดังกล่าวแล้วไปยังเครื่องใส่ก๊าซ เท่ากับอย่างน้อย 18.75 นาที ซึ่งจะทำให้ระดับความเข้มข้นของก๊าซ EtO ในห้องปฏิบัติการดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ppm โดยประมาณ

### สรุป

การตรวจวัดระดับก๊าซเอทิลีน ออกไซด์ใน ห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซ มีความสำคัญในการป้องกันบุคลากรจากการได้รับก๊าซ EtO เกินขนาดและลดความเสี่ยงต่อความปลอดภัยทางสุขภาพ การคำนวณหาอัตราการกำจัดก๊าซดังกล่าวในสถานที่คงที่ มีส่วนช่วยในการลดจำนวนหลอดทดลองที่ต้องใช้ในการตรวจในคราวต่อไปและสามารถกำหนดเวลาที่คาดว่าจะมีความเข้มข้นของก๊าซ EtO เหลืออยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อบุคลากรได้