

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 การระบายอากาศ

การศึกษาระบบระบายอากาศในโรงพยาบาลนั้นกระทำโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือก๊าซซัลเฟอร์ เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ดังเช่นการศึกษาของประเทศสิงคโปร์ที่พบว่าห้องต่างๆในโรงพยาบาลมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 450 ถึง 750 ppm ซึ่งไม่เกินมาตรฐาน ASHRAE ที่กำหนดไว้ที่ 1,000 ppm (Cheong and Chong, 2000) ส่วนการศึกษา ระบบระบายอากาศในโรงเรียนมัธยมศึกษาในสหรัฐอเมริกาในช่วงที่ไม่มีการเรียนการสอนพบว่า ห้องที่ทำการศึกษามีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,164 ppm มีอัตราการถ่ายเทอากาศ อยู่ในช่วง 8 ถึง 10 ลิตรต่อวินาทีต่อคน ต่ำกว่ามาตรฐาน ASHRAE ที่กำหนดไว้ที่ 10 ลิตรต่อวินาทีต่อคน (Scheff et al., 2000) สำหรับการใช้ SF_6 นั้นจากการศึกษาในประเทศสิงคโปร์พบว่าห้องต่างๆในโรงพยาบาลพบอัตราการถ่ายเทอากาศอยู่ในช่วง 11 ถึง 11.3 ลิตรต่อวินาทีต่อคน สูงกว่ามาตรฐาน ASHRAE (Cheong and Chong, 2001) ในประเทศไทยสำนักงานอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย ได้ศึกษาสภาพการระบายอากาศภายในอาคารพบว่าจุดบางจุดมีปริมาณการระบายอากาศไม่เพียงพอ โดยอยู่ในช่วง 8.56 ถึง 23.46 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อคน ขณะที่มาตรฐานของ ASHRAE กำหนดให้มีปริมาณการระบายอากาศเท่ากับ 20 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อคน (สำนักงานอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย, มปท)

ทั้งนี้สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ได้พยายามกำหนดมาตรฐานการระบายอากาศในสถานพยาบาลของประเทศไทยขึ้น โดยกำหนดระบบระบายอากาศในสถานพยาบาลให้มีความสามารถในการกรองอากาศด้วยการติดตั้งแผงกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพและจำนวนชั้นของแผงกรองอากาศขั้นต่ำ (ตารางที่ 1) รวมทั้งประสิทธิภาพขั้นต่ำของแผงกรองอากาศตามมาตรฐานของ ASHRAE (ตารางที่ 2) และต้องมีอัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง และภาวะความดันสัมพัทธ์อีกด้วย (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 จำนวนและประเภทของแผงกรองอากาศสำหรับห้องต่างๆของโรงพยาบาล

ลำดับ	สถานที่	จำนวนชั้น ชั้นต่ำ	ประเภท แผงกรองอากาศ ชั้นที่ 1	ประเภท แผงกรองอากาศ ชั้นที่ 2
1	ห้องผ่าตัดออโรปิติก ห้องผ่าตัดปลูกถ่ายไขกระดูก ห้องผ่าตัดปลูกถ่ายอวัยวะ	2	4	1 ติดตั้งที่ ช่องจ่ายลม
2	ห้องผ่าตัดทั่วไป ห้องคลอด ห้องเด็กแรกคลอด หออภิบาลผู้ป่วยหนัก (ICU) ห้องรักษาผู้ป่วย ห้องตรวจวินิจฉัย	2	4	2
3	ห้องปฏิบัติการ ห้องเก็บอุปกรณ์ปลอดเชื้อ	1	3	-
4	พื้นที่เตรียมอาหาร ห้องซักรีด ห้องพักผู้ป่วย ทางเดินหน้าห้องพักผู้ป่วย	1	4	-

(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2547)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพขั้นต่ำของแผงกรองอากาศตามประเภทแผงกรองอากาศ

ประเภท	ประสิทธิภาพขั้นต่ำ	มาตรฐานการทดสอบ
1	99.97% MERV 17	HEPA 99.97% efficiency on 0.3 μ m particles, IEST Type A ASHRAE Standard 52.2
2	90-95% MERV 14	ASHRAE Standard 52.1 (Dust spot) ASHRAE Standard 52.2
3	75-80% MERV 13	ASHRAE Standard 52.1 (Dust spot) ASHRAE Standard 52.2
4	30-35% MERV 8	ASHRAE Standard 52.1 (Dust spot) ASHRAE Standard 52.2

MERV = Minimum Efficiency Reporting Value ตามมาตรฐาน ASHRAE 52.2

(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2547)

ตารางที่ 3 อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง และภาวะความดันสัมพัทธ์ในห้องต่างๆของโรงพยาบาล

ลำดับ	สถานที่	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก ไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง ไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง	ความดันสัมพัทธ์กับพื้นที่ข้างเคียง
1	ห้องผ่าตัด, ห้องคลอด	5	25	สูงกว่า
2	ห้อง Nursery และห้องฉุกเฉิน	5	12	สูงกว่า
3	หออภิบาลผู้ป่วยหนัก (ICU) , ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย และ ห้องพักรักษาผู้ป่วย	2	6	สูงกว่า
4	ห้องแยกผู้ป่วยปลอดภัย	2	12	สูงกว่า
5	บริเวณพักคอยสำหรับแผนกผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน และ	2	12	ต่ำกว่า
6	ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ และห้องปฏิบัติการ	2	12	ต่ำกว่า

(วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2547)

ทั้งนี้การวัดอัตราการถ่ายเทอากาศโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถกระทำได้โดยฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นตามที่มาตรฐาน ASHRAE กำหนด ตรงบริเวณที่ปล่อยอากาศออกจากเครื่องปรับอากาศ ปล่อยทิ้งไว้ 15 นาที ระหว่างนั้นใช้พัดลมเป่าเพื่อให้อากาศผสมให้เข้ากันแล้วทำการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระยะแรกเมื่อเริ่มฉีด และทำการวัดทุกๆ ชั่วโมงถัดมา (Scheff et al., 2000) หรืออาจใช้ก๊าซซัลเฟอร์ เฮกซะฟลูออไรด์ ฉีดตรงบริเวณที่ปล่อยอากาศออกจากเครื่องปรับอากาศ ปล่อยทิ้งไว้ 15 นาที โดยใช้พัดลมเป่าเพื่อให้อากาศผสมให้เข้ากันแล้วทำการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ เฮกซะฟลูออไรด์ ในระยะเริ่มแรกและทำการตรวจวัดซ้ำในทุกๆ ชั่วโมงต่อมา (Cheong and Chong, 2000)

ระดับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ เฮกซะฟลูออไรด์ที่เวลาต่างกัน สามารถนำมาคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศได้ดังสมการที่ 1 (McDermott, 2002)

$$A = \frac{1}{\Delta t} (\ln C_0 - \ln C_t) \quad (1)$$

เมื่อ

A = อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (air changes/hour)

C_0 = ความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการทดสอบภายในอาคารเมื่อเริ่มทดสอบ (ppm)

C_t = ความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการทดสอบภายในอาคารเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ (ppm)

Δt = เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (hour)

อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ได้จากสมการที่ (1) เมื่อนำมาคูณกับปริมาตรห้องจะได้เป็นอัตราการไหลของอากาศดังสมการที่ 2 (McDermott, 2002) และเมื่อนำจำนวนคนที่อยู่ภายในห้องมาหารก็จะได้เป็นอัตราการถ่ายเทอากาศต่อคน (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อคน) ตามลำดับ

$$Q_{dilution} = A \frac{\text{airchanges}}{\text{hour}} * V_r \frac{\text{ft}^3}{\text{airchange}} * \frac{\text{hour}}{60 \text{ min}} \quad (2)$$

เมื่อ

$Q_{dilution}$ = ปริมาตรอัตราการไหลของอากาศ (ft^3/min)

A = อัตราการเปลี่ยนแปลงอากาศ (air changes/hour)

V_r = ปริมาตรห้อง ($\text{ft}^3/\text{air change}$)

นอกจากนี้ยังสามารถนำมาคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษ (Pollutant removal efficiency : $n_{exh,poll}$) ของระบบระบายอากาศได้ดังสมการที่ 3 (Marco, 1996) โดยวิธีการนี้เหมาะสำหรับการวัดอัตราการถ่ายเทอากาศในสถานที่เปิดทำการแล้วและไม่สามารถเคลื่อนย้ายคนออกจากห้องที่จะทำการศึกษาได้ (Marco, 1996)

$$n_{exh,poll} = \frac{Q_{exh} \int_0^{t_1} C_{exh} dt + [V][C_{exh}(t_1) - C_{exh}(t_0)]}{S(t_1 - t_0)} 100 \quad (3)$$

เมื่อ

$n_{exh,poll}$ = ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษ

Q_{exh} = อัตราการไหลของอากาศที่ถูกดูดออกไปนอกห้อง

$C_{exh}(t_1)$ = ความเข้มข้นของ SF_6 เมื่อเวลาผ่านไป t_1

$C_{exh}(t_0)$ = ความเข้มข้นของ SF_6 เมื่อเวลาเริ่มต้น t_0

V = ปริมาตรห้อง (m^3)

S = อัตราการฉีด SF_6

t_0 = เวลาเมื่อเริ่มต้นฉีด SF_6

t_1 = เวลาที่ผ่านไปหลังจากฉีด SF_6 ไปแล้ว

ทั้งนี้ถ้า $n_{exh,poll}$ มีค่าเท่ากับ 100% หมายความว่าห้องนั้นสามารถกำจัด SF_6 ได้ด้วยระบบระบายอากาศที่มีอยู่ แต่ถ้า $n_{exh,poll}$ มีค่าน้อยกว่า 100% แปลว่ามีการหลบหนีของ SF_6 ออกจากห้องไปสู่บริเวณใกล้เคียงซึ่งสมควรต้องมีการตรวจสอบระบบต่อไป (Marco, 1996)

2 เชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศ

จากการศึกษาเชื้อราในอาคาร โรงพยาบาลศรีนครินทร์ จังหวัดขอนแก่น ภายในห้องปรับอากาศพบว่าบริเวณภายในห้องปรับอากาศพบเชื้อราทั้งหมด 13 ชนิด ซึ่งเชื้อที่พบมากที่สุดก็คือ *Aspergillus spp.* ร้อยละ 19.80 (นเรศ วโรภาสตระกูล และคณะ, 2532) เช่นเดียวกับการศึกษาเชื้อราในบรรยากาศภายในอาคารในเขตตัวเมืองจังหวัดขอนแก่นที่พบเชื้อ *Aspergillus spp.* มากที่สุดถึงร้อยละ 17.90 (ละอองเดือน กำลังงาม และวรจิต กันยานุญ, 2543) สอดคล้องกับการศึกษาเชื้อราในบรรยากาศของประเทศซาอุดีอาระเบียที่พบเชื้อ *Aspergillus spp.* มากที่สุดถึงร้อยละ 16.23 (Abdel-Hafez, 1984) ส่วนการศึกษาคุณภาพอากาศในห้องที่มีระบบระบายอากาศของโรงเรียนพบว่าเชื้อราที่พบมากที่สุดคือเชื้อ *Aspergillus* เช่นกัน (Scheff et al., 2000) ซึ่งเชื่อดังกล่าวสามารถทำให้เกิดโรค

aspergillosis ได้โดยทำให้เกิดโรคที่ระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะที่ปอด และทำให้เกิดอาการแพ้ (allergic aspergillosis) โดยผู้ป่วยได้รับเชื้อจากการหายใจ การกิน หรือการสัมผัส (พิพัฒน์ ศรีเบญจลักษณ์, 2532; วิทยา มีวุฒิสม, 2538) ทั้งนี้เชื้อ *Aspergillus* จัดเป็นเชื้อราฉวยโอกาสที่สำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยที่มีภาวะร่างกายอ่อนแอและมีภูมิคุ้มกันบกพร่อง มีอัตราการตายจากการติดเชื้อดังกล่าวในกลุ่มผู้ป่วยไขกระดูกสันหลังมีสูงถึง 95% ผู้ป่วยมะเร็งเม็ดเลือดขาว 13-80% และผู้ป่วยที่เป็นโรคไต 8-30% (MS Hospital Consulting, 2001)

ส่วนการศึกษาเชื้อแบคทีเรียภายในอาคารในประเทศโปแลนด์พบว่า เชื้อแบคทีเรียที่พบมากที่สุดคือ *Staphylococcus spp.* คิดเป็น 76% ของแบคทีเรียที่พบทั้งหมด (Pastuszka and Paw, 1999) สอดคล้องกับสำนักงานอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย (มปท.) ที่ประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารของประเทศไทยและพบเชื้อ *Staphylococcus spp.* มากที่สุดในกลุ่มแบคทีเรียและเชื้อ *Aspergillus spp.* มากที่สุดในกลุ่มของเชื้อรา โดยเชื้อ *Staphylococcus* เป็นเชื้อที่มีความสำคัญทางการแพทย์ สามารถก่อให้เกิดโรคติดเชื้อได้ตั้งแต่การติดเชื้อที่ผิวหนังที่มีลักษณะของการอักเสบแบบมีหนอง จนถึงการศึกษาของ Tighe and Warden. (n.d.) พบว่าในห้องผ่าตัดมีการปนเปื้อนเชื้อรา 54 CFU/m³ ส่วนใหญ่ ได้แก่ *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.* และ *Cladosporium spp.* และพบการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียจำนวน 74 CFU/m³ เป็นพวก *Staphylococcus spp.* และ *Micrococcus spp.* ส่วนในห้อง ICU และ CCU พบว่ามีการปนเปื้อนเชื้อรา 23 CFU/m³ และพบแบคทีเรีย 83 CFU/m³ โดยเป็นชนิดเดียวกับที่พบในห้องผ่าตัด ในส่วนของห้องพักผู้ป่วยจะพบการปนเปื้อนของเชื้อรา 43 CFU/m³ โดยพบแบคทีเรียชนิด *Micromonospora spp.* เพิ่มขึ้นมา และจากการศึกษาชนิดและปริมาณของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อโรคในโรงพยาบาลศรีนครินทร์จังหวัดขอนแก่น จากทั้งหมด 10 จุดเก็บตัวอย่าง พบเชื้อ *Staphylococcus spp.* มากที่สุดเฉลี่ย 688 CFU/m³ และพบ *Aspergillus* มากที่สุดในกลุ่มของเชื้อราคือ 309 CFU/m³ (กฤษณิยา สังขจันทรานนท์, 2548) ซึ่งจากวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าเชื้อที่พบมากที่สุดภายในโรงพยาบาลในกลุ่มของเชื้อแบคทีเรียคือ *Staphylococcus* และในกลุ่มของเชื้อราที่พบมากที่สุดคือ *Aspergillus spp.* ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเลือกเชื้อทั้งสองชนิดมาเป็นตัวดัชนีชี้วัดเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศในการศึกษารุ่นนี้

3 มาตรฐานจุลินทรีย์ในบรรยากาศ

สำหรับมาตรฐานที่ใช้ในโรงพยาบาลที่เกี่ยวกับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศนั้นสหรัฐอเมริกาใช้มาตรฐาน FS209(e) ที่กำหนดว่าห้องผ่าตัดหรือห้องที่มีการปลูกถ่ายไขกระดูกจะต้องได้เกณฑ์ของ class 1000 clean room คืออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.5 μm (รวมถึงจุลินทรีย์) ต้องมีน้อย

กว่า 1000 อนุภาคต่อตารางฟุต (Streifel, 2004) ขณะที่ประเทศอังกฤษกำหนดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในห้องผ่าตัดห้ามเกิน 35 CFU/m³ หรืออนุภาคใหญ่กว่า 0.5 µm ห้ามเกิน 35 อนุภาคต่อตารางเมตร ในช่วงที่ไม่มีการผ่าตัดในห้องนั้น (Class C: British Standard 5295) และต้องไม่เกิน 180 CFU/m³ ในระยะเวลา 5 นาทีกรณีมีการผ่าตัด แต่ถ้ากิจกรรมการผ่าตัดนั้นมีขนาดแผ่ขนาด 30 เซนติเมตร จำนวนจุลินทรีย์ต้องไม่เกิน 10 CFU/m³ และ 1 CFU/m³ กรณีต้องการความสะอาดอย่างยิ่งขวดที่บ่งคับการแต่งกายของคณะแพทย์ต้องปกปิดตลอดร่างกายตามลำดับ ในประเทศเยอรมันถ้าไม่มีการใช้งานในห้องนั้น (Class 0: German VDI2083) จะไม่อนุญาตให้มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.5 µm เลย โดยยอมให้อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 0.3 µm ได้ 14 อนุภาคต่อตารางเมตร (Dharan and Pittet, 2002) นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานอื่นๆที่ใช้สำหรับการติดตามตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แสดงในตารางที่ 4 และรายละเอียดเพิ่มเติมในตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 สรุปรมาตรฐานของ US FS 209E, NASA, EU GMP, IMA และ ISO ที่ใช้สำหรับการติดตามตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในแต่ละ class

EU GMP (1997) ¹		FS209 (1992) ²	NASA (1967) ³		IMA ⁴	ISO ⁵ (1998)
grades	cfu/m ³	Classes	cfu/m ³	s.p.II	s.p. ††	
A	<1	100	3.5	0.6	0	5
B	10	100	3.5	0.6	5	5
C	100	10000	17.6	3.0	-	7
D	200	100000	88.4	200	25	8

หมายเหตุ :

¹ European Union Good Manufacturing Practice, 1997

² US Federal Standard 209E, 1992

³ National Aeronautics and Space Administration, 1967

⁴ Index of Microbial air contamination

⁵ International Standard Organization, 1998

II settle plate 73.5 cm² wide expose to air for 1 h.

†† cfu counts on settle plates 9 cm in diameter exposed air for 1 h.

(Pasquarella et al., 2000)

ตารางที่ 5 รายละเอียดมาตรฐาน EU GMP (1997) (European Union Good Manufacturing Practice)

Grade	cfu/m ³	cfu/plate
A	<1	<1
B	10	5
C	100	50
D	200	100

(Pasquarella et al., 2000)

ตารางที่ 6 รายละเอียดมาตรฐานจำนวนอนุภาคใน Class ต่างๆของมาตรฐาน US Federal Standard FS209 (1990)

Class		0.1 μm Volume		0.3 μm Volume		0.5 μm Volume		5 μm Volume	
		Unit		Unit		Unit		Unit	
SI	FS209	m ³	ft ³	m ³	ft ³	m ³	ft ³	m ³	ft ³
M1		350	9.91	30.9	0.875	10	0.283	-	-
M1.5	1	1240	35.0	106	3.00	35.3	1.0	-	-
M2		3500	99.1	309	8.75	100	2.83	-	-
M2.5	10	12400	350	1060	30.0	353	10.0	-	-
M3		35000	991	3090	87.5	1000	28.3	-	-
M3.5	100			10600	300	3530	100	-	-
M4				30900	875	10000	283	-	-
M4.5	1000					35300	1000	247	7.0
M5						100000	2830	618	17.5
M5.5	10 000					353000	10000	2470	70
M6						1000000	28300	6180	175
M6.5	1 00 000					3530000	100000	24700	700
M7						10000000	283000	61800	1750

(Dharan and Pittet, 2002)

ตารางที่ 7 มาตรฐานการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศของ NASA NHB 5340.2 (1967)

FS 209 classes	cfu counts			
	CFU/m ³	CFU/m ² /week	cfu	
			1 h	2h
100	3.5	12 900	0.6	1.2
10 000	17.6	64 600	3.0	6.0
100 000	88.4	323 000	15.0	30.0

(Pasquarella et al., 2000)

ตารางที่ 8 มาตรฐานของการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมของ IMA (Index of microbial air contamination) ในระดับต่างๆ และการใช้ค่ามาตรฐานเหล่านั้นกับพื้นที่ระดับความเสี่ยงที่แตกต่างกัน

IMA value	CFU/dm ² /h	Performance	In place at risk	Environment at risk	Maximum acceptable level of IMA
0-5	0-9	Very good	Very High ¹	Very High ¹	5
6-25	10-39	Good	High ²	High ²	25
26-50	40-84	Fair	Midium ³	Midium ³	50
51-75	85-124	Poor	-	Low ⁴	75
≥ 76	≥ 125	Very poor	-		

หมายเหตุ :

¹ บริเวณที่มีความเสี่ยงสูงมากๆ คือ ห้อง Ultra clean room, reverse isolation, operating for joint replacement และ โรงงานเภสัชกรรม

² บริเวณที่มีความเสี่ยงสูง คือ Clean room

³ บริเวณที่มีความเสี่ยงปานกลาง คือ ห้องพักรักษาผู้ป่วยในโรงพยาบาล, โรงงานทำอาหาร, ห้องครัว

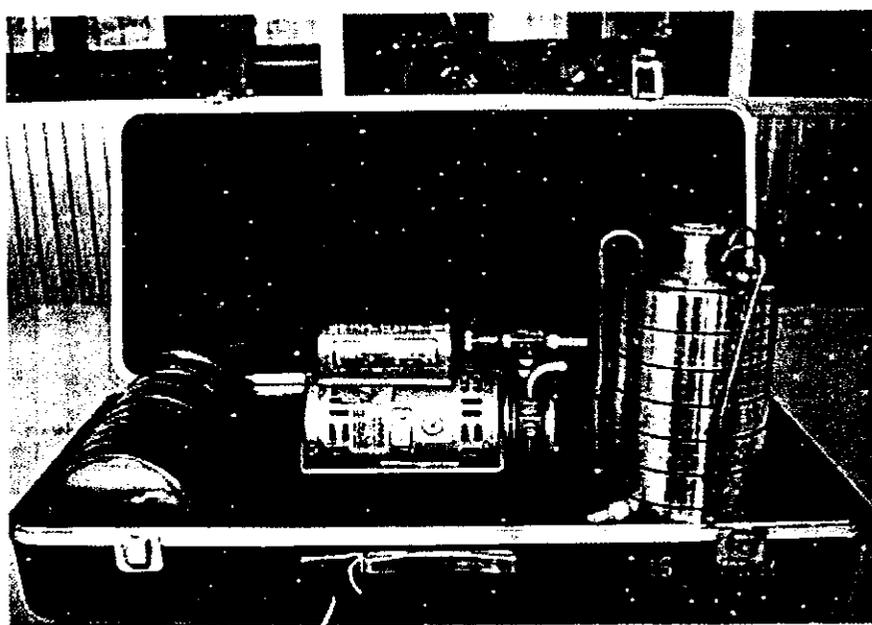
⁴ บริเวณที่มีความเสี่ยงต่ำ คือ facilities

(Pitzurra et al., 1997 อ้างใน Pasquarella et al., 2000)

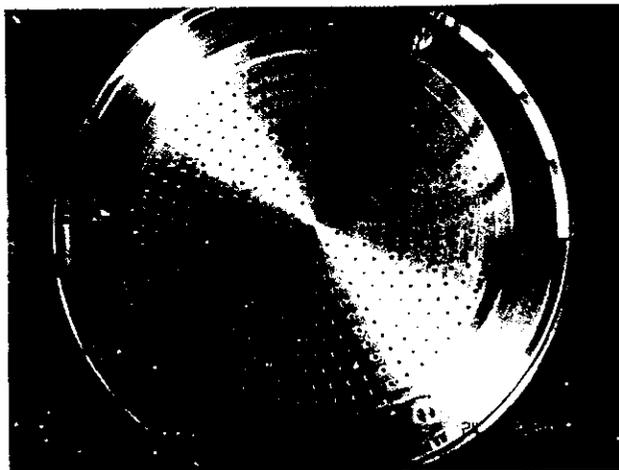
4 วิธีการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศ

วิธีการตรวจวัดเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศสามารถทำได้หลายวิธีเช่น Impactor sampling, Liquid impinger sampler, Filtration sampler และ Sedimentation sampling (กรรณิการ์ ชูเกียรติ วัฒนา, 2543) แต่วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันก็คือ Andersen Impactor 6 ชั้น (6-stage Andersen Impactor) ดังเช่นในการศึกษาเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศภายในอาคารในเมือง Upper Silesia ประเทศโปแลนด์ (Pastuszka et al., 1999) การศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศในโรงเลี้ยง 17 แห่งทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศแคนาดา (Duchaine et al., 2000) การศึกษาการเก็บตัวอย่างเชื้อราในบรรยากาศในโรงพยาบาล ในประเทศไต้หวัน (Wu et al., 2000) และการศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคารในโรงเรียนมัธยมศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา (Scheff et al., 2000) เป็นต้น

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ Andersen Impactor 6 ชั้น เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศ โดย Andersen Impactor นั้นสามารถเก็บอนุภาคในอากาศที่มีขนาดตั้งแต่ 7.1 ไมครอนจนถึง 0.65 ไมครอนได้ โดยเครื่องมือจะมีลักษณะคล้ายปืน โคจรรอบ 6 ชั้น (รูปที่ 1) แต่ละชั้นด้านล่างจะเจาะรูให้อากาศและอนุภาคไหลผ่านไปได้อย่างอิสระจำนวน 400 รู (รูปที่ 2) โดยขนาดของรูในแต่ละชั้นจะลดขนาดลดหลั่นกันลงมา อนุภาคที่เข้าเครื่องมือมาพร้อมกับอากาศเมื่อไหลผ่านรูดังกล่าวจะตกกระทบลงบน Petri dish ที่รองรับอยู่ข้างใต้ คงเหลือแต่อากาศและอนุภาคขนาดเล็กไหลไปสู่ชั้นถัดไปได้ จึงทำให้ชั้นบนเก็บอนุภาคได้ขนาดใหญ่ ในชั้นถัดไปขนาดอนุภาคที่เก็บก็จะจะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ



รูปที่ 1 รูปร่างลักษณะของ Andersen Impactor



รูปที่ 2 แสดงรูที่เจาะไว้จำนวน 400 รู ในแต่ละชั้นของ Andersen Impactor

ทั้งนี้ในช่วงระยะเวลาของการดูดอากาศ 10-20 นาทีนั้น จะมีเชื้อจุลินทรีย์มากกว่า 1 โคลโลนี ตกซ้ำในรูเดียวกัน แต่มีแค่โคลโลนีเดียวเท่านั้นที่เจริญเติบโตขึ้นได้ การนับเฉพาะโคลโลนีที่ปรากฏจึงไม่ใช่จำนวนจุลินทรีย์ที่แท้จริงที่เข้าเครื่องมือมา และการจะปรับแก้จำนวนจุลินทรีย์ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด จะต้องมีการคูณค่า correction factor เข้าไปด้วยดังสมการที่ 4 (Hinds, 1999)

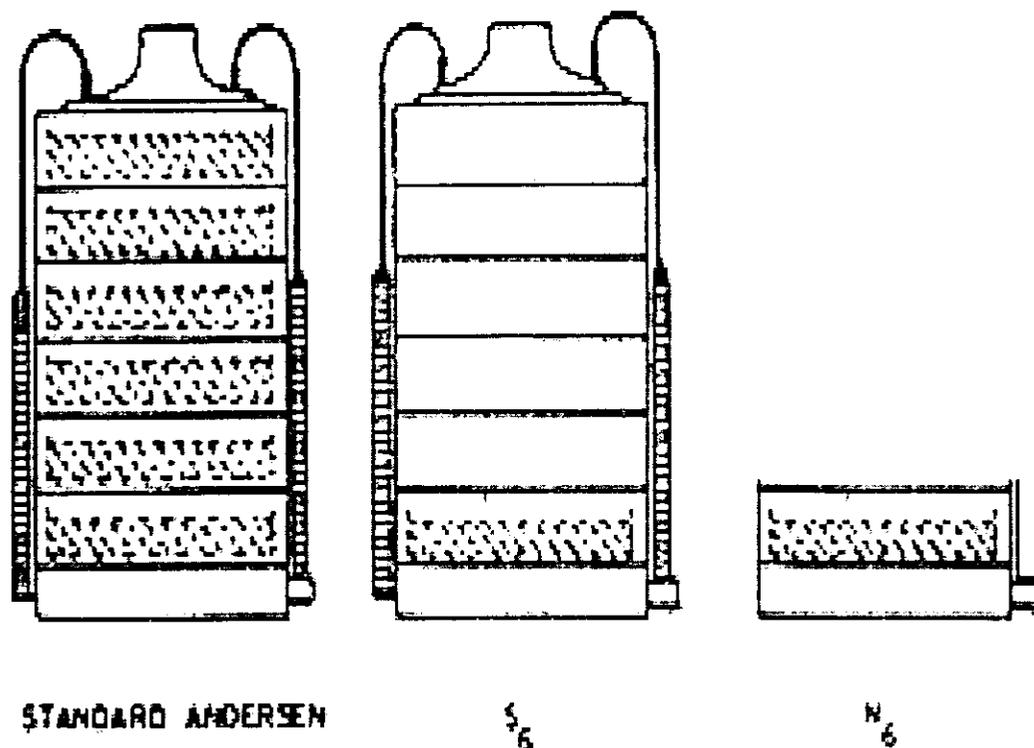
$$n_c = n_f \left(\frac{1.075}{1.052 - f} \right)^{0.483} \quad \text{for } f < 0.95 \quad (4)$$

โดย n_c คือปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ มีหน่วยเป็น CFU/m³

n_f คือจำนวนโคลโลนีที่นับได้จากจานอาหารเลี้ยงเชื้อ

f คือค่า n/N_f , (N_f คือจำนวนรูทั้งหมดในแต่ละชั้นของ Andersen Impactor ซึ่ง มีค่าเท่ากับ 400)

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Jones et al. (1985) ที่ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของ Andersen Impactor ระหว่างแบบ Standard Andersen ที่ประกอบชั้นเก็บตัวอย่างที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อบรรจุอยู่ทั้ง 6 ชั้น กับประสิทธิภาพการทำงานของ Andersen Impactor แบบ S_6 กับแบบ N_6 (รูปที่ 3) ทั้งนี้แบบ S_6 นั้นยังคงประกอบชั้นเก็บตัวอย่างเหมือนแบบ Standard Andersen ทุกประการ แต่จะวาง plate อาหารเลี้ยงเชื้อไว้ในชั้นสุดท้ายเพียงชั้นเดียว ส่วนแบบ N_6 จะถอดชั้นเก็บตัวอย่างชั้นที่ 1 ถึง 5 ออกคงเหลือแต่ชั้นสุดท้ายและอาหารเลี้ยงเชื้อเท่านั้น (Jones et al., 1985)



รูปที่ 3 Andersen Impactor ในการเก็บตัวอย่างอนุภาคในอากาศแบบ Standard Andersen แบบ S₆ และแบบ N₆ (Jones et al., 1985)

จากการศึกษาพบว่าวิธีการเก็บตัวอย่างแบบ N₆ นั้นให้ผลที่ใกล้เคียงกับแบบ Standard Andersen มาก โดยมีค่า r² เท่ากับ 0.99 และ 95% ช่วงเชื่อมั่นอยู่ในช่วง 0.84 – 1.14 ขณะที่วิธีการเก็บตัวอย่างแบบ S₆ นั้นให้ผลของปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่าแบบ Standard Andersen ครึ่งหนึ่ง โดยมีค่า r² เท่ากับ 0.48 และ 95% ช่วงเชื่อมั่นอยู่ในช่วง 0.34 – 0.62 นอกจากนี้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบ N₆ ยังเหมาะกับการเก็บตัวอย่างที่มีเชื้อจุลินทรีย์เพียงชนิดเดียว (Jones et al., 1985) ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ก็ใช้เพียงเชื้อ *Staphylococcus* เป็นตัวแทนของเชื้อแบคทีเรียและ *Aspergillus* เป็นตัวแทนเชื้อรา ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการศึกษาจึงเลือกวิธีการเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศแบบ N₆ แทนการใช้ Standard Andersen