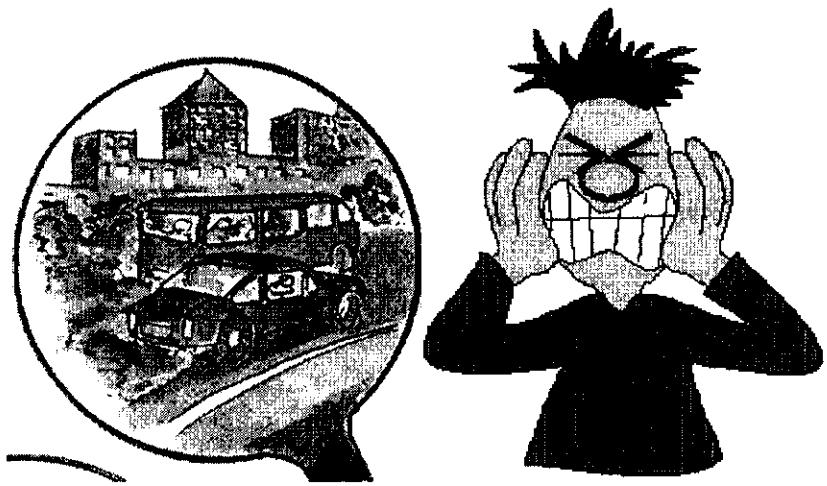
คู่มือปฏิบัติการ และ เอกสารประกอบการเรียน

รายวิชา 617 322 มลพิษทางอากาศและเสียง และ การควบคุม

(Air and Noise Pollution and Control)



อาจารย์ ชื่นจิต ชาญชิตปรีชา

สาขาวิชา อนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคการศึกษา 2/2547

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
แผนการเรียนรายสัปดาห์	i
รูปแบบของการปฏิบัติการ	ii
ตัวอย่างปกรายงาน	iii
ปฏิบัติการที่ 1 การหาแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และ เสียงภายในม. เทคโนโลยีสุรนารี	1
ปฏิบัติการที่ 2 การตรวจวัดเสียงจากบรรยากาศภายนอก	3
ปฏิบัติการที่ 3 การตรวจวัดเสียงจากรถยนต์ และ การจราจร	9
เอกสารประกอบการเรียน ปฏิบัติการที่ 2 และ 3	13
ปฏิบัติการที่ 4 การตรวจวิเคราะห์มลพิษทางอากาศทางแบคทีเรีย	33
เอกสารประกอบการเรียน ปฏิบัติการที่ 4	40
เอกสารอ้างอิง	48

แผนการเรียนรายสัปดาห์ (ในส่วนของ อ.ชื่นจิต)

สัปดาห์	ชั่วโมงปฏิบัติการ	เนื้อหา/หัวข้อที่สอน
1	6	การหาแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และ เสียงภายในม. เทคโนโลยีสุรนารี
2	6	การตรวจวัดเสียงจากบรรยากาศภายนอก
3	6	การตรวจวัดเสียงจากรถยนต์ และ การจราจร
4	6	การตรวจวิเคราะห์มลพิษทางอากาศทางแบคทีเรีย
นำเสนอผลปฏิบัติการ		

หมายเหตุ รายละเอียดกำหนดการปฏิบัติการของนักศึกษาแต่ละกลุ่มระบุในประมวลการสอนรายวิชา

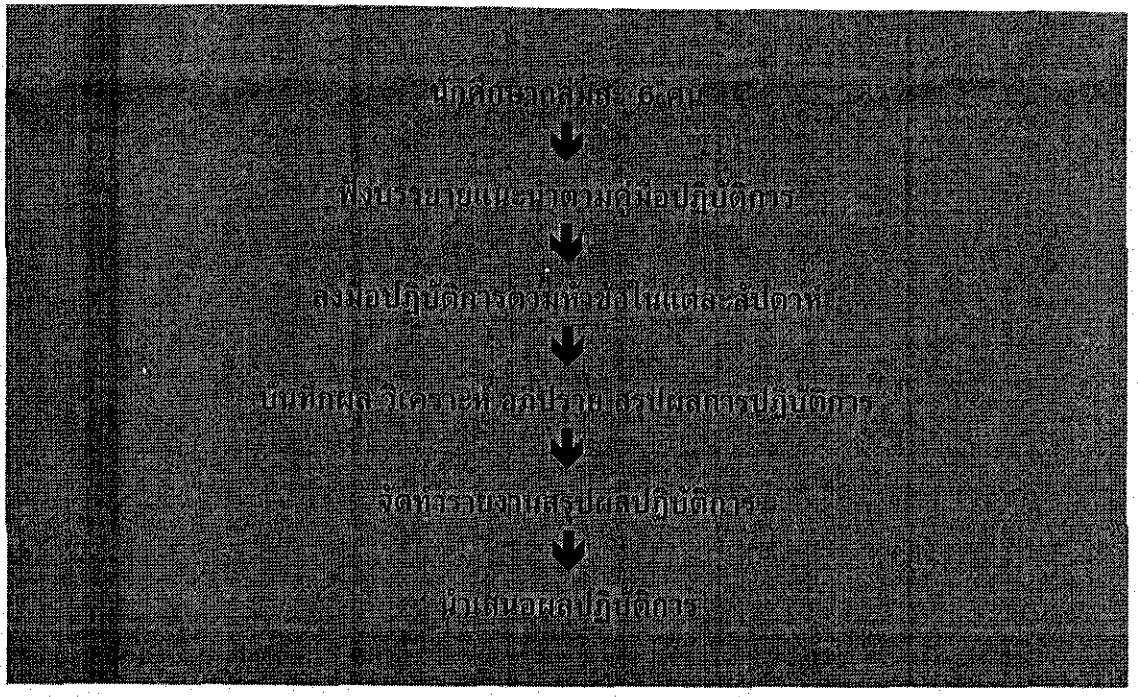
รูปแบบของการปฏิบัติการ

1) จำนวนนักศึกษา: นักศึกษาห้อง 1 และ 2 รวม 58 คน แบ่งกลุ่ม ๆละ 6 คน
2) ลักษณะการเรียน : และกลุ่มจะต้องทำการฝึกปฏิบัติ และ ทำรายงานกลุ่มเสนออาจารย์ผู้สอนภายในเวลาที่กำหนด
3) สถานที่เรียน: ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม (อาคารปฏิบัติการ F8)

อุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ

1) คู่มือปฏิบัติการ
2) เครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมMS Power Point
3) เครื่องมือ และ อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนการศึกษา



กำหนดส่งรายงานผลการปฏิบัติงาน

ส่งรายงาน : ทุกวันพุธ เวลา 12.00 น. ก่อนเริ่มปฏิบัติการครั้งถัดไป

โครงสร้างรายงาน ประกอบด้วย

1) หัวข้อปฏิบัติการ: เรื่อง (Topic)
2) บทนำ (Introduction)
3) วัตถุประสงค์ (Objectives)
4) วัสดุ และ วิธีการ (Materials and Methods)
5) ผลการทดลอง (Results)
6) วิจารณ์ และ สรุปผลการทดลอง (Discussion and Conclusion)
7) เอกสารอ้างอิง (References)

เกณฑ์การให้คะแนนรายงานการปฏิบัติงาน

- โครงสร้างรายงาน (2)
- ผลการทดลอง (2)
- วิจารณ์ และ สรุปผลการทดลอง (4)
- การนำเสนอรายงาน (2)

-ตัวอย่างปกรายงาน-

รายวิชา 617 322 Air and Noise Pollution and Control

ปฏิบัติการที่.....

เรื่อง.....

วันที่.....

นำเสนอ

อาจารย์.....

จัดทำโดย

กลุ่มที่.....

ชื่อ-สกุล.....รหัสประจำตัว.....ลำดับที่.....(ตามรายชื่อที่ลงทะเบียนเรียนวิชานี้)
ชื่อ-สกุล.....รหัสประจำตัว.....ลำดับที่.....(ตามรายชื่อที่ลงทะเบียนเรียนวิชานี้)
ชื่อ-สกุล.....รหัสประจำตัว.....ลำดับที่.....(ตามรายชื่อที่ลงทะเบียนเรียนวิชานี้)
ชื่อ-สกุล.....รหัสประจำตัว.....ลำดับที่.....(ตามรายชื่อที่ลงทะเบียนเรียนวิชานี้)
ชื่อ-สกุล.....รหัสประจำตัว.....ลำดับที่.....(ตามรายชื่อที่ลงทะเบียนเรียนวิชานี้)
ชื่อ-สกุล.....รหัสประจำตัว.....ลำดับที่.....(ตามรายชื่อที่ลงทะเบียนเรียนวิชานี้)

ภาคการศึกษาที่ 2/2547

สาขาวิชา อนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปฏิบัติการที่ (1)

การหาแหล่งเกิดมลพิษทางอากาศ และ เสียงภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาจารย์ ชื่นจิต ชาญชิดปรีชา

วัตถุประสงค์

เพื่อให้นักศึกษาสามารถระบุแหล่งที่อาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และ เสียงในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้

หลักการ

แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศและ ทางเสียง ภายนอกอาคาร (Outdoor Air Pollution) ประกอบด้วย 2 แหล่งใหญ่ๆ คือ แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Stationary Sources) และแหล่งกำเนิดประเภทเคลื่อนที่ (Mobile Sources) ซึ่งทั้ง 2 แหล่งอาจเกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made Activity) หรือจากธรรมชาติ (Natural) ก็ได้

ขั้นตอนการศึกษา

จัดแบ่งกลุ่มๆ ละ6 คน

⇓

ศึกษาหาแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และ ทางเสียง หรือคาดว่าจะเกิดขึ้นภายใน มทส.

⇓

ทำเครื่องหมายบริเวณที่เกิดมลพิษทางอากาศและ ทางเสียง หรือคาดว่าจะเกิดขึ้นลงในแผนที่

⇓

ศึกษาวิเคราะห์มลพิษทางอากาศและ ทางเสียง ที่เกิดขึ้นว่าจะเกิดขึ้นในแต่ละจุดว่า

- เป็นมลพิษทางอากาศและ ทางเสียง ประเภทใด (Stationary/Mobile Sources)
- เป็นมลพิษที่เกิดขึ้นแล้ว (Actual) หรือคาดว่าจะเกิดขึ้น (Potential)
- เกิดจากสาเหตุใด (Source)
- มีผลกระทบอย่างไรต่อสุขภาพ (Effect)
- แนวทางการแก้ไขอย่างไร (Control)

⇓

จัดทำรายงานสรุปผลปฏิบัติการ

⇓

อภิปราย

ลักษณะการเรียน : แต่ละกลุ่มจะต้องทำการศึกษาปฏิบัติหาแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น หรือคาดว่าจะเกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและทำรายงานกลุ่มเสนออาจารย์ผู้สอนภายในเวลาที่กำหนด

แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และ เสียง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. แหล่งที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Source) ได้แก่ ไอเสียจากยวดยานพาหนะ ทั้งทางบก ทางอากาศและทางน้ำ
2. แหล่งที่ไม่เคลื่อนที่ (Stationary Source) ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ, สถานประกอบกิจการ เตาเผามูลฝอย เตาเผาศพ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในบ้านเรือน กิจกรรมทางการเกษตร การระเหยของก๊าซ**แหล่งกำเนิดมลพิษเหล่านี้ มีสาเหตุมาจากหลายสาเหตุ** ได้แก่การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การขนส่ง กระบวนการทางอุตสาหกรรม การกำจัดของเสีย กิจกรรมบางอย่างในชุมชน เช่น การจราจรถนน การรื้อตึกอาคารต่างๆ การเผาเศษใบไม้แห้ง การทำความสะอาด

บ้านพัก หรือโครงการก่อสร้างต่างๆ สารกัมมันตรังสี การผสม การบด การไม่ การผลิตหรือแปรรูปวัตถุดิบให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ การระเหย การรั่ว หรือการฟุ้งกระจาย การเน่าเปื่อย และการหมัก ปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ไฟไหม้ ภูเขาไฟระเบิด

ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ขึ้นกับชนิดของสารมลพิษ

1. คาร์บอนมอนอกไซด์
2. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
3. ไนโตรเจนไดออกไซด์
4. ไฮโดรคาร์บอน
5. ตะกั่ว
6. อนุภาคมลสาร : ฝุ่น ละออง ควัน
7. ไฮโดรเจนซัลไฟด์

แนวทางการแก้ไข

1. ควบคุมการปล่อยสารปนเปื้อนหรือลดผลิตสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิด
2. การเปลี่ยนกระบวนการหรือวิธีการผลิต
3. การนำสารมลพิษที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ใหม่
4. การควบคุมสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ
5. การใช้อุปกรณ์ในการกำจัดสารมลพิษทางอากาศ
6. การใช้มาตรการทางด้านกฎหมายในการควบคุมมลพิษทางด้านอากาศ

แหล่งกำเนิดมลพิษทาง เสียง

สาเหตุสำคัญคือ การพัฒนาทางด้านต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านอุตสาหกรรม การนำสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆโดยเฉพาะรถยนต์ และ เครื่องจักรกลประเภทต่างๆเข้ามาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น รวมทั้งการขยายตัวของเมืองและชุมชน แหล่งกำเนิดมลพิษทางเสียงโดยทั่วไปอาจแบ่งออกได้เป็นเสียงจากธรรมชาติ เช่น เสียงฟ้าร้อง ฟ้าผ่า ภูเขาไฟระเบิด ฯลฯ และ เสียงที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่ของมลพิษทางเสียงนั้นเกิดจากเสียงที่มนุษย์ทำขึ้น ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แหล่งกำเนิดเสียงที่เคลื่อนที่ ได้แก่ เสียงจากยานพาหนะทางบก น้ำ อากาศ เสียงจากเครื่องจักรกลทางการเกษตร เป็นต้น

2. แหล่งกำเนิดเสียงที่ไม่เคลื่อนที่ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงโม่บด และย่อยหิน โรงเลื่อยไม้ โรงชุบและเคลือบโลหะ และ โรงงานอื่นๆ สถานประกอบกิจการ เช่นอู่ซ่อมรถยนต์ รวมถึงกิจกรรมอื่นๆ เช่น การระเบิดหิน การก่อสร้าง การขุดเจาะ เป็นต้น

ผล

ผลกระทบของมลพิษทางเสียง

1. ผลกระทบต่อสมรรถภาพการได้ยินของหู

2. รบกวนการสนทนา และ การใช้สมาธิในการทำงาน

3. รบกวนการนอนหลับและพักผ่อน

4. สร้างความรำคาญ

5. รบกวนการปฏิบัติงาน

6. ทำความเสียหายให้แก่สิ่งก่อสร้างและโบราณวัตถุ และ 7. ผลกระทบด้านอื่นๆ

ปฏิบัติการที่ (2)

การตรวจวัดเสียงในบรรยากาศ หรือ การตรวจวัดเสียงในสิ่งแวดล้อม

(Ambient-noise Measurement)

อาจารย์ ชื่นจิต ชาญชิตปรีชา

วัตถุประสงค์ เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจ, สามารถอธิบายหลักการ และ สามารถตรวจวัดเสียงในสิ่งแวดล้อม และ คำนวณหาค่าระดับการรบกวนที่เกิดขึ้นหลังการตรวจวัดได้

หลักการ

การตรวจวัดเสียงในบรรยากาศ หรือ สิ่งแวดล้อม เป็นการศึกษาระดับเสียงเดียว หรือ การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียง จำนวนครั้งที่ทำการตรวจวัด และ ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ต้องการ การวัดเสียงในบรรยากาศจะเป็นการวัดระดับเสียงที่ไม่มีแหล่งกำเนิดเสียงที่แน่นอน หรือ ไม่ทราบแหล่งกำเนิดเสียงที่ชัดเจน ในการที่เราจะทราบว่าในบริเวณใดเกิดปัญหาเหตุรำคาญจากเสียงรบกวน มีความจำเป็นที่จะต้องทราบค่าระดับเสียงพื้นฐาน และ ตรวจวัดหาค่าระดับเสียงที่จัดเป็นเสียงรบกวน นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบความแตกต่างกันจะทำให้ทราบค่าระดับการรบกวน ในพื้นที่ หรือ บริเวณนั้นๆ

การตรวจวัดเสียงพื้นฐานในพื้นที่ใดๆ เป็นการตรวจวัดเสียงในสิ่งแวดล้อมเดิมขณะยังไม่มีเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิด

เสียงรบกวน เป็นระดับเสียงจากแหล่งกำเนิด ขณะมีการรบกวนที่มีระดับเสียงสูงกว่าระดับเสียงพื้นฐาน รายละเอียดการตรวจวัด แสดงในเอกสารประกอบการทดลอง

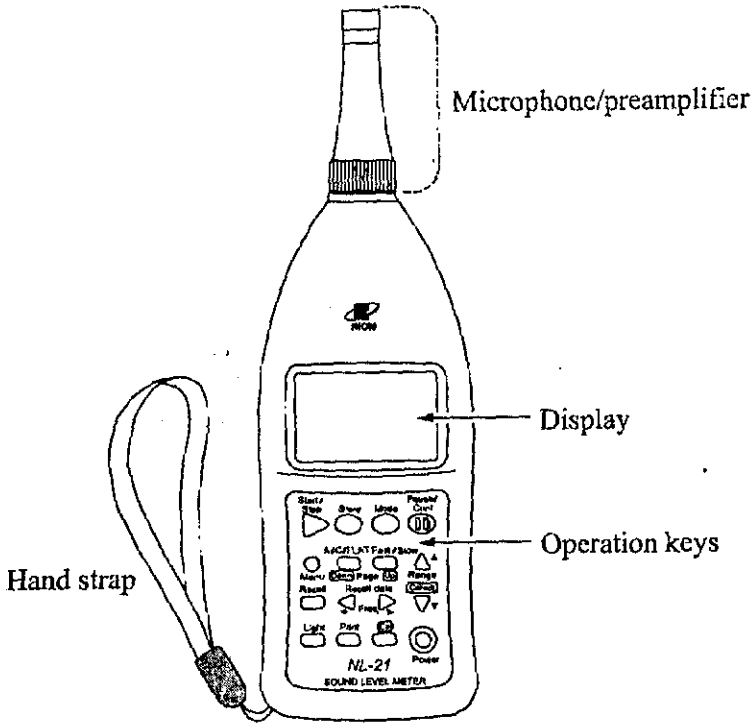
ตารางที่ 1 มาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป

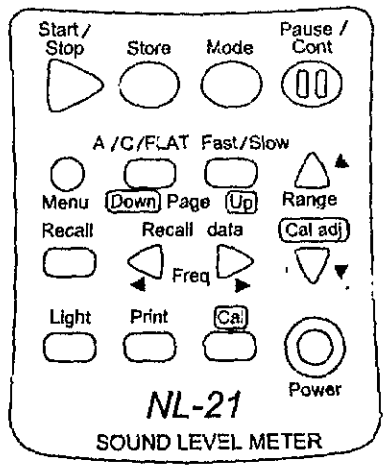
ค่ามาตรฐานระดับเสียง	การตรวจวัดระดับเสียงโดยทั่วไป
1. ค่าระดับเสียงสูงสุด ไม่เกิน 115 เดซิเบลเอ	1. การตรวจวัดค่าระดับเสียงสูงสุดให้ใช้มาตรระดับเสียงตรวจวัดระดับเสียงในบริเวณที่มีคนอยู่หรือ อาศัยอยู่ 2. การตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ให้ใช้มาตรระดับเสียงตรวจวัดระดับเสียงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา 24 ชั่วโมงใดๆ 3. การตั้งไมโครโฟนของมาตรระดับเสียงที่บริเวณภายนอกอาคารให้ตั้งสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร โดยในรัศมี 3.50 เมตร ตามแนวราบรอบไมโครโฟน ต้องไม่มีกำแพง หรือ สิ่งอื่นใดที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงกีดขวางอยู่ 4. การตั้งไมโครโฟนของมาตรระดับเสียงที่บริเวณภายในอาคารให้ตั้งสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร โดยในรัศมี 1.00 เมตร ตามแนวราบรอบไมโครโฟนต้องไม่มีกำแพง หรือ สิ่งอื่นใดที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงกีดขวางอยู่ และต้องห่างจากช่องหน้าต่าง หรือ ช่องทางที่เปิดออกนอกอาคารอย่างน้อย 1.50 เมตร
2. ค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ	

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 (พ.ศ.2540) เรื่อง กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป มาตรา 32 (5) แห่ง พ.ร.บ. ส่งเสริม และ รักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ณ วันที่ 12 มี.ค. 2540

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.เครื่องวัดระดับเสียง Sound Level Meter รุ่น NL-21ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2

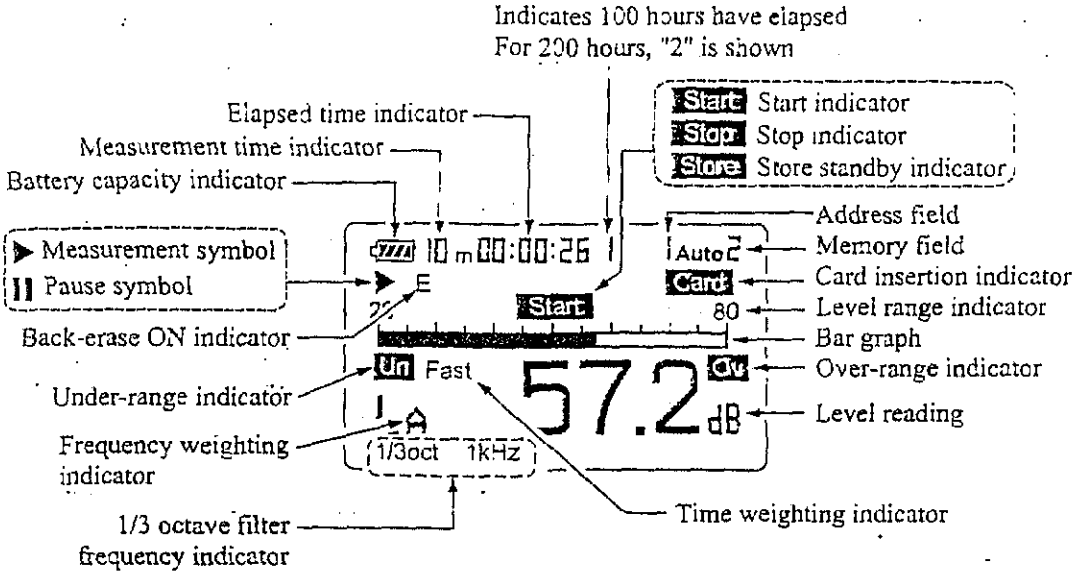




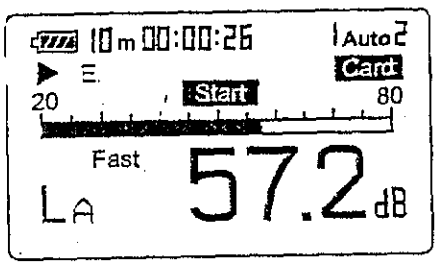
Operation Keys

รูปที่ 1 แสดงเครื่องวัดเสียงรุ่น NL-21 Sound Level Meter

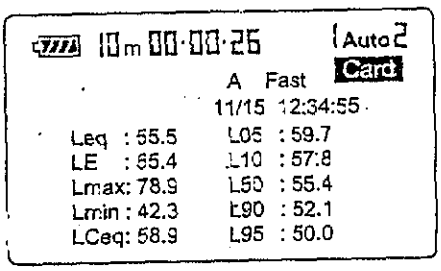
Reading the Display



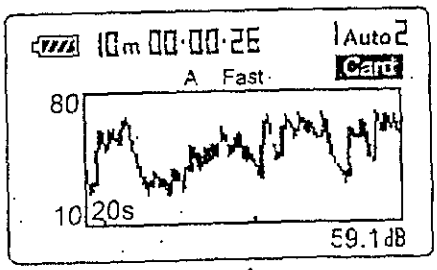
Measurement screen examples



Sound level example



List display example



T-L (time level) display example

รูปที่ 2 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดเสียงรุ่น NL-21 Sound Level Meter

2. สมุดจดบันทึกผลการตรวจวัด

วิธีการทดลอง

1. จับฉลากว่ากลุ่มไหนจะได้ตรวจวัดก่อน
2. **ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดเสียง รุ่น NL-21**

   2.1 กดปุ่ม Power เปิดเครื่อง

   2.2 การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดระดับความดันเสียง

   - กดปุ่ม Menu เลือก Cal mode (External) เลือก Lc และ Slow พร้อมกด Cal
   - ใส่ตัว Calibrator (ON) 93.9 dB (ถ้าตัวเลขยังไม่ได้ค่านี้ ให้ปรับด้วยปุ่ม Cal Adj.)

   2.3 เมื่อต้องการวัดเสียง สำหรับวัดค่าระดับเสียงโดยทั่วไปเลือก Weighting A (L_A) และการตอบสนองสัญญาณที่ Fast

   2.4 ตั้งเวลาที่จะใช้ในการตรวจวัด (Meas. Time) 10 sec – 24 hrs.

   2.5 เลือกอ่านข้อมูลโดยกดที่ปุ่ม Mode

   Leq.: Equivalent continuous sound level

   LE : Sound exposure level

   L_{max}: Maximum time weighted sound level

   L_{min}: Minimum time weighted sound level

   ** เมื่ออยู่ระหว่างการตรวจวัด หากต้องการหยุดการตรวจวัดชั่วคราว ให้กดปุ่ม Pause/ Cont. และ เมื่อต้องการตรวจวัดต่อ ให้กดปุ่ม Pause/ Cont. อีกครั้ง

3. ดำเนินการตรวจวัดเสียงพื้นฐาน และ เสียงรบกวนตามจุดตรวจวัดต่างๆที่กำหนดให้
4. บันทึกผลการตรวจวัด สรุป หาค่าระดับการรบกวน และ อภิปรายผล

ค่าระดับการรบกวน = ระดับเสียงขณะมีการรบกวน – ระดับเสียงพื้นฐาน

5. แผนการปฏิบัติการ

กลุ่มที่	พื้นที่ตรวจวัดเสียง	เวลาที่ใช้ในการตรวจวัดเสียง	
		เสียงพื้นฐาน (L_{90})	เสียงรบกวน ($L_{Aeq\ 1min}$)
1 (กลุ่มย่อย 1-5)	ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม 1 & 2	5 นาที	1นาที
		5 นาที	1นาที
		5 นาที	1นาที
		5 นาที	1นาที
		5 นาที	1นาที
2 (กลุ่มย่อย 6-10)		5 นาที	1นาที
		5 นาที	1นาที
		5 นาที	1นาที
		5 นาที	1นาที
		5 นาที	1นาที

6. ตารางบันทึกผลการทดลอง

จุดตรวจวัดเสียง	ระดับเสียงพื้นฐาน (dBA)	ระดับเสียงขณะมีการรบกวน (dBA)	ค่าระดับการรบกวน (dBA)

- นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำการฝึกปฏิบัติเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศ ตามจุดต่างๆ ที่กำหนดไว้ในแผนปฏิบัติการ ตามวิธีการข้างต้น แล้วทำรายงานของแต่ละกลุ่มเสนออาจารย์ผู้สอน ตามเวลาที่กำหนด

ขั้นตอนการศึกษา

1) แต่ละกลุ่มดำเนินการตรวจวัดเสียงระดับพื้นฐาน L90 และตรวจวัดเสียงขณะมีการรบกวน
2) บันทึกค่าการตรวจวัด และ คำนวณหาค่าระดับการรบกวนจากการทดลองนี้
3) อภิปราย และ สรุปผลการทดลองภายในกลุ่ม
4) จัดทำรายงาน
5) ส่งรายงานเสนออาจารย์ผู้สอน

6) อภิปรายเพิ่มเติม (ถ้ามี)

หมายเหตุ ควรใช้ข้อมูลต่อไปนี้ประกอบการบันทึกผล และการอภิปรายผล

ISO 1996 กำหนดไว้ว่าต้องทำการบันทึกข้อมูลต่อไปนี้เมื่อทำการตรวจวัดระดับเสียง

- ผลการวัด - เทคนิคการวัด
- ชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัด - ขั้นตอนการวัดที่ใช้
- การคำนวณที่ใช้ - สภาวะเด่นๆ
- สภาวะบรรยากาศแวดล้อม - ธรรมชาติรอบๆ
- การเปลี่ยนแปลงของแหล่งเสียง
- ผลการสอบเทียบ
- วันที่ทำการวัด เวลาที่เริ่มวัด และ เวลาที่วัดเสร็จ
- จำนวนครั้งของการวัด
- รายละเอียดของแหล่งที่สำรวจ
- แผนที่แสดงตำแหน่งของแหล่งเสียง วัตถุต่างๆที่เกี่ยวข้อง และ ตำแหน่งของผู้สังเกต

****

ปฏิบัติการที่ (3)

การตรวจวัดเสียงจากแหล่งกำเนิดนิ่ง

อาจารย์ ชื่นจิต ชาญชิตปรีชา

วัตถุประสงค์ เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจ, สามารถอธิบายหลักการ และ สามารถตรวจวัดเสียงจากแหล่งกำเนิดนิ่งได้ถูกต้องตามหลักการที่กำหนดไว้ในกฎหมาย และ รายงานผลค่าการตรวจวัดระดับเสียงได้

หลักการ

การตรวจวัดเสียงจากแหล่งกำเนิดนิ่ง เป็นประเภทหนึ่งของการตรวจวัดระดับเสียงอย่างจำเพาะเจาะจง ส่วนใหญ่จะหมายความถึงแหล่งกำเนิดเสียงที่เป็นยานพาหนะ ตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ และ ประกาศกรมควบคุมมลพิษ ได้แก่ รถยนต์ มอเตอร์ไซด์ และ เรือ โดยเครื่องมือที่ใช้นั้นกำหนดให้เป็น Sound level meter ตามมาตรฐานของ IEC 60651 ใช้วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ แบบ A และ วงจรถ่วงน้ำหนักเวลาแบบ Fast โดยค่ามาตรฐานกำหนดไว้ว่าควรจะมีค่า น้อยกว่า 100 dBA เมื่อวัดที่ระยะห่าง 0.5 เมตร และไม่เกิน 85 dBA เมื่อตรวจสอบค่าระดับเสียงที่ระยะห่าง 7.5 เมตรสำหรับรถยนต์ (ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และ สิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดระดับเสียงรถยนต์ พ.ศ. 2546) และสำหรับมาตรฐานระดับเสียงรถจักรยานยนต์นั้นไม่เกิน 95 dBA เมื่อวัดที่ระยะ 0.5 m (ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และ สิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดระดับเสียงรถจักรยานยนต์ พ.ศ. 2546)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.เครื่องวัดระดับเสียง Sound Level Meter รุ่น NL-21

2.ยานพาหนะสำหรับการตรวจวัด 2 คัน/ 1กลุ่ม

3.สายวัดระยะห่าง/ มาตรวัดระยะห่าง

4. สมุดจดบันทึกผลการตรวจวัด

วิธีการทดลอง

1. จับฉลากว่ากลุ่มไหนจะได้ตรวจวัดก่อน
2. **ขั้นตอนการใช้เครื่องวัดเสียง รุ่น NL-21**
   2.1 กดปุ่ม Power เปิดเครื่อง
   2.2 การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดระดับความดันเสียง
   - กดปุ่ม Menu เลือก Cal mode (External) เลือก Lc และ Slow พร้อมกด Cal
   - ใส่ตัว Calibrator (ON) 93.9 dB (ถ้าตัวเลขยังไม่ได้ค่านี้ ให้ปรับด้วยปุ่ม Cal Adj.)

2.3 เมื่อต้องการวัดเสียง สำหรับวัดค่าระดับเสียงโดยทั่วไปเลือก Weighting A (L_A) และการตอบสนองสัญญาณที่ Fast

2.4 ตั้งเวลาที่จะใช้ในการตรวจวัด (Meas. Time) 10 sec – 24 hrs.

2.5 เลือกอ่านข้อมูลโดยกดที่ปุ่ม Mode

Leq.: Equivalent continuous sound level

LE : Sound exposure level

L_{max}: Maximum time weighted sound level

L_{min}: Minimum time weighted sound level

** เมื่ออยู่ระหว่างการตรวจวัด หากต้องการหยุดการตรวจวัดชั่วคราว ให้กดปุ่ม Pause/ Cont. และ เมื่อต้องการตรวจวัดต่อ ให้กดปุ่ม Pause/ Cont. อีกครั้ง

3. ดำเนินการตรวจวัดเสียงจากยานพาหนะตามเกณฑ์ที่กฎหมายประกาศไว้

การตรวจวัดระดับเสียงของรถยนต์ หรือ รถจักรยานยนต์ ควรดำเนินการดังนี้

3.1 ตรวจสอบค่าระดับเสียงของสภาพแวดล้อม และ ลมในขณะนั้นก่อน

3.2 จอดรถยนต์อยู่ในตำแหน่งเกียร์ว่าง และ เดินเครื่องยนต์ ไม่น้อยกว่า 5 นาที ก่อนทำการตรวจสอบ ถ้ามีขอบทางเท้า จะต้องจอดรถยนต์ห่างจากขอบทางเท้าอย่างน้อย 1 เมตร

3.3 หันแกนความไวสูงสุดของไมโครโฟนของ Sound level meter ตามวิธีการที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด

3.4 เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบเท่ากับความเร็วรอบสูงสุดของรถยนต์ หากรถยนต์นั้นใช้ เครื่องยนต์ดีเซล หรือ เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบเป็น 3 ใน 4 ของความเร็วรอบสูงสุด หากรถยนต์นั้นใช้เครื่องยนต์เบนซิน

หากตรวจสอบระดับเสียงรถจักรยานยนต์ ให้เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบเท่ากับ ½ ของความเร็วรอบสูงสุด หากเครื่องยนต์นั้นมีความเร็วรอบสูงสุดเกินกว่า 5,000 รอบต่อนาที หรือ เร่งเครื่องยนต์ให้มีความเร็วรอบเท่ากับ ¾ ของความเร็วรอบสูงสุด หากเครื่องยนต์นั้นมีความเร็วรอบสูงสุดไม่เกิน 5,000 รอบต่อนาที

3.5 ให้ตรวจค่าระดับเสียง 2 ครั้ง และ ให้ถือเอาค่าสูงสุดที่วัดได้เป็นค่าระดับเสียงของรถยนต์ หรือ รถจักรยานยนต์นั้น

3.6 ถ้าค่าระดับเสียงที่ตรวจสอบทั้ง 2 ครั้ง แตกต่างกันเกินกว่า 2 dBA ให้ตรวจสอบค่าระดับเสียงโดยเริ่มต้นใหม่

4. ให้ตรวจวัดระดับเสียงจากจักรยานยนต์จำนวน 2 คัน สำหรับแต่ละกลุ่ม

5. เปรียบเทียบระดับเสียงที่วัดได้จากรถทั้ง 2 คัน ทดลองคำนวณหาระดับความดันเสียงรวมหากแหล่งกำเนิดเสียงปล่อยเสียงพร้อมๆกัน (วัดค่าจริง และ คำนวณเปรียบเทียบ)
6. บันทึกผลการตรวจวัด สรุป หาค่าระดับความดันเสียง และ อภิปรายผล
7. **แผนการปฏิบัติการ**

กลุ่มที่	**พื้นที่ตรวจวัดเสียง**
1 (กลุ่ม 1-5)	**ลานบริเวณอาคารปฏิบัติการ F8**
2 (กลุ่ม 6-10)	

8. **ตารางบันทึกผลการทดลอง**

รถจักรยานยนต์ คันที่	**ระดับความดันเสียงของสภาพแวดล้อมเฉลี่ย 5 นาที (L_{Aeq})**	**ระดับความดันเสียงรถจักรยานยนต์**		**ระดับความดันเสียงรถจักรยานยนต์ที่ได้**
		ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	
1				
2				

นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำการฝึกปฏิบัติตรวจวัดระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดนิ่ง (รถจักรยานยนต์) ตามหลักการที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ และอ้างอิงตามกฎหมายที่บังคับใช้

ขั้นตอนการศึกษา

1) จัดแบ่งกลุ่มๆละ6 คน
2) ดำเนินการตรวจวัดเสียงระดับพื้นฐาน จากแหล่งกำเนิดนิ่งสำหรับปฏิบัติการนี้ใช้รถจักรยานยนต์

3) บันทึกค่าการตรวจวัด และ คำนวณหาค่าระดับความดันเสียงของรถจักรยานยนต์ที่ตรวจวัดได้
4) อภิปราย และ สรุปผลการทดลองภายในกลุ่ม
5) จัดทำรายงาน
6) ส่งรายงานเสนออาจารย์ผู้สอน
7) อภิปรายเพิ่มเติม (ถ้ามี)

หมายเหตุ ควรใช้ข้อมูลต่อไปนี้ประกอบการบันทึกผล และการอภิปรายผล
ISO 1996 กำหนดไว้ว่าต้องทำการบันทึกข้อมูลต่อไปนี้เมื่อทำการตรวจวัดระดับเสียง

- ผลการวัด - เทคนิคการวัด
- ชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัด - ขั้นตอนการวัดที่ใช้
- การคำนวณที่ใช้ - สภาวะเด่นๆ
- สภาวะบรรยากาศแวดล้อม - ธรรมชาติรอบๆ
- การเปลี่ยนแปลงของแหล่งเสียง
- ผลการสอบเทียบ
- วันที่ทำการวัด เวลาที่เริ่มวัด และ เวลาที่วัดเสร็จ
- จำนวนครั้งของการวัด
- รายละเอียดของแหล่งที่สำรวจ
- แผนที่แสดงตำแหน่งของแหล่งเสียง วัตถุต่างๆที่เกี่ยวข้อง และ ตำแหน่งของผู้สังเกต

****

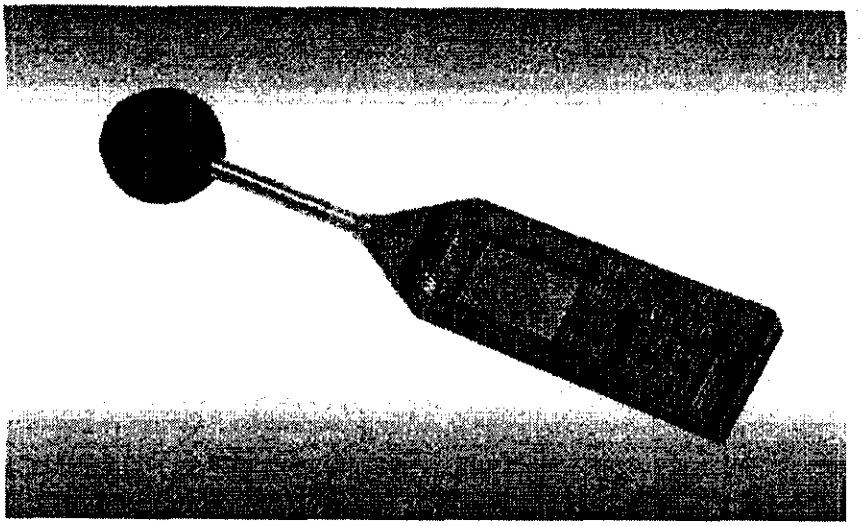
เครื่องมือ อุปกรณ์ และ วิธีการตรวจวัดระดับเสียง

อ. ชื่นจิต ชาญชิตปรีชา

1) เครื่องวัดระดับเสียง (Sound Level meter)

เป็นเครื่องที่สำคัญที่ใช้ในการตรวจวัดเสียงโดยทั่วไปจะถูกออกแบบมาให้มีขนาดและน้ำหนักที่สะดวกต่อการนำไปใช้งาน เครื่องวัดระดับเสียงโดยทั่วไปเหมาะที่จะใช้วัดเสียงที่ดังติดต่อกันอย่างต่อเนื่อง ไม่เหมาะที่จะใช้วัดเสียงกระแทกหรือเสียงที่ดังๆหยุดๆเป็นช่วงๆ ส่วนใหญ่นิยมวัดค่าเป็นฯ Leq (Equivalent Continuos Sound Pressure Level Leq) ซึ่งเป็นค่าตัวเลขเพียงหนึ่งค่าที่ใช้ในการบรรยายขนาดของการสัมผัสเสียงซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงระดับความดังตลอดเวลาที่ทำการวัด

Sound Level Meter (รูปที่ 1) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความแตกต่างของความดันเสียงในอากาศ โครงสร้างของตัวเครื่อง ประกอบด้วย ไมโครโฟน เครื่องขยายเสียง Frequency response networks และ สเกล (รูปที่ 2)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของ Sound Level Meter

เครื่อง Sound Level Meter เป็นเครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีความไว สามารถใช้วัดสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจากไมโครโฟนที่ติดอยู่กับเครื่องมือ การเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาจากไมโครโฟนจะถูกขยายสัญญาณ และ เปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณจะทำให้เข็มของมิเตอร์เคลื่อนที่ Attenuator จะควบคุมการขยายสัญญาณของเครื่องมือทั้งหมด Weighting network จะควบคุมการตอบสนองต่อความถี่ที่เฉพาะของการขยายสัญญาณ

เครื่อง Sound Level Meter นี้มีช่วงการวัดตั้งแต่ 40-140 dB โดยไม่ต้องใช้เครื่องช่วยพิเศษ ไมโครโฟนจะช่วยให้สามารถวัดระดับเสียงที่สูง หรือ ต่ำได้ เครื่องมือนี้สามารถต่อกับเครื่องมืออื่นเพื่อรายงานผลการวิเคราะห์ เหมาะสำหรับใช้ในภาคสนามด้วยการใช้แบตเตอรี่ มีความเชื่อถือได้ และ มีน้ำหนักเบา

ไมโครโฟน

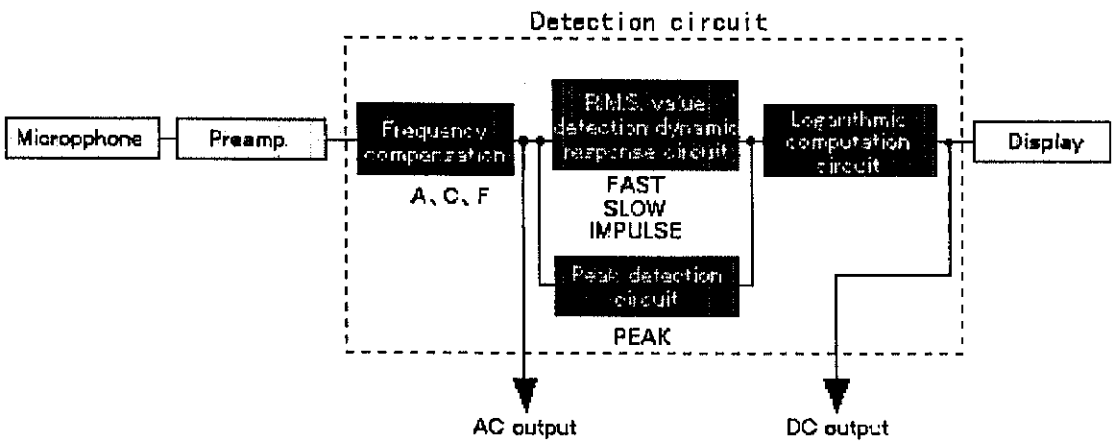
ไมโครโฟน เป็นส่วนที่ตอบสนองต่อความดันเสียงที่เปลี่ยนแปลงไป และ ทำให้เกิดสัญญาณไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียง เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจะมีค่าน้อยมาก จำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณนั้น นำเข้าสู่ส่วนต่อไปของเครื่องวัดเสียง

วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ (Frequency Weighting Network)

สัญญาณเสียงที่ผ่านจากไมโครโฟน และ วงจรขยายสัญญาณแล้ว จะต้องผ่านวงจรถ่วงน้ำหนักความถี่ที่จะถ่วงน้ำหนักความถี่ เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่มีหลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปแล้วการวัดระดับเสียงตามมาตรฐานหรือข้อกำหนดต่างๆ กำหนดให้ใช้การถ่วงน้ำหนักแบบ เอ เนื่องจากเป็นวงจรที่มีการตอบสนองของเสียงที่ความถี่ต่างๆเหมือนการได้ยินของหูมนุษย์

วงจรถ่วงน้ำหนักเวลา (Time-weighting Network)

Measuring system มี 2 ระบบ คือ Fast และ Slow ซึ่งจะปรากฏอยู่บน เครื่อง ใน Fast mode เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับเสียง การตอบสนองของสัญญาณจะเร็ว ขณะที่ Slow mode เข็มจะตอบสนองช้า



รูปที่ 2 แสดง ส่วนประกอบของเครื่องวัดระดับเสียง (Sound level Meter)

2) เครื่องวัดปริมาณเสียงสะสม (Noise dosimeter)

เป็นเครื่องวัดเสียงที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่นักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมในการประเมินการสัมผัสของผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้เนื่องจากในการประเมินการสัมผัสเสียงที่มีระดับความดังเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ตลอดระยะเวลาทำงานนั้น หากใช้ Sound Level meter วัดต้องคอยติดตามจดบันทึกระดับความดังทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงและบันทึกเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสเสียงที่ระดับความดังต่างๆตลอดเวลา แต่ถ้าใช้ Noise dosimeter วัดเครื่องจะทำงานแทนทั้งหมดโดยเครื่องจะทำการบันทึกปริมาณเสียงทั้งหมด ที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัส

และจะทำการคำนวณปริมาณเสียงที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับเกินจากมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดโดยจะอ่านค่าออกมาในรูปร้อยละของการสัมผัสปริมาณเสียงในหนึ่งขั้น (ปกติเป็น 8 ชั่วโมงการทำงาน)ดังนั้น Noise dosimeter ซึ่งเหมาะที่จะใช้วัดเสียงที่มีระดับความดังเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ตลอดระยะเวลาปฏิบัติงาน อีกทั้งยังมีขนาดเล็กสามารถติดที่ตัวผู้ปฏิบัติงานโดยตรงเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการสัมผัสเสียงของผู้ปฏิบัติงานคนนั้นได้ด้วย

3) เครื่องวัดเสียงแบบวิเคราะห์ความถี่ (Sound Level meter - octave - band Analyzer)

เป็นเครื่องวัดเสียงที่ใช้วิเคราะห์ความถี่ของเสียง เพื่อให้ทราบถึงการกระจายของพลังงานเสียงที่ความถี่ต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการหาแหล่งกำเนิดเสียง และในการควบคุมระดับความดังของเสียง (Noise Control) เนื่องจากเสียงในสถานประกอบการที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงต่างๆนั้นจะมีระดับเสียงดังในแต่ละความถี่แตกต่างกัน โอกาสที่จะพบเสียงที่ความถี่เดียว (pure tone noise)แทบจะไม่มีเลยดังนั้นการตรวจวัดเสียงเป็นเดซิเบล (สเกลเอ) เพียงอย่างเดียวคงจะไม่เพียงพอต่อการควบคุมเสียง จึงจำเป็นต้องมีเครื่องวัดเสียงที่ความถี่กลางคือ 31.6 เฮิรตซ์ ก่อนและความถี่กลางถัดๆไปที่กำหนดไว้ในเครื่องมือจะเป็นดังนี้ 63 125 250 500 1,000 2,000 4,000 และ 16,000 เฮิรตซ์

4) อุปกรณ์ประกอบการวัดเสียงที่สำคัญ

ในการตรวจวัดเสียงโดยใช้เครื่องวัดเสียงนั้น จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่าง ๆ มาประกอบการใช้เพื่อให้การทำงานของเครื่องเป็นไปอย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพพอดี ได้แก่

1. อุปกรณ์ปรับความถูกต้อง ใช้ปรับความถูกต้องของเครื่องวัดเสียงก่อนและหลังจากใช้วัดเสียง อุปกรณ์ชนิดนี้จะให้เสียงที่ความเข้มเสียงตามที่กำหนด (ออกแบบ) มาในความถี่ที่กำหนดอาจเป็นความถี่เดียวหรือหลายความถี่และสามารถใช้ได้กับเครื่องวัดเสียงเพียงอย่างเดียวหรือจะใช้เป็นระบบการวัดเสียงที่ติดตั้งขึ้นมาก็ได้

2. ฟองน้ำกันลมแรง (Wind Screen) เนื่องจากการวัดเสียงในที่ที่มีลมแรงจะมีผลทำให้ค่าที่อ่านจากเครื่องวัดเสียงผิดพลาดไปจากความเป็นจริงได้ ดังนั้นในกรณีเช่นนี้จะต้องใช้ Wind Screen ปิดครอบที่ไมโครโฟนด้วยเพื่อป้องกันลม รูปร่างของ Wind Screenที่นิยมใช้กันมากที่สุดจะเป็นรูปทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางมีตั้งแต่ 2.5 - 4 นิ้ว ทำด้วยสารโพลียูรีเทน

3. ขาตั้ง (Tripod) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้เมื่อต้องวัดเสียงหลายจุดและเครื่องวัดเสียงมีน้ำหนักมากการใช้ขาตั้งยังช่วยให้สามารถลดปัญหาร่างกายของผู้วัดบังเสียงที่จะตรวจวัดโดยไมโครโฟนอีกด้วย

การวัดเสียง (Sound Survey)

5) การเลือกเครื่องมือในการตรวจวัดระดับเสียง

การตรวจวัดระดับเสียงในภาคสนาม หรือ ห้องปฏิบัติการจะมีประสิทธิภาพ และ ให้ผลได้ถูกต้องแม่นยำนั้น ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้เครื่องมือ และ อุปกรณ์ที่มีอยู่ได้อย่างถูกต้อง ตรงกับวัตถุประสงค์การตรวจวัดแต่ละครั้ง ความสามารถ และ ข้อจำกัดของอุปกรณ์ ตลอดจนวิธีการดูแลรักษา ตามที่กำหนดในคู่มือการใช้งาน ตารางที่ 1 แสดงข้อควรปฏิบัติ และ พิจารณาในการเลือกใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ในการตรวจวัดระดับเสียง ที่คำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการตรวจวัดเป็นปัจจัยสำคัญ

ตารางที่ 1 ข้อพิจารณาเพื่อเลือกเครื่องมือในการวัดเสียง

	วัดเสียงจากแหล่งกำเนิด	**วัดเสียงจากจุดรับเสียงหรือสิ่งแวดล้อม**	**วัดเสียงเพื่อเหตุผลเฉพาะเจาะจง**
ตัวอย่างของแหล่งกำเนิดเสียง หรือวัตถุประสงค์การวัด	รถยนต์ จักรยานยนต์ เรือ เหมืองหิน โรงไม่ เครื่องจักรกลต่างๆ	เสียงในสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถบอกได้ว่ามาจากแหล่งกำเนิดเสียงใด	วัดเสียงในงานวิจัยและพัฒนา
ข้อควรพิจารณา			
▪ เครื่องวัด	Precision SLM	Integrating Precision SLM	Band Pass Filter or FFT
▪ ไมโครโฟน	Free Field Type I	Free field Type I	Free Field Type C
▪ สอบเทียบ	Acoustic Calibrator		Piston Phone
▪ สภาพแวดล้อมทางเสียง	Outdoor or Indoor		Anechoic room Reverberant room
▪ อื่นๆ ขาตั้งไมโครโฟน	ความสูงปรับระดับได้ 20-150 ซม.		
เครื่องบันทึกข้อมูล	Analog or Digital Recorder: Level Rocorder, DAT Recorder, Data Logger		
เครื่องพิมพ์ข้อมูล	Printer		
หมายเหตุ การเลือกเครื่องมือวัดเสียงนั้นขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการวัดในแต่ละครั้ง ซึ่งจะเป็นปัจจัยในการกำหนด Descriptor วิธีการตรวจวัด ตำแหน่งและจำนวนจุดตรวจวัด วิธีการคำนวณ และความแม่นยำของการวัด ซึ่งบางครั้งนอกจากฟังก์ชันของเวลาอาจไม่เพียงพอ ต้องมีวัดในฟังก์ชันของความถี่ด้วย หรืออาจละเอียดไปถึงการวิเคราะห์ความถี่แบบช่วงแคบ			

6) การตรวจวัดระดับเสียง

การตรวจวัดระดับเสียง พิจารณาตามวัตถุประสงค์ในการตรวจวัด สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ การตรวจวัดเสียงแบบเฉพาะเจาะจง และ การตรวจวัดเสียงโดยทั่วไป หรือ เสียงในสิ่งแวดล้อม

6.1 การวัดเสียงที่แหล่งกำเนิด (Source Measurement)

เป็นการหาลักษณะของเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิด โดยเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงอาจเป็นอุปกรณ์ชนิดเดียวกัน หรือ อุปกรณ์หลายชนิด หรืออาจพิจารณาโรงงานทั้งโรงงาน เป็นแหล่งกำเนิดเสียงชนิดหนึ่งก็ได้

การวัดเสียงที่แหล่งกำเนิด เลือกตำแหน่งที่เป็นแหล่งกำเนิดของเสียงซึ่งอาจมีเสียงจากแหล่งกำเนิดอื่นปนด้วย ทำการวัดเสียงพร้อมทั้งบันทึกรายละเอียดต่างๆ เช่น เทคนิคที่ใช้ ตำแหน่งที่วัด สภาวะที่ติดตั้งเครื่อง การปรับเทียบความถูกต้อง เวลาที่ได้รับเสียง รูปแบบของระดับเสียง และ ค่าจำเป็นอื่นๆ

6.2 การวัดเสียงในบรรยากาศ (Ambient-noise Measurement)

อาจเป็นการศึกษาระดับเสียงเดียว หรือ การวิเคราะห์องค์ประกอบของเสียง จำนวนครั้งที่ทำการวัดและชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ขึ้นกับข้อมูลที่ต้องการ การวัดเสียงในบรรยากาศจะเป็นการวัดระดับเสียงที่ไม่มีแหล่งกำเนิดเสียงที่แน่นอน หรือ ไม่ทราบแหล่งกำเนิดที่ชัดเจน

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการเฉพาะที่ใช้ในกฎหมายของประเทศไทยเท่านั้นซึ่งแบ่งลักษณะการตรวจวัดเสียงได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ **การตรวจวัดเสียงแบบอยู่นิ่ง** ส่วนใหญ่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงที่เป็นยานพาหนะ ตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ และ ประกาศกรมควบคุมมลพิษ **การตรวจวัดเสียงขณะแหล่งกำเนิดเสียงเคลื่อนที่** และ **การตรวจวัดเสียงในสิ่งแวดล้อม** ซึ่งเป็นเสียงที่ตรวจวัดได้ในสิ่งแวดล้อม โดยระบุแหล่งกำเนิดเสียงที่มา เป็นองค์ประกอบของเสียงไม่ได้

<u>การตรวจวัดเสียงจากแหล่งกำเนิดนิ่ง (Stationary Source)</u>

เสียงรถยนต์

ตามกฎหมายได้กำหนดไว้ว่า เครื่องมือที่ใช้ในการวัดระดับเสียงนั้นจะต้องเป็นเครื่องวัดระดับเสียงตามมาตรฐาน ของคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยเทคนิคไฟฟ้า (International Electrotechnical Commission, IEC) โดยที่ระดับเสียงของรถยนต์ที่ใช้ในการจราจรจะต้องมีค่าระดับเสียงไม่เกิน 85 dBA เมื่อตรวจสอบค่าระดับเสียงในระยะห่างจากรถยนต์นั้น 7.5 เมตร หรือ ไม่เกิน 100 dBA เมื่อตรวจสอบค่าระดับเสียงห่างจากรถยนต์นั้น 0.5 เมตร ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานระดับเสียงของรถยนต์

ค่ามาตรฐาน*	วิธีการตรวจวัดระดับเสียง	
	ประเภทรถยนต์	วิธีเร่งเครื่องยนต์
ไม่เกิน 85 เดซิเบลเอ ที่ระยะ 7.5 เมตร หรือ ไม่เกิน 100 เดซิเบลเอ ที่ระยะ 0.5 เมตร * ระดับเสียงขณะที่เดินเครื่องยนต์อยู่กับที่ โดยไม่รวมเสียงแตรสัญญาณ	รถยนต์ดีเซล	เร่งเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบสูงสุด
	รถยนต์แก๊สโซลีน	เร่งเครื่องยนต์ที่ 3/4 ของความเร็วรอบที่เครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุด

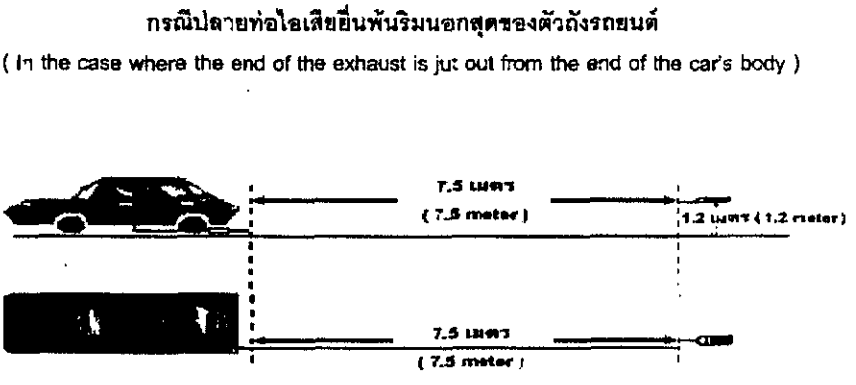
หมายเหตุ : * สถานที่ตรวจวัด

1) พื้นราบทำด้วยคอนกรีตหรือแอสฟัลต์หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงได้ดี และเป็นที่โล่งซึ่งมีระยะห่างจากรถยนต์ที่จะตรวจวัด 10 เมตร ขึ้นไป ให้ตรวจวัดในระยะห่างจากรถยนต์ 7.5 เมตร หรือ 0.5 เมตร

2) สถานที่ตาม 1) และเป็นที่โล่งซึ่งมีระยะห่างจากรถยนต์ที่จะตรวจวัด 3 เมตร แต่ไม่ถึง 10 เมตร ให้ตรวจวัดในระยะห่างจากรถยนต์ 0.5 เมตร

* ให้ตรวจสอบค่าระดับเสียง 2 ครั้ง และให้ถือเอาค่าระดับเสียงสูงสุดที่วัดได้ เป็นค่าระดับเสียงของเครื่องยนต์ ถ้าแตกต่างกันเกินกว่า 2 เดซิเบลเอ ให้ตรวจสอบใหม่

ที่มา : ดัดแปลงจาก ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดระดับเสียงของรถยนต์ และภาคผนวกท้ายประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดระดับเสียงของรถยนต์ วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2546



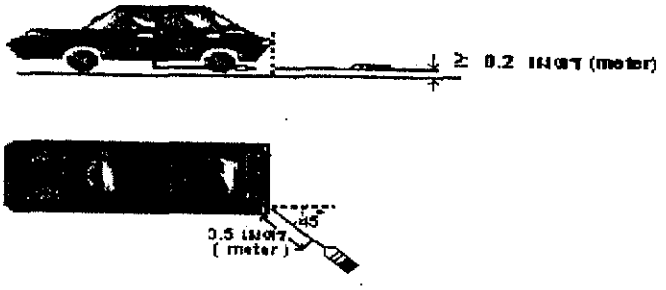
รูปที่ 3 แสดงตำแหน่ง ระยะ และ วิธีการในการหันแกนความไวสูงสุดของไมโครโฟน

ตำแหน่ง ระยะ และ วิธีการในการหันแกนความไวสูงสุด ของไมโครโฟน แสดงรายละเอียดดังรูปต่อไปนี้ (รูปที่ 4 ถึงรูปที่ 9)

1. กรณีที่ท่อไอเสียมี 1 ท่อ ให้ตั้งไมโครโฟนในระดับเดียวกับปลายท่อไอเสีย แต่ไม่ต่ำกว่า 0.2 เมตร จากพื้น และ หันไมโครโฟนเข้าหาปลายท่อไอเสีย โดยแกนไมโครโฟนจะต้องขนานกับพื้น ทำมุม 45°กับปลายท่อไอเสีย ห่างจากปลายท่อไอเสีย 0.5 เมตร

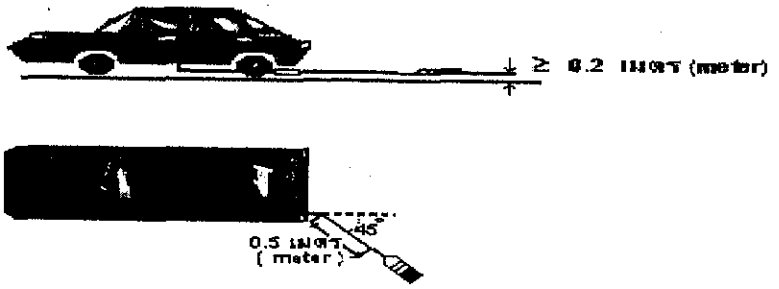
กรณีปลายท่อไอเสียยื่นไม่พ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์

(In the case where the end of the exhaust
is not jut out from the end of the car's body)



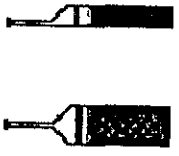
กรณีปลายท่อไอเสียยื่นพ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์

(In the case where the end of the exhaust
Is jut out from the end of the car's body)



ตำแหน่งแกนความไวสูงสุดของไมโครโฟน

(Microphone Direction)



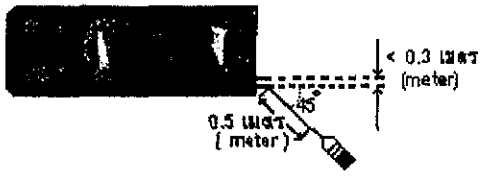
รูปที่ 4 แสดงการตรวจวัดกรณีปลายท่อไอเสียไม่พ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์

2. กรณีท่อไอเสียมี 2 ท่อ หรือมากกว่า ซึ่งต่อจากหม้อพักใบเดียวกัน และ มีระยะห่างระหว่างปลายท่อไอเสีย ไม่เกิน 0.3 เมตร

กรณีปลายท่อไอเสียยื่นพ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์

(In the case where the end of the exhaust

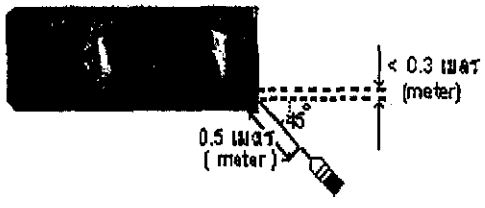
is jut out from the end of the car's body)



กรณีปลายท่อไอเสียยื่นไม่พ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์

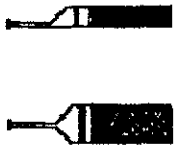
(In the case where the end of the exhaust

is not jut out from the end of the car's body)



ตำแหน่งแกนความไวสูงสุดของไมโครโฟน

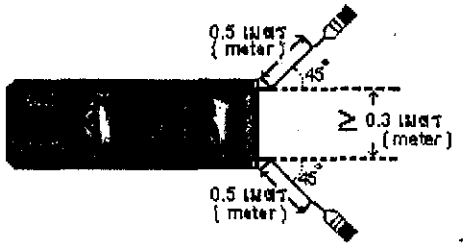
(Microphone Direction)



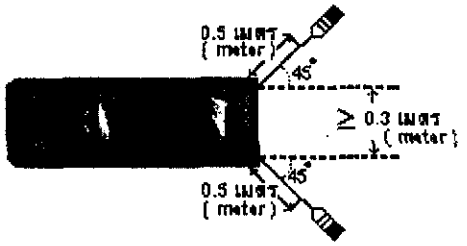
รูปที่ 5 แสดงการตรวจวัดกรณีปลายท่อไอเสียยื่นพ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์

3. กรณีท่อไอเสียมี 2 ท่อ หรือมากกว่า ซึ่งต่อจากหม้อพักใบเดียวกัน และ มีระยะห่างระหว่างปลายท่อไอเสีย มากกว่า 3 เมตร

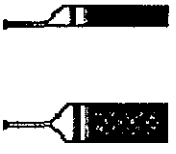
กรณีปลายท่อไอเสียต่อจากหม้อพักใบเดียวกัน
และยื่นพ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์
(In the case where there are two or more exhaust
connected with the same muffler and jut out
from the end of the car's body)



กรณีปลายท่อไอเสียต่อจากหม้อพักใบเดียวกัน
และยื่นไม่พ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์
(In the case where there are two or more exhaust
connected with the same muffler and not jut out
from the end of the car's body)



ตำแหน่งแกนความไวสูงสุดของไมโครโฟน
(Microphone Direction)



รูปที่ 6 แสดงการตรวจวัดกรณีปลายท่อไอเสียต่อจากหม้อพักใบเดียวกัน และยื่นพ้นริมนอกสุดของตัวถังรถยนต์

เสียงรถจักรยานยนต์

ตามกฎหมายได้กำหนดวิธีการตรวจวัด และ มาตรฐานระดับเสียงรถจักรยานยนต์ ฉบับปรับปรุงใหม่ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 มาตรฐานระดับเสียงของรถจักรยานยนต์

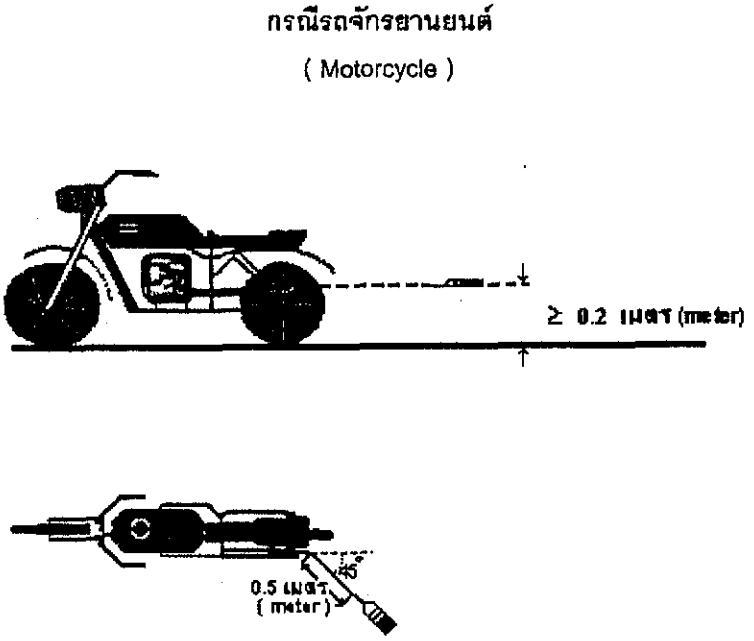
ค่ามาตรฐาน*	วิธีเร่งเครื่องยนต์
ไม่เกิน 95 เดซิเบลเอ ที่ระยะ 0.5 เมตร * ระดับเสียงขณะที่เดินเครื่องยนต์อยู่กับที่โดยไม่รวมเสียงแตรสัญญาณ	☐ เร่งเครื่องยนต์ที่ 3/4 ของความเร็วรอบที่เครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุด ถ้าความเร็วรอบที่เครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุดไม่เกิน 5,000 รอบต่อนาที หรือ ☐ เร่งเครื่องยนต์ที่ 1/2 ของความเร็วรอบที่เครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุดเกิน 5,000 รอบต่อนาที

หมายเหตุ : * สถานที่ตรวจวัด เป็นพื้นราบทำด้วยคอนกรีตหรือแอสฟัลต์หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงได้ดี และเป็นที่โล่ง ซึ่งมีระยะห่างจากรถจักรยานยนต์ที่จะตรวจวัด 3 เมตร ขึ้นไป

*ให้ตรวจสอบค่าระดับเสียง 2 ครั้ง และให้ถือเอาค่าระดับเสียงสูงสุดที่วัดได้ เป็นค่าระดับเสียงของรถจักรยานยนต์ ถ้าแตกต่างกันเกินกว่า 2 เดซิเบลเอ ให้ตรวจสอบใหม่

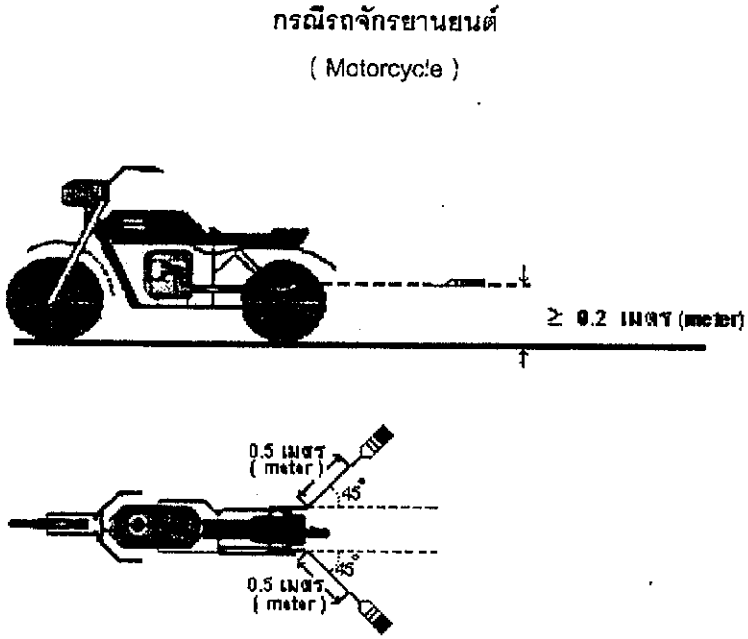
ที่มา : คัดแปลงจาก ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดระดับเสียงของรถจักรยานยนต์ และกาคผนวกท้ายประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดระดับเสียงของจักรยานยนต์ วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2546

1. กรณีมีท่อไอเสีย 1 ท่อ



รูปที่ 7 แสดงการตรวจวัดกรณีรถจักรยานยนต์มีท่อไอเสีย 1 ท่อ

2. กรณีมีท่อไอเสีย 2 ท่อ



รูปที่ 8 แสดงการตรวจวัดกรณีรถจักรยานยนต์มีท่อไอเสีย 2 ท่อ

เสียงจากเรือ

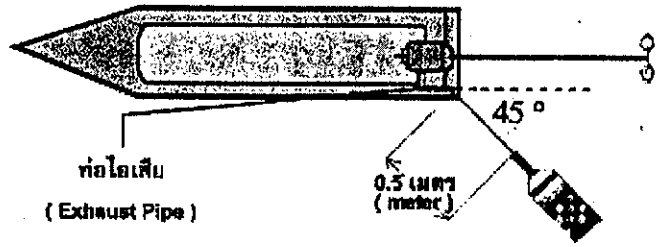
ตามกฎหมายได้กำหนดวิธีการตรวจวัด และ มาตรฐานระดับเสียงของเรือ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 มาตรฐานระดับเสียงของเรือ

ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัดระดับเสียง
100 เดซิเบลเอ ที่ระยะ 0.5 เมตร จากปลายท่อไอเสีย * หรือกราบเรือ * ให้ตรวจสอบค่าระดับเสียง 2 ครั้ง และถือเอาค่าสูงสุดที่วัดได้เป็นค่าระดับเสียงของเรือ ถ้าแตกต่างกันเกินกว่า 2 เดซิเบลเอ ให้ตรวจสอบใหม่	เครื่องยนต์ดีเซล เร่งเครื่องที่ความเร็วรอบสูงสุด
	เครื่องยนต์เบนซิน เร่งเครื่องที่ 3/4 ของความเร็วรอบที่ให้กำลังสูงสุด

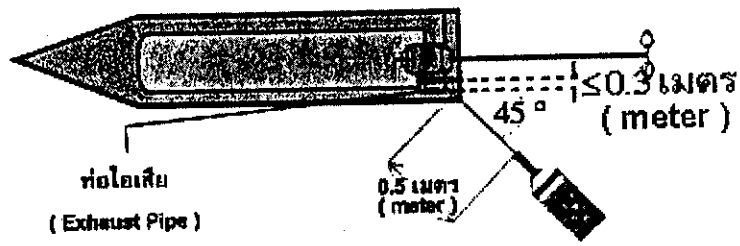
ที่มา :ดัดแปลงจากประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดระดับเสียงของเรือ ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 75 ง. วันที่ 20 กันยายน พ.ศ. 2537

1.ท่อไอเสีย 1 ท่อ



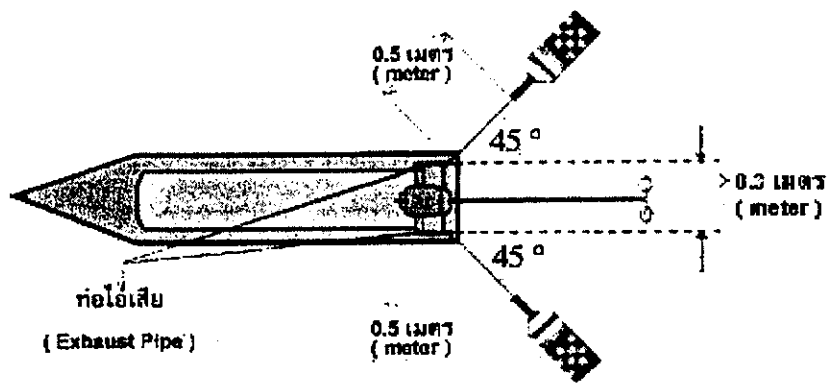
รูปที่ 9 แสดงการตรวจวัดกรณีเรือมีท่อไอเสีย 1 ท่อ

2.ท่อไอเสีย 2 ท่อ หรือมากกว่า และ ระยะห่างระหว่างปลายท่อไอเสียไม่เกิน 0.3 เมตร



รูปที่ 10 แสดงการตรวจวัดกรณีเรือมีท่อไอเสีย 2 ท่อ หรือมากกว่า และ ระยะห่างระหว่างปลายท่อไม่เกิน 0.3 เมตร

3.ท่อไอเสีย 2 ท่อ หรือมากกว่า และ ระยะห่างระหว่างปลายท่อไอเสีย เกิน 0.3 เมตร



รูปที่ 11 แสดงการตรวจวัดกรณีเรือมีท่อไอเสีย 2 ท่อ หรือมากกว่า และ ระยะห่างระหว่างปลายท่อเกิน 0.3 เมตร

การตรวจวัดเสียงในสิ่งแวดล้อม

ตามที่กฎหมายกำหนดไว้นั้นได้แก่ การตรวจวัดระดับเสียงโดยทั่วไปและ ระดับเสียงรบกวน

การตรวจวัดระดับเสียงโดยทั่วไป

เป็นการตรวจวัดระดับเสียงที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อม โดยที่ค่าระดับเสียงสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงขณะหนึ่งระหว่างการตรวจวัด จะต้องมีค่าไม่เกิน 115 dBA และ ค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 70 dBA (ค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง)

ในการตรวจวัดระดับเสียงโดยทั่วไปนั้น มีหลักการดำเนินการดังนี้

1. ในการตรวจวัดระดับเสียงสูงสุด ควรวัดในบริเวณที่มีคนอยู่ หรือ อาศัยอยู่
2. การตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จะทำการวัดโดยตรวจวัดระดับเสียงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา 24 ชั่วโมง
3. จุดตั้งไมโครโฟนเพื่อการตรวจวัดระดับเสียงในบริเวณภายนอกอาคาร ควรตั้งให้สูงจากพื้น 1.2 เมตร เป็นอย่างน้อย และ ในรัศมี 3.5 เมตรจะต้องไม่มีกำแพง หรือ สิ่งกีดขวางใดๆที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียงกีดขวางอยู่
4. จุดตั้งไมโครโฟนเพื่อตรวจวัดเสียงบริเวณภายในอาคาร ควรตั้งให้สูงจากพื้น ไม่น้อยกว่า 1.2 เมตร และ ในรัศมี 1 เมตร ตามแนวรอบไมโครโฟน ต้องไม่มีกำแพงหรือ สิ่งกีดขวางที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนเสียง และต้องห่างจากช่องหน้าต่าง หรือ ช่องทางที่นำไปสู่นอกอาคาร อย่างน้อย 1.5 เมตร

การคำนวณค่าระดับเสียง

ใช้การคำนวณที่กำหนดโดย องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO) ดังนี้

การคำนวณระดับเสียงเฉลี่ยจากระดับเสียงที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน (Fluctuating Noise)

$$L_{Aeq,T} = 10log\left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}10^{0.1L_{pAi}}\right]$$

เมื่อ

N คือจำนวนของค่าระดับเสียงที่อ่านได้ทั้งหมด ตลอดช่วงเวลาที่วัดเสียง (T) ที่เก็บทั้งหมด $N = \frac{t_1 - t_2}{\Delta t}$

L_{pAi} คือ ค่าระดับเสียงที่วัดได้ในหน่วยเดซิเบลเอ

Δt คือ ช่วงเวลาระหว่างการอ่านค่าระดับเสียงแต่ละค่าจากมาตรระดับเสียง

t1 คือ เวลาเริ่มต้นวัดเสียง

t2 คือ เวลาสิ้นสุดการวัดเสียง

T คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการวัดเสียง (t2-t1)

การคำนวณระดับเสียงเฉลี่ยจากระดับเสียงที่คงที่

สมการสำหรับใช้คำนวณค่าระดับเสียงเฉลี่ย (L_{eq}) จากระดับเสียงที่คงที่ (Steady noise) ซึ่งระดับเสียงในช่วงเวลาที่ตรวจวัดมีการเปลี่ยนแหล่งแตกต่างกันไม่เกิน 5 เดซิเบลเอ ให้เป็นไปตามสูตรที่องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization, ISO) กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

$$L_{Aeq,T} = 10log\left[\frac{1}{T}\sum T_i 10^{0.1L_{pAi}}\right]$$

เมื่อ

$T = \Sigma T_i$ คือเวลาในการตรวจวัดทั้งหมด

L_{pAi} คือค่าระดับเสียงที่วัดได้ในช่วงเวลา

<u>การตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน</u>

ระดับเสียงพื้นฐาน คือ ระดับเสียงที่ตรวจวัดในสิ่งแวดล้อมเดิมขณะยังไม่มีเสียงรบกวนจากแหล่งกำเนิด เป็นระดับเสียงที่ Percentile Level 90, L_{90} (ระดับเสียงที่ร้อยละ 90 ของเวลาที่ตรวจวัดจะมีระดับเสียงเกินระดับนี้)

ก่อนการตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน และ ระดับเสียงรบกวนทุกครั้งควรมีการปรับเทียบเครื่องมือวัดระดับเสียงไว้ที่ 'A' Weighting Network และที่ลักษณะความไวตอบรับเสียง 'Fast' หรือ ตรวจสอบตามคู่มือการใช้งานที่ผู้ผลิตแนะนำ

การตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐานควรทำการตรวจวัดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 นาที ขณะไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ที่สามารถใช้เป็นตัวแทนของระดับเสียงพื้นฐานในพื้นที่นั้นๆได้ สามารถแบ่งได้ 3 กรณีคือ

1. แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนยังไม่เกิด หรือ ยังไม่ดำเนินกิจกรรม ให้ตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐานในวันเวลา และ ตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดเสียงรบกวน หรือ จากตำแหน่งที่คาดว่าจะมีการดำเนินกิจกรรม
2. แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมีการดำเนินกิจกรรมอย่างไม่ต่อเนื่อง ให้ตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐานในวันเวลา และ ตำแหน่งที่จะมีการวัดระดับเสียงขณะมีการรบกวน โดยให้หยุดกิจกรรมของแหล่งกำเนิดเสียง หรือ วัดทันทีก่อน หรือ หลังการดำเนินกิจกรรม
3. แหล่งกำเนิดเสียงรบกวนมีการดำเนินกิจกรรมอย่างต่อเนื่องไม่สามารถหยุดการดำเนินกิจกรรมได้ ให้ตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐานในบริเวณอื่นที่มีสภาพแวดล้อมคล้ายกับบริเวณที่มีการรบกวนมากที่สุด และไม่ได้รับผลกระทบ จากแหล่งกำเนิดเสียงรบกวน โดยผู้ที่ทำการตรวจวัดจะต้องจัดทำ

บันทึกรายละเอียดเกี่ยวกับสภาพของบริเวณที่ทำการตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน และ บริเวณที่จะทำกรตรวจวัดระดับเสียงขณะมีการรบกวน

การคำนวณค่าระดับเสียงขณะมีการรบกวน และ ค่าระดับการรบกวน

เสียงรบกวน คือ ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดขณะมีการรบกวนที่มีระดับเสียงสูงกว่าระดับเสียงพื้นฐาน และ มีระดับการรบกวนเกินกว่าค่าระดับเสียงรบกวนที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน (>10 dB)

การตรวจวัดระดับเสียงขณะมีการรบกวน แบ่งออกเป็น 4 กรณี คือ

1.กรณีเสียงรบกวนเกิดขึ้นต่อเนื่อง 1 ชั่วโมงขึ้นไป

2. กรณีเสียงรบกวนเกิดขึ้นต่อเนื่อง และ เกิดไม่ถึง 1 ชั่วโมง

3. กรณีเสียงรบกวนเกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง และ เกิดมากกว่า 1 ช่วงเวลา

4.กรณีบริเวณที่จะทำการตรวจวัดเสียงรบกวนเป็นพื้นที่ที่ต้องการความเงียบสงบ ไม่ว่าเสียงที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการดำเนินกิจกรรมนั้นๆจะมีระดับเสียงคงที่ หรือไม่ก็ตาม ให้ตรวจวัดระดับเสียงขณะมีการรบกวนเป็นค่าระดับเสียงเฉลี่ย 5 นาที และนำค่าที่วัดได้บวกเพิ่มด้วย 3 dBA

- ในกรณีที่เสียงรบกวนเกิดขึ้นต่อเนื่องและเกิดขึ้นไม่ถึง ๑ ชั่วโมง ไม่ว่าเสียงที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกิจกรรมนั้น ๆ จะมีระดับเสียงคงที่หรือไม่ก็ตาม (Steady Noise or Fluctuating Noise) ให้คำนวณค่าระดับเสียงขณะมีการรบกวนตามสมการที่ ๑ ดังนี้

$$L_{Aeq,Tr} = L_{Aeq,Tm} + 10\log_{10}\left(\frac{T_m}{T_r}\right)$$ สมการที่ ๑

โดย $L_{Aeq,Tr}$ คือ ระดับเสียงขณะมีการรบกวน , เดซิเบล เอ

$L_{Aeq,Tm}$ คือ ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาที่เกิดเสียงรบกวน , เดซิเบล เอ

T_m คือ ระยะเวลาของช่วงเวลาที่เกิดเสียงรบกวน , นาที

T_r คือ ระยะเวลาอ้างอิงซึ่งกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณค่าระดับเสียงขณะมีการรบกวนในที่นี้ คือ ๖๐ นาที

● ในกรณีที่เสียงรบกวนเกิดขึ้นไม่ต่อเนื่องและเกิดขึ้นมากกว่า ๑ ช่วงเวลา โดยแต่ละช่วงเวลาเกิดขึ้นไม่ถึง ๑ ชั่วโมง ไม่ว่าเสียงที่เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกิจกรรมนั้นๆ จะมีระดับเสียงคงที่หรือไม่ก็ตาม (Steady Noise or Fluctuating Noise) ให้คำนวณค่าระดับเสียงขณะมีการรบกวนตามสมการที่ ๒ แล้วนำค่า $L_{Aeq,Tm}$ ที่คำนวณได้ไป คำนวณเพื่อหาค่าระดับเสียงขณะมีการรบกวนตามสมการที่ ๑

$$L_{Aeq,Tm} = 10\log_{10}\left\{\left(\frac{1}{T_m}\right)\sum T_i 10^{0.1L_{Aeq,Ti}}\right\}$$ สมการที่ ๒

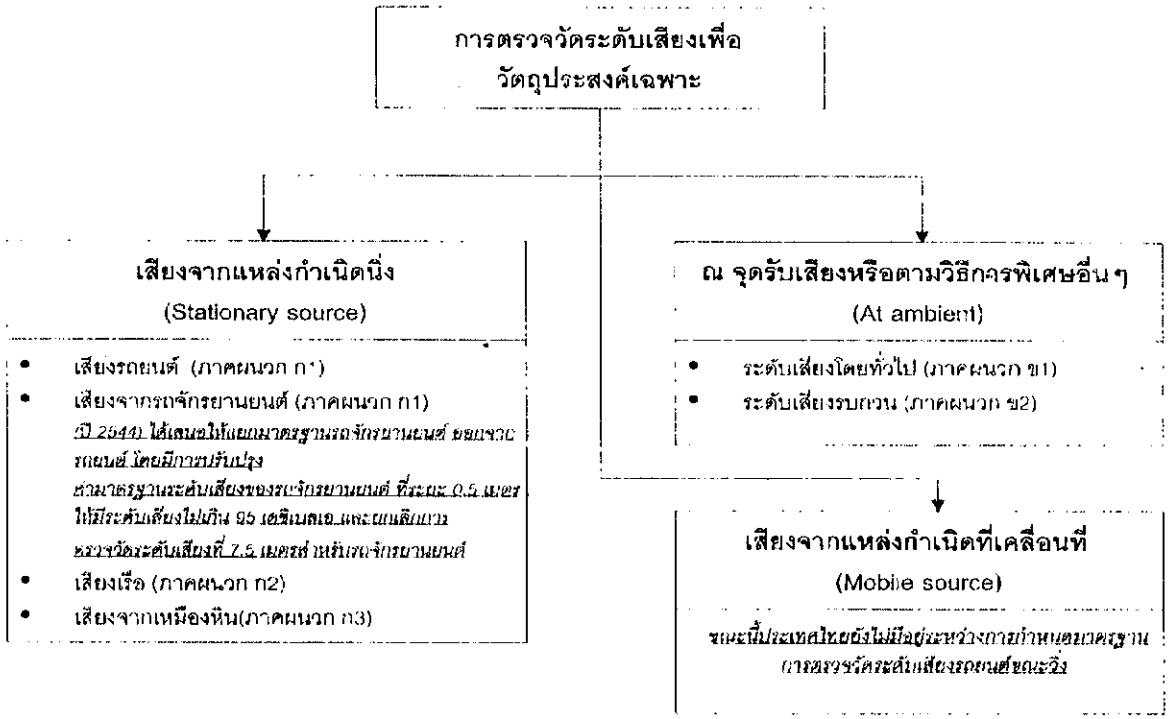
โดย $T_m = T_i$ นาที

$L_{Aeq,}$ คือ ระดับเสียงที่ตรวจวัดได้ในช่วงเวลาที่เกิดเสียงรบกวนที่ช่วงเวลา T_i เดซิเบล เอ

T_i คือ ระยะเวลาของช่วงเวลาที่เกิดเสียงรบกวนที่ i นาที

เอกสารประกอบปฏิบัติการที่ 2 การตรวจวัดเสียงในสิ่งแวดล้อม (เพิ่มเติม)

1. การตรวจวัดระดับเสียงตามวิธีการในกฎหมายของประเทศไทย



2. การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นตามมาตรฐานเสียงรบกวน

2.1 กรณีไม่มีแหล่งกำเนิดเสียง

กรณียังไม่มีแหล่งกำเนิดเสียง เช่น โรงงานยังไม่ก่อสร้าง หรือเป็นโครงการที่อยู่ระหว่างการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม)	
สิ่งที่ต้องสำรวจและบันทึกข้อมูลเบื้องต้น	**ผลจากการสำรวจและบันทึกข้อมูลเบื้องต้น**
บริเวณที่จะสร้างโรงงาน หรือโครงการ และที่อยู่อาศัยบริเวณโดยรอบ (วาดแผนที่ประกอบ)	- เพื่อคาดการณ์บริเวณที่อาจจะได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดเสียงเมื่อโรงงานหรือโครงการเปิดดำเนินงานแล้ว - เพื่อกำหนดเป็นจุดตรวจวัดระดับเสียง L_{90}
เส้นทางสัญจรสู่โรงงานหรือโครงการ และที่อยู่อาศัยบริเวณโดยรอบที่ใช้ในระหว่างการก่อสร้าง (วาดแผนที่ประกอบ)	- เพื่อคาดการณ์บริเวณที่อาจจะได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดเสียงในระหว่างการก่อสร้างโรงงานหรือโครงการ - เพื่อกำหนดเป็นจุดตรวจวัดระดับเสียง L_{90}

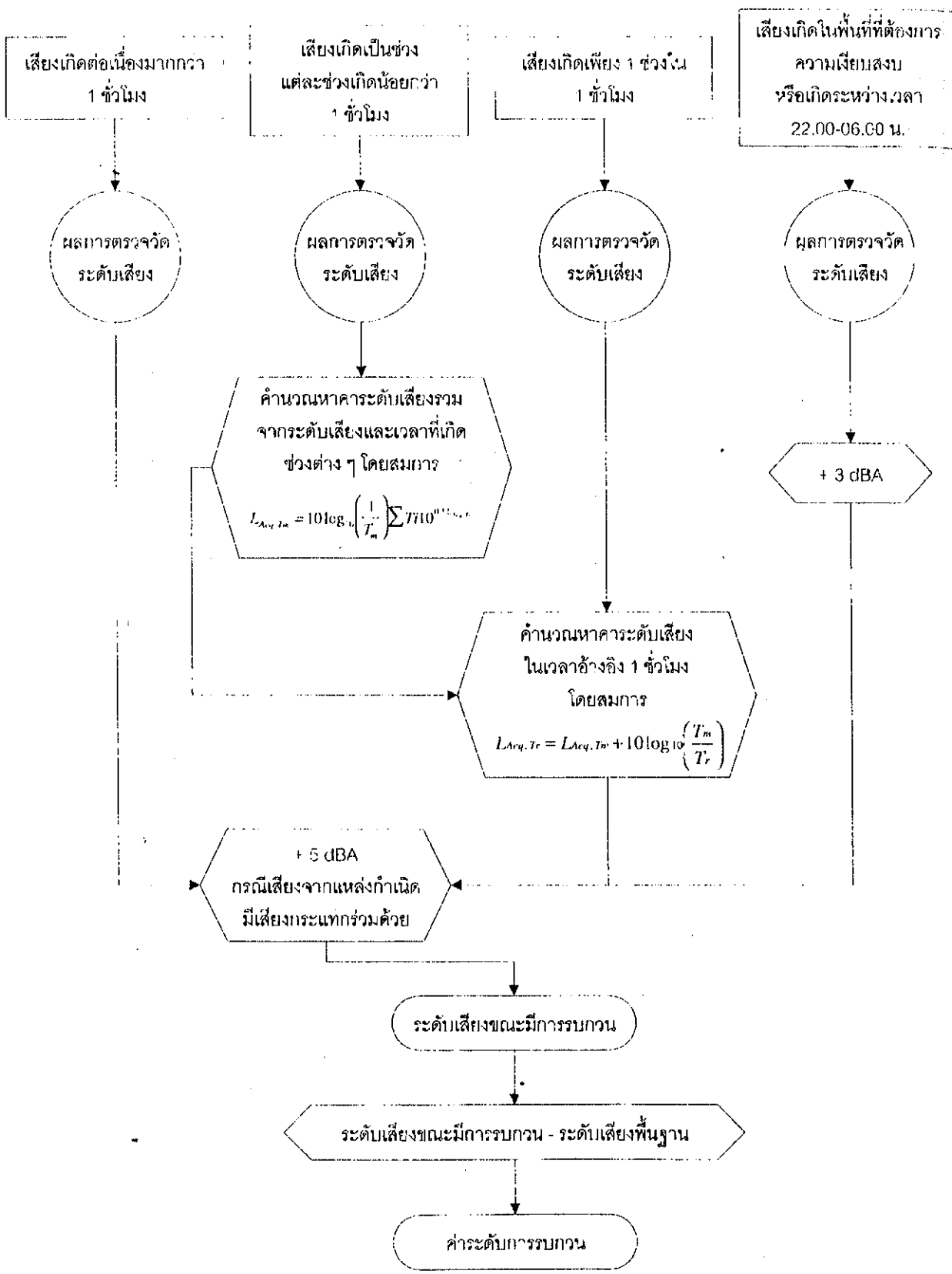
2.2 กรณีมีแหล่งกำเนิดเสียง

กรณีมีแหล่งกำเนิดเสียง	
สิ่งที่ต้องสำรวจและบันทึกข้อมูลเบื้องต้น	**ผลจากการสำรวจและบันทึกข้อมูลเบื้องต้น**
บริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงและบริเวณโดยรอบ (วาดแผนที่ประกอบ)	- เพื่อคาดการณ์บริเวณที่อาจจะได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดเสียง - ประเมินในเบื้องต้นว่าบ้านผู้ร้องเรียนได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดเสียงหรือไม่
แหล่งกำเนิดเสียงอื่นบริเวณใกล้เคียง ที่ไม่ใช่แหล่งกำเนิดเสียงที่ได้รับการร้องเรียน	ประเมินว่าการร้องเรียนมีผลมาจากเสียงของแหล่งกำเนิดเสียงอื่นร่วมหรือไม่ (เช่น ในช่วงที่เพื่อนบ้านของผู้ร้องเรียนยังไม่เปิดพัดลมระบายอากาศของเครื่องปรับอากาศ ผู้ร้องเรียนจะไม่รู้สึกรบกวนจากเสียงของจากโรงงาน)
วันของสัปดาห์ (เช่นทุกวันเสาร์-อาทิตย์) ที่เสียงจากแหล่งกำเนิดก่อให้เกิดการรบกวน	เพื่อกำหนดวันของสัปดาห์ให้ตรงกับวันที่เสียงจากแหล่งกำเนิดก่อให้เกิดการรบกวน เพื่อตรวจวัดระดับเสียง L_{eq} และ L_{90}
ช่วงเวลา (เช่น 18.00-24.00 น.) ที่เสียงจากแหล่งกำเนิดก่อให้เกิดการรบกวน	เพื่อกำหนดช่วงเวลาให้ตรงกับเวลาที่เสียงจากแหล่งกำเนิดก่อให้เกิดการรบกวน เพื่อตรวจวัดระดับเสียง L_{eq} และ L_{90}
ลักษณะเสียงของแหล่งกำเนิด (เช่น เกิดต่อเนื่องมากกว่า 1 ชั่วโมง หรือเกิดเป็นช่วง ๆ หรือมีเสียงกระแทกร่วมด้วย)	- เพื่อกำหนดการตั้งค่าพารามิเตอร์และเวลาเก็บข้อมูลของเครื่องวัดระดับเสียง เพื่อกำหนดการคำนวณหาระดับเสียงขณะมีการรบกวน (เช่น บวก 5 เดซิเบลเอกับเสียงที่ตรวจวัดได้เนื่องจากลักษณะของเสียงมีเสียงกระแทกร่วมด้วย)
สภาพภูมิอากาศ	เพื่อกำหนดช่วงเวลาที่ไม่สมควรตรวจวัดระดับเสียง (เช่นช่วงภายหลังฝนตกจะมีเสียงกบและแมลง การตรวจวัดเสียงช่วงนี้จะได้ค่าระดับเสียงที่สูงกว่าในช่วงอื่น)
บ้านผู้ร้องเรียนหรือบริเวณที่ร้องเรียนเสียงจากแหล่งกำเนิด	เพื่อกำหนดเป็นจุดตรวจวัดระดับเสียงค่า L_{eq} และ L_{90} ในกรณีที่สามารถให้แหล่งกำเนิดเสียงหยุดกิจกรรมชั่วคราวได้
สภาพแวดล้อมของบ้านผู้ร้องเรียนหรือบริเวณที่ร้องเรียนเสียงจากแหล่งกำเนิด	เพื่อหาบริเวณอื่นที่มีสภาพใกล้เคียงกันเป็นจุดตรวจวัดระดับเสียงค่า L_{90} แทนบ้านผู้ร้องเรียน หรือบริเวณที่ร้องเรียน ในกรณีที่ไม่สามารถทำให้แหล่งกำเนิดเสียงหยุดกิจกรรมชั่วคราวได้
บริเวณอื่นนอกเหนือจากบ้านผู้ร้องเรียน ที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงบ้านผู้ร้องเรียน แต่ไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดเสียงที่เป็นสาเหตุของการร้องเรียน	เพื่อกำหนดเป็นจุดตรวจวัดระดับเสียงค่า L_{90} แทนจุดของบ้านผู้ร้องเรียน หรือบริเวณที่ร้องเรียน ในกรณีที่ไม่สามารถทำให้แหล่งกำเนิดเสียงหยุดกิจกรรมชั่วคราวได้
ผู้ร้องเรียนเคยมีเรื่องกับเจ้าของแหล่งกำเนิดเสียงมาก่อนหรือไม่	เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเรื่องร้องเรียน
จำนวนผู้ร้องเรียน (คน หรือ ครัวเรือน)	เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเรื่องร้องเรียน

ตารางที่ 1 ข้อควรพิจารณาในการตรวจวัดระดับเสียงตามวิธีการในกฎหมายด้านมลพิษทางเสียงในประเทศไทย

ข้อพิจารณา	รถยนต์	มอเตอร์ไซด์	เรือ	เหมืองหิน	ทั่วไป	เสียงรบกวน
กฎหมายที่รองรับ	ภาคผนวก ก1		ภาคผนวก ก2	ภาคผนวก ก3	ภาคผนวก ข1	ภาคผนวก ข2
หลักการของมาตรฐาน	วัดเสียงจากแหล่งกำเนิด			วัดที่ขอบบ่อหินโดร	วัด ณ จุดรับเสียง	
Sound Descriptor	L_p			L_{max} , $L_{eq\ 24hr}$, $L_{eq\ 8hr}$	L_{max} , $L_{eq\ 24hr}$	$L_t = L_{eq\ 1\ hr} - L_{90}$
เทคนิค						
เครื่องมือ						
- *มาตรฐานเครื่อง*	IEC 60651			IEC 60804, 60651	IEC 60651, 60804	
- *วงจรถ่วงน้ำหนักความถี่*	ถ่วงน้ำหนักความถี่แบบ A (A-Weighted)					
- *วงจรถ่วงน้ำหนักเวลา*	Fast					
- *อุปกรณ์อื่นๆ*	ขาตั้งเครื่องวัดเสียง, อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ ไม้วัดระยะและมุม, wind screen			Wind Screen, สายสัญญาณ, ขาตั้งไมโครโฟน		
เจ้าหน้าที่						
- *จำนวน*	> 2 คน			> 1 คน		
- *อุปกรณ์ป้องกันอันตราย*	ป้องกันอุบัติเหตุรถยนต์, ที่ครอบหู / จุดหู				ที่ครอบหู/จุดหู	
การเตรียมตัว						
- *สำรวจข้อมูลเบื้องต้น*	จำนวนท่อไอเสีย, รูปที่ 3-10 และ 3-11			รูปที่ 3-10 และ 3-11		รูปที่ 3-10 และ 3-11 ตามข้อ 3-4 และ 3-5
- *ลักษณะเสียง*	เสียงคงที่			เสียงระเบิด	เสียงคงที่, เสียงระเบิด, เสียงที่เปลี่ยนแปลง	
การตรวจวัด						
- *ตำแหน่งที่ตั้ง (ความสูงจากพื้นดิน) (ระยะห่าง)*	สูงจากพื้น > 0.2 ม.			สูงจากพื้น 1.2 - 1.5 m	รูปที่ 3-11	รูปที่ 3-11 ข้อ 3
ความเร็วรอบ	ห่างจากไมโครโฟน 0.5 ม. ทำมุม 45 องศาจากแนวแกนทอ			รูปที่ 3-11 ข้อ 3		
	รูปที่ 3-13			-		
การคำนวณ	รูปที่ 3-13			$L_{Aeq} = 10 \log_{10}\left(\frac{1}{N}\right)\sum_{i=1}^{N} 10^{L_{Ai}/10}$		รูปที่ 3-14
ค่ามาตรฐาน	วัดที่ระยะ 0.5 m. < 100 dBA			$L_{eq\ 24hr}$ < 70 dBA L_{max} < 115 dBA $L_{eq\ 8hr}$ < 75 dBA	$L_{eq\ 24hr}$ < 70 dBA L_{max} < 115 dBA	ระดับการรบกวน < 10 dBA

ขั้นตอนการตรวจวัด และ วิเคราะห์ผลการตรวจวัดระดับเสียงขณะมีการรบกวน



ปฏิบัติการที่ (4)

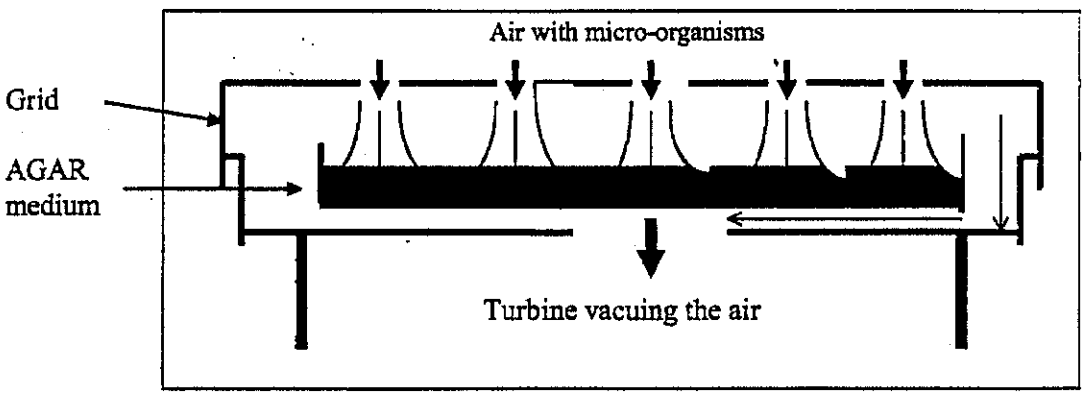
การตรวจวิเคราะห์มลพิษทางอากาศทางแบคทีเรีย

อาจารย์ ชื่นจิต ชาญชิตปรีชา

วัตถุประสงค์ เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจ, สามารถอธิบายหลักการ และ ตรวจวิเคราะห์จุลชีพในอากาศได้

หลักการ

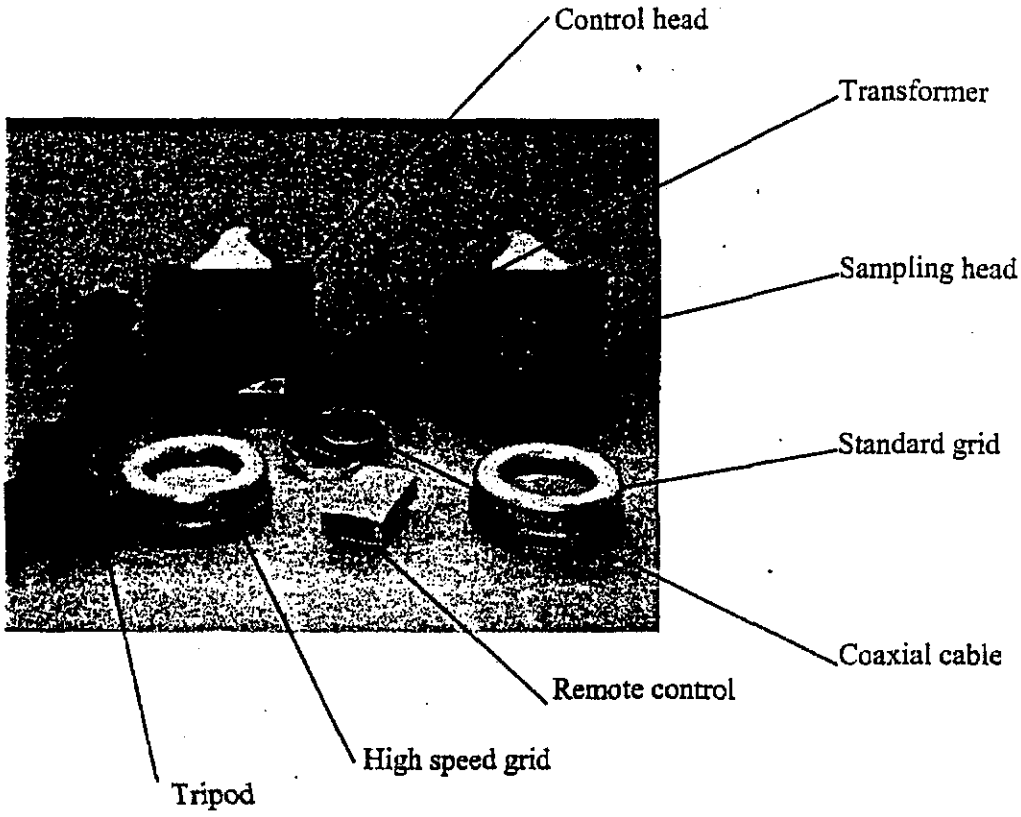
ทำการเก็บรวบรวมเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศด้วยวิธีการอัดเชื้อ (Impaction) โดยการใช้เครื่องดูดอากาศ (Air aspiration) ดูดอากาศผ่านตะแกรงที่วางอยู่เหนือจานอาหารเลี้ยงเชื้อ (Petri dish) ซึ่งมีระยะห่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ปริมาตรอากาศที่มีจุลินทรีย์ ปนอยู่จะถูกอัดเข้าไปบน agar ตามระยะเวลาและ อัตราการไหลของอากาศที่ตั้งค่าไว้ ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศโดยการนับเป็นหน่วย CFU (Colony Forming Unit) ในจานเพาะเชื้อ หลังจากการบ่มเชื้อไว้ ประมาณ 24-48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม (37°C)



รูปที่ 1 แสดง Impaction Principle

เครื่องมือและอุปกรณ์

1.เครื่องอัดอากาศ/ เก็บตัวอย่างอากาศ รุ่น Sampl'Air พร้อมอุปกรณ์ประกอบ ดังรูป



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องอัด/ เก็บตัวอย่างอากาศเพื่อการวิเคราะห์ทางจุลชีพ

2. อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Agar ดังแสดงในสูตรต่อไปนี้

Beef Extract	3 g
Peptone Water	5 g
Agar	15 g
น้ำกลั่น	1 ลิตร

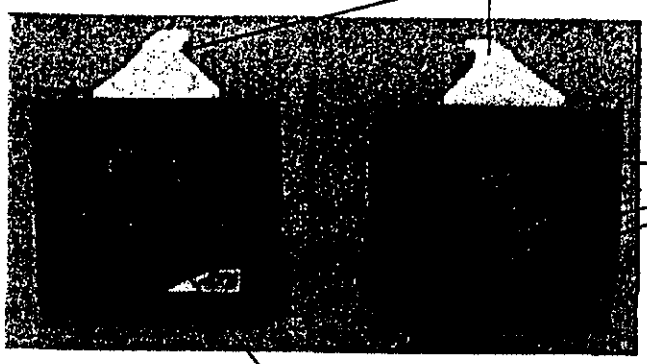
ปรับ pH ให้เป็น 7, หลังจากนั้น กวนให้เข้ากันด้วย Magnetic Stirrer พร้อมๆกับให้ความร้อนเพื่อให้เม็ดวุ้นละลายได้ทั่วถึง แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้ความร้อนลดลงระดับหนึ่ง แล้วเทลงบนจานเพาะเชื้อ (พลาสติกซึ่งมีขนาดกับ Sampling Head ของเครื่องอัดอากาศ) ทิ้งให้เย็น แล้วเก็บไว้ใช้สำหรับ การเก็บตัวอย่างอากาศต่อไป

3. เครื่อง Autoclave (สำหรับ Sterile technique)

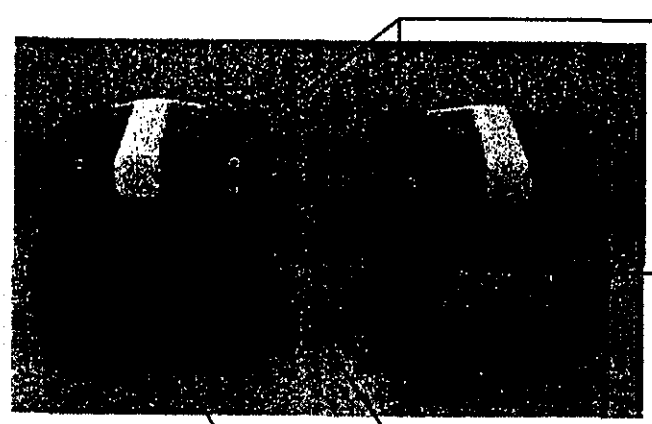
4. แอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อ (70% Ethanol)

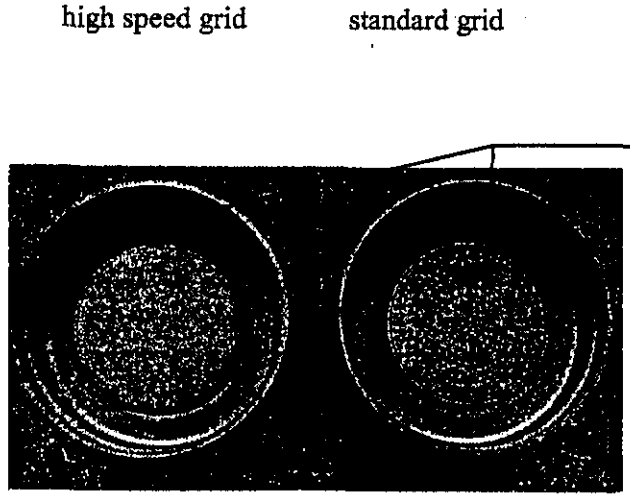
5. ถุงมือ

Front panel



Rear panel

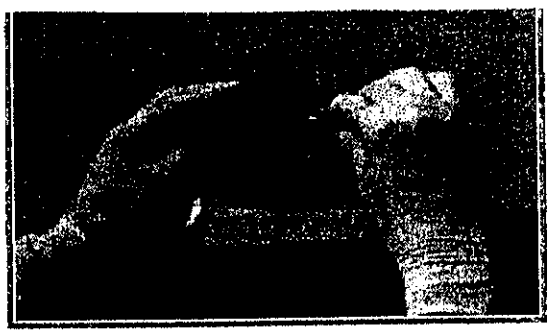




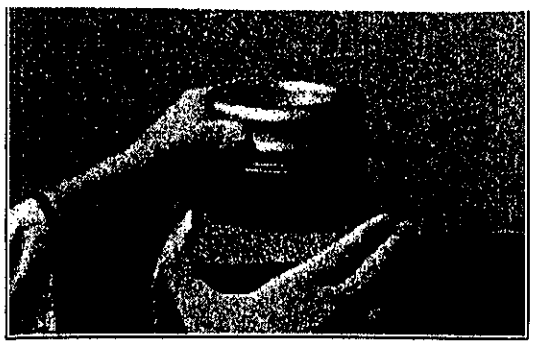
วิธีการทดลอง

1. **อบฆ่าเชื้อ ตะแกรงเก็บตัวอย่าง** (ในที่นี้จะใช้ตะแกรงมาตรฐาน)
2. **เตรียมเปิดเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ** ที่สวิตช์ On , ต่อหน่วยควบคุมกับ Sampling head ด้วย Coaxial cable แสงสีเขียวจะสว่างขึ้นบน Control Unit แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้
3. **เลือกเวลาในการเก็บตัวอย่างด้วยสวิตช์** เพิ่มค่า (+), หรือ ลดค่า (-)
4. **เลือกอัตราการไหลของอากาศ**ในการเก็บตัวอย่างด้วยปุ่ม Slow (อัตราการไหลของอากาศ ต่ำ: 100 l/min.) และ ปุ่ม Fast (อัตราการไหลของอากาศสูง: 200 l/min.) โดยที่ความเร็วในการอัดเชื้อลงบนพื้นผิวอาหารเลี้ยงเชื้อ คือ 3 m/ sec สำหรับ Slow และ 6 m/ sec สำหรับ Fast ตามลำดับ
5. **การวาง Petri dish และ การเริ่มเก็บตัวอย่างอากาศ**

5.1 วาง Sampling head ในแนวตั้ง เอาตะแกรงอลูมิเนี่ยมออกจากบล็อคโดยการดึงขึ้น วางตะแกรงลงบนพื้นผิวที่สะอาด ใส่ Petri dish ที่เขียนรหัส และ มีอาหารเลี้ยงเชื้อในที่ยึด และ ตรวจสอบดูว่า Petri dish วางในแนวนอนดีแล้ว



5.2 เอาฝาปิดของ Petri dish ออก และ วางไว้ที่พื้นผิวที่สะอาด แล้ววางตะแกรง (Standard Grid) ครอบแทนที่ ซึ่งพร้อมสำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศแล้ว



5.3 เริ่มทำการเก็บตัวอย่างอากาศโดยการกดปุ่ม Start เครื่องจะแสดงเวลากระพริบ บ่งบอกว่าเครื่องได้เริ่มทำงานแล้ว จนครบตามเวลาที่ได้ตั้งไว้

6. การสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง

หลังจากสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง เอาตะแกรงอัดอากาศออก แล้วปิดจานเก็บตัวอย่างให้เร็วที่สุด นำไปบ่ม (Incubate) ที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง ตรวจนับจำนวนโคโลนีของเชื้อที่ขึ้น บันทึกผลการทดลอง อภิปราย และ สรุป

7. การตรวจนับจำนวนโคโลนี และ การคำนวณ

หลังจากการเก็บตัวอย่าง และ การบ่มเชื้อแล้ว ให้นักศึกษานับจำนวนโคโลนี (n) ของเชื้อที่มีการเจริญเติบโต แล้วทำการคำนวณให้เป็นหน่วย CFU (Colony Forming Unit) โดยดูเปรียบเทียบกับตารางเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของจำนวนโคโลนีที่นับได้ (n) กับจำนวนโคโลนีที่มีความเป็นไปได้มากที่สุด (N) ซึ่งเมื่อเราทราบค่า N ที่เปิดจากตาราง และค่าปริมาตรอากาศที่เครื่องอัดเข้าไป (V) จะทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณเชื้อแบคทีเรียในอากาศทั้งหมดได้ ดังสูตร

อัตราการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ = N/ V

มีหน่วยเป็น CFU/ m^3

8. แผนการปฏิบัติการ

กลุ่มที่	พื้นที่เก็บตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง	
		Slow	Fast
1	ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม 1 (ปิดแอร์)	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
2	ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม 1 (เปิดแอร์)	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
3	ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม 2 (ปิดแอร์)	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
4	ห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม 2 (เปิดแอร์)	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
5	ห้องชั่งน้ำหนักสาร	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
6	ห้อง Clean room (อนามัยสิ่งแวดล้อม ฝั่ง 2)	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
7	บริเวณทางเดินใน F 8	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
8	ห้องน้ำหญิงฝั่งอนามัยสิ่งแวดล้อม	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
9	ห้องน้ำชายฝั่งอนามัยสิ่งแวดล้อม	2 นาที ,4 นาที	2 นาที
10	ห้อง bricf lab.	2 นาที ,4 นาที	2 นาที

9. ตารางบันทึกผลการทดลอง

จุดเก็บตัวอย่าง	ลักษณะ Colony	เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง	n	N	CFU/ m^3
		Slow 2 นาที			
		Slow 4 นาที			
		Fast 2 นาที			

นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำการฝึกปฏิบัติเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศ ตามจุดต่างๆ ที่กำหนดไว้ในแผนปฏิบัติการ ตามวิธีการข้างต้น แล้วทำรายงานของแต่ละกลุ่มเสนออาจารย์ผู้สอน ตามเวลาที่กำหนด

ขั้นตอนการศึกษา

1) จัดแบ่งกลุ่มๆละ 6 คน
2) ดำเนินการปฏิบัติการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อการวิเคราะห์ทางแบคทีเรีย
3) วิเคราะห์ และ คำนวณหาปริมาณแบคทีเรียในอากาศในบริเวณที่เก็บตัวอย่าง
4) อภิปราย และ สรุปผลการทดลองภายในกลุ่ม
5) จัดทำรายงาน
6) ส่งรายงานเสนออาจารย์ผู้สอน
7) อภิปรายเพิ่มเติม (ถ้ามี)

.....

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของ n กับ N Tableau de correspondance n/N

n = จำนวนโคโลนี N = จำนวนโคโลนีที่เป็นไปได้มากที่สุด.

n	N	n	N	n	N	n	N	n	N
1	1	36	40	71	87	106	142	141	204
2	2	37	41	72	89	107	143	142	206
3	3	38	43	73	90	108	145	143	208
4	4	39	44	74	91	109	147	144	210
5	5	40	45	75	93	110	149	145	212
6	6	41	46	76	94	111	150	146	214
7	7	42	48	77	96	112	152	147	216
8	8	43	49	78	97	113	154	148	218
9	9	44	50	79	99	114	155	149	220
10	10	45	51	80	100	115	157	150	222
11	11	46	53	81	102	116	159	151	224
12	12	47	54	82	103	117	161	152	226
13	14	48	55	83	105	118	162	153	228
14	15	49	57	84	106	119	164	154	230
15	16	50	58	85	108	120	166	155	232
16	17	51	59	86	110	121	168	156	234
17	18	52	61	87	111	122	169	157	236
18	19	53	62	88	113	123	171	158	238
19	20	54	63	89	114	124	173	159	240
20	21	55	65	90	116	125	175	160	242
21	22	56	66	91	117	126	177	161	244
22	24	57	67	92	119	127	178	162	246
23	25	58	69	93	121	128	180	163	248
24	26	59	70	94	122	129	182	164	250
25	27	60	71	95	124	130	184	165	252
26	28	61	73	96	125	131	186	166	254
27	29	62	74	97	127	132	187	167	256
28	30	63	76	98	129	133	189	168	258
29	32	64	77	99	130	134	191	169	260
30	33	65	78	100	132	135	193	170	262
31	34	66	80	101	133	136	195	171	264
32	35	67	81	102	135	137	197	172	266
33	36	68	83	103	137	138	199	173	268
34	38	69	84	104	138	139	201	174	270
35	39	70	86	105	140	140	202	175	273

การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์จุลชีพในอากาศ

(SAMPLING FOR BIOAEROSOLS)

หลักการ

สภาวะมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาอุตสาหกรรมก่อปัญหาทางสุขภาพร่างกาย ทำให้มีการศึกษาวิจัยหาสาเหตุ ศึกษาสารที่เป็นมลพิษในอากาศ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสภาวะอากาศ และสารมลพิษต่างๆ เกิดการพัฒนาวิทยาการทางการตรวจวิเคราะห์สารประกอบต่าง ๆ ในอากาศ เพื่อประเมินสถานการณ์ของสภาวะมลพิษ อีกทั้งกำหนดมาตรฐานต่างๆ เพื่อความปลอดภัยในด้านสุขภาพอนามัยของประชาชน

การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลชีพในอากาศนั้นมีวิธีการเก็บฝุ่นละอองในอากาศต่างกันที่การวิเคราะห์ภายหลังการเก็บตัวอย่างแทนที่จะเป็นการวิเคราะห์ทางเคมี แต่เป็นการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

อากาศรอบตัวเราแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อากาศภายนอกและอากาศภายในอาคาร สถานที่ซึ่งจุลชีพในอากาศทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะแตกต่างกัน การเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์จุลชีพของอากาศทั้ง 2 ประเภทนี้จึงมีวัตถุประสงค์ของการเก็บ และการใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างที่ต่างกันออกไป ในที่นี้จะกล่าวถึงการเก็บตัวอย่างอากาศภายในอาคารสถานที่เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับคนมากกว่า โดยเฉพาะทางการแพทย์และสาธารณสุข เนื่องจากเป็นสภาพอากาศที่คนเราทำงาน และใช้เวลาส่วนมากอยู่ภายในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นบ้านเรือน ห้องเรียน ห้องทำงาน โรงงาน โรงภาพยนต์ ศูนย์การค้า การวิเคราะห์คุณภาพอากาศในอาคารจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสนใจอย่างยิ่ง เพราะอาจเป็นสาเหตุของการหยุดงาน การขาดเรียน หรือการทำงาน หรือการทำงานที่ลดประสิทธิภาพลงได้ ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อทั้งบุคคลผู้นั้นและของหน่วยงาน

ตารางที่ 9.1 แสดงลักษณะที่ต่างกันของจุลชีพในอากาศภายนอกและอากาศภายในอาคารสถานที่

ลักษณะ	จุลชีพในอากาศ ภายนอกอาคาร	จุลชีพในอากาศภายในอาคารสถานที่
ที่มาของจุลชีพ	จากธรรมชาติ พืช สัตว์ คน	จากจุลชีพประจำถิ่นของคนเป็นส่วนมาก
ปริมาณของจุลชีพ	มีประมาณ 3 เท่าของอากาศในอาคาร	โดยทั่วไปน้อยกว่าอากาศภายนอก และขึ้นอยู่กับกิจกรรมของคนภายในสถานที่นั้น
ชนิดของจุลชีพ	หลากหลาย	น้อยชนิด
อิทธิพลของสิ่งแวดล้อม (UV, humidity, Pollution, etc)	มีผลกระทบมาก	มีผลกระทบน้อย
การกระจายตัว	ไม่สม่ำเสมอขึ้นกับหลายปัจจัย	ค่อนข้างสม่ำเสมอ อากาศม้านิ่ง หรือมี velocity ต่ำ

ชนิดของจุลชีพที่พบในอากาศ

จุลชีพที่พบในอากาศได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส โปรโตซัว ดังในตารางที่ 2 และ 3 ทั้งในรูปของ สปอร์ และ Vegetative form และมีที่มาต่างๆ กัน จากคน สัตว์ พืช และธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละออง ดิน น้ำ แต่ ส่วนมากเป็นจุลชีพที่ไม่ก่อโรค มีเพียงส่วนน้อยที่สามารถก่อโรคได้และมีความทนทานในอากาศได้ดี เนื่องจากการยังชีพในอากาศของจุลชีพมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิด บางชนิดไวต่อออกซิเจน ถูกทำลายได้ง่าย บางชนิดต้องการอาหารพิเศษเพื่อการเจริญเติบโต หรืออุณหภูมิ ความชื้นที่พอเหมาะ บางชนิดจะสร้างสปอร์และยังชีพอยู่ได้นานเป็นปีในธรรมชาติ ดังนั้นจุลชีพในอากาศที่ก่อโรคได้นั้นจึงมีอยู่ไม่มาก ส่วนใหญ่เป็นจุลชีพที่ไม่ก่อโรค อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะไม่สามารถก่อโรคได้หากมีปริมาณมากเกินหรือได้รับบ่อยๆ ก็สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกายให้เกิดเป็นโรคภูมิแพ้ (hypersensitivity) ต่อสารหรือส่วนประกอบของจุลชีพที่เรียกว่า aeroallergens ได้

จุลชีพในอากาศนั้นจะอยู่รวมกับอนุภาคของฝุ่นละออง (aerosols) ซึ่งอาจมีขนาดเล็กที่สุดที่พบจุลชีพแฝงอยู่ได้คือ 1 μm ไปจนถึง 100 μm ถ้ามีขนาดใหญ่กว่านี้จะตกลงสู่พื้นดินได้ในเวลาอันรวดเร็ว จึงไม่ฟุ้งกระจายไปในอากาศ ละอองฝุ่นส่วนใหญ่ที่พบว่ามีจุลชีพอยู่มักมีขนาดระหว่าง 4-20 μm แต่ที่น่าสนใจคือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 μm เนื่องจากเป็นขนาดที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของเราได้ (respirable particles) และถ้ามีขนาดเล็กกว่า 5 μm จะเป็นพวกที่สามารถลงถึงถุงลมปอด และทางเดินหายใจส่วนปลายที่ติดกับถุงลมปอดได้ (nonciliated respilatory bronchioles) ซึ่งจะตกค้างเป็นเวลานานพอที่จะก่อให้เกิดการติดเชื้อหรือภูมิแพ้ขึ้นได้ ไวรัสเป็นจุลชีพที่อาศัยอยู่ภายในเซลล์ชนิดอื่น ดังนั้นการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ไวรัสก็สามารถทำได้เช่นเดียวกับแบคทีเรียหรือเชื้อรา ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเพื่อกรองฝุ่นเฉพาะขนาดเล็กๆ เท่านั้น

ตารางที่ 2 Typical Microorganisms isolated from indoor air or water.

Fungi	**Bacteria**	**Amoebae**
Alternaria	*Bacillus*	*Acanthamoeba*
Aspergillus	*Corynebacterium*	*Naeglaria*
Aureobasidium	*Flavobacterium*	
Cephalosporium	*Legionella*	
Cladosporium	*Micrococcus*	
Fusarium	*Pseudomonas*	
Penicilium	*Staphylococcus*	
Streptomyces	*Thermoactinomyces*	

ตารางที่ 3 Examples of infectious disease transmitted via indoor air

Obligate pathogens	**Opportunistic pathogens**
Bacteria	**Bacteria**
Antharx	Legionnaire' s disease
Brucellosis	Pontiac fever
Streptococcucal pneumonia	*Pseudomonas pneumonia*
Tuberculosis	
Virus	**Virus**
Common cold	Herpes
Chicken pox	Shingles
Influenza	**Protozoa**
Measles	Cryptosporidiosis
Rubella	*Pneumocystis pneumonia*
Fungi	**Fungi**
Blastomycosis	Aspergillosis
Coccidiodomycosis	Cryptococcosis
Histoplasmosis	Mucomyosis
	Phycomycosis

ในทางการแพทย์การวิเคราะห์จุลชีพในอากาศภายในสถานที่ต่างๆ ได้ทำมานานแล้ว เช่น ในห้องผ่าตัด ห้องเตรียมยา ห้องปฏิบัติการ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีปริมาณการปนเปื้นของจุลชีพก่อโรคจากผู้ป่วย หรือตัวอย่างส่งตรวจได้สูง จึงใช้เป็นมาตรการ ควบคุมคุณภาพของการปฏิบัติงาน การป้องกันการเกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาล การตรวจวิเคราะห์จุลชีพในอากาศนั้นทำได้ทั้งในเชิงปริมาณ และการพิสูจน์ชนิดของจุลชีพ ซึ่งการพิสูจน์เชื้อนี้มีความสำคัญทางการแพทย์ เช่น ภายในห้องผ่าตัด หรือ ในห้องผู้ป่วยที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง ควรเป็นห้องที่สะอาดมีฝุ่นน้อย หากมีฝุ่นละอองที่มีจุลชีพอยู่อาจปนเปื้อนแผลผ่าตัด หรือเครื่องมือผ่าตัด จะทำให้ผู้ป่วยติดเชื้อได้ ดังนั้น การตรวจอากาศภายในห้องผ่าตัดและวิเคราะห์ชนิดของจุลชีพจะช่วยประเมินโอกาสเสี่ยงต่อการติดเชื้อของผู้ป่วยในห้องผ่าตัดได้ ขณะที่สถานที่ทำงาน เช่น สำนักงาน ธนาคาร การตรวจจุลชีพเชิงปริมาณจะมีความสำคัญมากกว่าการพิสูจน์เชื้อ ทั้งนี้เพื่อทราบปริมาณของจุลชีพที่หายใจเข้าออกของบุคคลที่อยู่ภายในอาคาร (respiratory infective dose) โดยทั่วไปจะวัดปริมาณของแบคทีเรียหรือ เชื้อรา ในอากาศเป็น colony-forming unit / m^3 (CFU/ m^3) สำหรบไวรัสเป็นplaque-forming unit / m^3 (PFU/ m^3) วิธีนี้เป็นการวัดโดยประมาณ คือ ประมาณว่า 1 อนุภาคของฝุ่นมีจุลชีพเพียง 1

ตัวจึงสามารถบอกคร่าวๆได้ หรือให้ละเอียดมากขึ้นไปอีก ก็สามารถวัดจำนวนของจุลชีพที่มีชีวิตในอนุภาคฝุ่นทั้งหมดได้เช่นกัน ซึ่งวิธีนี้ต้องเก็บตัวอย่างอากาศลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว หรือลงบนแผ่นกรองแล้วนำไปใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวอีกต่อหนึ่ง ก็สามารถคำนวณปริมาณของจุลชีพทั้งหมดในอากาศได้ อย่างไรก็ตามการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์ จุลชีพนั้นมีข้อจำกัดหลายประการ การแปลผลบางครั้งไม่อาจสรุปอะไรได้ การเก็บตัวอย่างค่อนข้างยุ่งยากและราคาแพง ดังนั้นก่อนที่จะต้องการเก็บตัวอย่างตรวจ ควรพิจารณาข้อจำกัดของการตรวจ และควรมีข้อบ่งชี้หรือวัตถุประสงค์ของการตรวจให้ชัดเจน

ข้อจำกัดที่พึงทราบ (Limitations)

1. ต้องการเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อวิเคราะห์จุลชีพในอากาศนั้นค่อนข้างยุ่งยาก ใช้เวลา มีค่าใช้จ่ายสูง และโดยมากมักหาข้อสรุปจากผลการตรวจไม่ค่อยได้
2. เครื่องมือและวิธีการเก็บตัวอย่างที่เป็นมาตรฐานและยอมรับกันเป็นสากลนั้นยังไม่มี และไม่มีจุลชีพบ่งชี้ว่า มีการปนเปื้อนของเชื้อในบรรยากาศ เหมือนเช่น *E. coli* ที่ใช้เป็น indicator สำหรับการปนเปื้อนของน้ำ วิธีที่ใช้กันโดยมากเป็นวิธีที่ ACGIH (The American Conference of Governmental Industrail Hygienists) แนะนำให้ ซึ่งมีเพียงการเก็บเพื่อตรวจหาแบคทีเรียและเชื้อรา แต่ยังไม่มีวิธีสำหรับไวรัส โปรโตซัว และพิษของเชื้อรา เครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่างมีมากหลายชนิด เลือกใช้ตามลักษณะของสภาพอากาศของสถานที่เก็บ
3. แม้ว่าจะมีข้อมูลทางการแพทย์ และระบาดวิทยา ร่วมกับผลการตรวจตัวอย่างอากาศแล้ว ส่วนมากแล้วก็ยังไม่สามารถสรุปเหตุและผล (cause and effect) ที่เกิดขึ้นได้ หรืออีกนัยหนึ่งคือไม่สามารถบอกความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างปัจจัยต่างๆ เหล่านี้กับผลที่เกิดขึ้นได้ เช่น ปริมาณของเชื้อในบรรยากาศ กับการเจ็บป่วย

ข้อบ่งชี้ในการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์จุลชีพในอากาศ

(INDICATIONS OF BIOLOGICAL SAMPLING)

1. มีหลักฐานที่สงสัยว่าปัญหาเกิดจากจุลชีพในอากาศ เช่น การเจ็บป่วยของคนภายในอาคารหรือบริเวณ นั้น มีการอุดตันของท่อระบายน้ำของเครื่องทำความเย็น พบเชื้อราขึ้นบนพรมปูพื้น เป็นต้น

2. ต้องการสืบสวนหาแหล่งแพร่กระจายของเชื้อในอากาศ

3. ต้องการศึกษาวิจัย หรือมีความต้องการข้อมูลเพื่อประโยชน์ทางกฎหมาย

4. เพื่อใช้เป็นข้อมูลเสริมในการศึกษาหาสาเหตุโดยตรงของปัญหา (จากเชื้อโรคตัวใดตัวหนึ่ง) ร่วมกับข้อมูลทางการแพทย์ ทางสิ่งแวดล้อมและระบาดวิทยา

5. ใช้เป็นตัววัดว่ามาตรการแก้ไขปัญหามลภาวะภายในอาคารเปรียบเทียบก่อนและหลังการแก้ปัญหาว่าได้เหมาะสมหรือไม่ เช่น การระบายอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นของสถานที่ เป็นต้น

ปัจจัยที่พึงพิจารณาก่อนเก็บตัวอย่าง

(FACTORS TO BE CONSIDERED IN THE SELECTION OF SAMPLERS)

1. กระบวนการเก็บตัวอย่าง (Sampling protocol)เลือกวิธีการเก็บตัวอย่างให้เหมาะสม

2. เครื่องมือที่จะใช้เก็บ และอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อาหารเลี้ยงเชื้อ

3. ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง (Location)

4. จำนวนตัวอย่างที่จะเก็บ (Number of samples)

5. วันและเวลาที่เลือกเก็บตัวอย่าง (day and time)

6. ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อการแพร่กระจายของละอองอากาศ ภายในสถานที่จะเก็บตัวอย่าง

วิธีการเก็บตัวอย่าง (METHODS)

1.การเก็บตัวอย่างอากาศ

ควรทำในเวลาที่มีปัญหา หรือใกล้เคียงกับเหตุการณ์ เช่น การเจ็บป่วยของพนักงาน เนื่องจากสภาวะในบรรยากาศ นั้นเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว การเก็บตังอย่างเพื่อวิเคราะห์สาเหตุจึงอาจคาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้มาก

2.แจ้งให้ห้องปฏิบัติการทราบกำหนดการเก็บตัวอย่างเพื่อคดตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

3.อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง

3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ เลือกอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือที่ใช้ และความต้องการตรวจหาจุลชีพชนิดใด (การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หา Leginella จากเชื้อตัวอย่างอากาศนั้นมักไม่พบ แต่จะพบเชื้อนี้ได้มากในน้ำที่ขังในระบบทำความเย็น เช่นใน cooling tower water หรือ cooling coil condensor)

3.1.1. ชนิดวุ้น (agar plate)

3.1.1.1.แบคทีเรีย ได้แก่ nutrient agar, trytic soy agar (สำหรับActinomycese), blood agar,heart infusion agar เป็นต้น

3.1.1.2.เชื้อรา ได้แก่ malt extract agar , sabarourd dextrose agar, rose bengal agar เป็นต้น

3.1.2. อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลว (liquid media)

3.1.2.1 Nutrient broth

3.1.2.2 Sterile distilled water / physiological saline

3.1.2.3 Phosphate buffered saline

3.1.2.4 Brain heart infusion broth

3.1.2.5 Peptone water

3.1.2.6 Endo broth

3.1.3.ไวรัส ใช้ cell culture หรือ liquid media ในการเก็บตัวอย่าง

3.2 Andersen sampler (single-stage or multistage sieve impactor) ซึ่งมีเครื่องปั๊มดูดอากาศ (volumetric air sampling pumps) ตรวจเช็คการทำงาน ความสม่ำเสมอของอากาศที่ดูดเข้า เครื่อง (air flow) เช็คflow rate (28.3 ลิตร / นาที หรือ 1 cfm) ก่อนใช้ทุกครั้ง เวลาที่เก็บตัวอย่าง 1-30 นาที ต่ออาหารเลี้ยงเชื้อ 1 เพลท ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างขึ้นอยู่กับสภาพของสถานที่ หากเป็นสถานที่ที่คนทำงานอยู่มาก หรือมีกิจกรรมมาก ระยะเวลาการเก็บควรลดให้น้อยลงเพื่อไม่ให้เพลทมีฝุ่น/เชื้อมากเกินไป หากเป็นห้องที่สะอาด เงียบสงบก็อาจใช้เวลานานขึ้น หรืออาจเก็บในเวลาต่างๆกัน (5,15, 30 นาที) ในจุดเดียวกันหากไม่ทราบสภาพของสถานการณ์ที่มาก่อน เพื่อได้ผลที่อ่านได้อย่างถูกต้อง อุปกรณ์เครื่องมือทุกชิ้นต้องทำความสะอาดด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อก่อนการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนตัวอย่างที่เก็บ (carried over contamination) จากเพลทหนึ่งไปอีกเพลทหนึ่งโดยมีเครื่องมือหรือตัวผู้เก็บเองทำให้เกิดการปนเปื้อน

4. การเก็บตัวอย่าง

วางอุปกรณ์เก็บตัวอย่างในบริเวณที่ต้องการและให้สูงจากพื้นประมาณ 1.5 เมตร ในแต่ละจุดควรเก็บ 2-3 ตัวอย่าง สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อ 1 ชนิดและเลือกใช้อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดต่างๆ ตามความประสงค์ที่ต้องการจะตรวจจุลชีพชนิดใด บริเวณที่เก็บตัวอย่างควรเป็นบริเวณที่สงสัยหรือบริเวณที่ใกล้เคียงว่าจะเป็นจุดที่มีการปนเปื้อนเชื้อ หรือเป็นทางระบายอากาศใกล้กับแหล่งที่สงสัยว่ามีจุลชีพ(supply air/ return air ducts) ซึ่งเป็นบริเวณที่ส่งผลต่อคนจำนวนมาก และเลือกเก็บอีกบริเวณที่ไม่มีผลต่อคนหมู่มากหรือพื้นที่ที่มีการใช้สอยน้อยกว่าบริเวณแรก นอกจากนี้ควรเก็บตัวอย่างอากาศภายนอกอาคารด้วย เพื่อใช้เปรียบเทียบ outdoor : indoor air concentration หากห้องที่เก็บตัวอย่างมีกิจกรรมหรือทำงานอยู่ก็ควรเก็บขณะที่มีการทำงานตามปรกติ

5. บันทึกข้อมูลขณะเก็บตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

5.1 ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง (อาจใช้แผนที่ประกอบ)

5.2 วันที่และเวลาที่เก็บตัวอย่าง (เช่น 12.00 น.)

5.3 ปริมาณของอากาศ (air volume)

5.4 ข้อมูลทั่วไปของห้องที่เก็บตัวอย่าง เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น, ขนาดของห้อง, จำนวนคน, air change per hour เป็นต้น

5.5 ชื่อผู้เก็บตัวอย่าง

6. การนำส่งห้องปฏิบัติการ

6.1 หากใช้อาหารเลี้ยงเชื้อชนิดวุ้นให้ปิดฝาและคว่ำเพลทอาหารเลี้ยงเชื้อลง เพื่อป้องกันหยดน้ำที่เกิดจากความชื้นหยดลงบนเพลท จากนั้นวางเรียงซ้อนกันในภาชนะที่เตรียมไว้ ป้องกันตัวอย่างที่เก็บเกิดการปนเปื้อนเชื้อขณะนำส่งห้องปฏิบัติการ

6.2 ควรใช้ ice box ใส่ตัวอย่างขณะนำส่งหรือรอนำส่ง

6.3 ควรส่งตัวอย่างที่เก็บแล้วให้ห้องปฏิบัติการทันที หรือ ภายใน 24 ชั่วโมงเพื่อทำการบ่มเพลท ต่อไป

มาตรฐานกำหนดสำหรับปริมาณจุลชีพในอากาศภายในอาคาร

(STANDARDS FOR BIOAEROSOL EXPOSURES INDOORS)

ค่ามาตรฐานของจุลชีพในอากาศที่ปลอดภัยสำหรับมนุษย์นั้นยังไม่มีการกำหนด หรือนำมาใช้เป็นสากล

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้เก็บมีมากมายหลายชนิดและมีความแตกต่างในการใช้งานต่างๆ กัน ค่าที่วัดได้ครั้งหนึ่งๆ ในแต่ละสถานที่มีความแปรปรวนสูง อีกทั้งมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีบทบาทต่อปริมาณของเชื้อในอากาศขณะหนึ่งๆ อย่างไรก็ตามค่าที่กำหนดที่รวบรวมไว้ตอนท้ายนี้เป็นของหน่วยงานต่างๆ ที่เสนอแนะเป็นแนวทางเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ มิได้หมายความว่าถ้าจำนวนแบคทีเรียสูงกว่านี้จะไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ หรือหากต่ำกว่านี้จะปลอดภัยต่อสุขภาพ เพราะปัจจัยร่วมอื่นๆ และปัจจัยบุคคลมีบทบาทสำคัญในการก่อโรคด้วยเช่นกัน ดังนั้น การแปรผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลชีพในอากาศควรใช้หลักการพิจารณาหรือคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ร่วมด้วยเสมอ

1.ใช้การเปรียบเทียบปริมาณแบคทีเรีย/รา ในอากาศระหว่างภายในอาคารและภายนอกอาคาร หรือระหว่างอากาศภายในห้องกับนอกห้อง ที่บรรยากาศต่างกัน ของแต่ละสถานที่ (ปริมาณของจุลชีพในอากาศแปรตามสภาพภูมิอากาศและฤดู โดยทั่วไปปริมาณสูงสุดในฤดูร้อนและต่ำสุดในฤดูหนาว ซึ่งปริมาณของจุลชีพในอากาศภายในอาคารประมาณร้อยละ 20-50 ของปริมาณที่มีอยู่ในอากาศภายนอก)

2.ใช้หลักฐานทางการแพทย์และประวัติการเจ็บป่วยของพนักงานเป็นสำคัญกว่าผลการตรวจในอากาศ

3.หาแหล่งที่อาจเป็นแหล่งแพร่พันธุ์ของจุลชีพในระบบควบคุมอากาศภายในอาคาร

4.ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างที่ ACGIH แนะนำ

ความแตกต่างระหว่างจุลชีพภายในและภายนอกอาคาร

1.โดยมากจุลชีพในอาคารมีปริมาณและชนิดต่างๆ น้อยกว่าภายนอก (outdoor air)

2.จุลชีพในอากาศภายในอาคารส่วนมากเป็นจุลชีพประจำถิ่นของมนุษย์ มีปริมาณสัมพันธ์กับจำนวนคนและกิจกรรมของคนที่อยู่ภายในอาคาร หรือสถานที่นั้นๆ ส่วนจุลชีพในอากาศภายนอกอาคารที่มีมาจากแหล่งต่างๆ กันในธรรมชาติ เช่น พื้นดิน น้ำ พืช สัตว์ และคน

3.ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะและปริมาณของจุลชีพในอากาศภายนอกอาคารได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ แสงอุลตราไวโอเลต สภาวะมลพิษในอากาศและอื่นๆ

4.การกระจายตัวของจุลชีพในอากาศภายนอกนั้นแตกต่างกันในแต่ละแห่ง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังได้กล่าวแล้ว

5.การเก็บตัวอย่างจุลชีพในอากาศภายนอกอาคารจึงจำเป็นต้องเก็บในสภาวะอากาศต่างๆ และในเวลาต่างๆ กัน

ปริมาณจุลชีพในอากาศและน้ำที่แนะนำโดยหน่วยงานต่างๆ

a. OSHA (Occupational Safety and Health Administration)

- Total bacteria count < 10^4 / ml of stagnant water (หากพบมากกว่า10,000/ml แสดงว่ามีการปนเปื้อนเชื้อ และต้องมีมาตรการแก้ไขทันที)
- Fungus <10^6 /g of dust
- Fungus <10^3 /g of stagnant water

b. Morey (1986)

Total bacteria count < 1000 CFU/m^3 of indoor air

$10^5 - 10^7$ CFU/l of cooling tower water indicates the problem (normal should be 10^3- 10^4 CFU/l)

< 10^6 CFU/g of dust

c. Morey (1989)

- Outdoor level of fungi are about 4-10 times those found in the typical office building.
- Outdoor fungal spore levels $10^3 - 10^5$ CFU/m^3 of air

d. Thomas and Ronald Guidelines

- Total bacteria < 50,000 / ml of water (cooling tower water, humidifier/ fogger, potable water)
- Pseudomonas, < 250/ ml of water
- Legionella, not detected in 1 liter of water

e. ACGIH

- Any single viable organism present in concentration greater than 75 CFU/m 3 should be identified.
- Total average number of CFU/m^3 for fungi, bacteria, thermophilic actinomycetes exceeds10,000 remedial actions should be taken to reduce the concentration of biological contamination.

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ สิ่งแวดล้อม, **มลพิษทางเสียง Noise Pollution**, สำนักพิมพ์ บริษัท ซิลค์คลับ จำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2544.

มาตรฐานคุณภาพอากาศและเสียง [Online].2004. Available from :http://www.pcd.go.th/,[Accesed 2004 September].

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, รวมกฎหมายสิ่งแวดล้อมสำหรับผู้ปฏิบัติ, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2546.

พรพิมล กองทิพย์, **สุขศาสตร์อุตสาหกรรม**, ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2543

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, **สุขศาสตร์อุตสาหกรรมพื้นฐาน**, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัย, 2542

คนกรัตน์ ศิริพานิชกร, **การเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์จุลชีพในอากาศ**, ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2540.

RION Co.,ltd, Instruction Manual Sound Level Meter NL-21/NL-31, Tokyo, Japan.

AES Laboratory, Instruction Manual Sample' Air MK2, France.