

บทที่ 2

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับห้องสะอาด

เทคโนโลยีการผลิตต่าง ๆ ในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาและก้าวหน้าไปมากโดยได้มีการนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาใช้ในอุตสาหกรรมมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการควบคุมสิ่งปนเปื้อนในอากาศภายใต้สภาวะแวดล้อมที่สะอาด หรือห้องสะอาด (Cleanroom) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสูง ห้องสะอาดจึงต้องปราศจากฝุ่นละอองใด ๆ เกือบทั้งหมด เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนในอากาศจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการผลิต ผลิตภัณฑ์ หรือการให้บริการได้

2.1 ความหมายของห้องสะอาด

ห้องสะอาด หมายถึง ห้องที่มีการออกแบบ การก่อสร้าง และการใช้งาน ที่มีการควบคุมจำนวนอนุภาค และปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และความดันอากาศ ให้เป็นไปตามชนิดและมาตรฐานของห้องสะอาดนั้น ๆ นอกจากนั้น จะต้องมีการเฝ้าระวังโดยการติดตามตรวจสอบ ความสะอาดของห้องให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตลอดระยะเวลาการใช้งาน

2.2 คุณสมบัติเฉพาะของห้องสะอาด

คุณสมบัติเฉพาะของห้องสะอาด ประกอบด้วย ความสะอาด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดัน และปัจจัยอื่น ๆ ดังนี้

1. ความสะอาด จะพิจารณาจากปริมาณหรือจำนวนอนุภาคภายในห้อง ซึ่งอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเกิดจากภายนอกห้องที่ถูกนำเข้ามาโดยปะปนมากับอากาศขาเข้า (supply air) และการไหลเวียนของอากาศในระบบปรับอากาศ และอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยมาจากเครื่องจักร การผลิต และบุคคลที่ทำงานภายในห้องสะอาด

2. อุณหภูมิ สำหรับห้องสะอาดที่เหมาะสมจะขึ้นกับความต้องการของกระบวนการผลิต และข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน การผลิต และผลิตภัณฑ์ โดยห้องสะอาดทั่วไปจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20 - 25 °C

3. ความชื้นสัมพัทธ์ สำหรับห้องสะอาดที่เหมาะสมจะขึ้นกับความต้องการของกระบวนการผลิต และข้อกำหนดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเช่นเดียวกับอุณหภูมิ เนื่องจากในบางกรณี

ถ้าในห้องสะอาดมีความชื้นสูงอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายในห้องนั้นจะเกิดสนิมได้ หรือผลิตภัณฑ์บางชนิดที่สามารถดูดความชื้นได้ง่ายอาจส่งผลให้คุณสมบัติหรือคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป ในทางตรงกันข้ามหากค่าความชื้นต่ำก็จะเกิดประจุไฟฟ้าสถิตในวัสดุ หรือชิ้นส่วนทำให้เกิดปัญหามลภาวะติดกันได้ โดยทั่วไปความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ในช่วง $50 \pm 10\%$

4. ความดัน เป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบห้องสะอาด ซึ่งโดยปกติควรรักษาความดันในห้องสะอาดให้เป็นบวก (positive pressure) เสมอ เพราะความดันภายในห้องที่สูงกว่าความดันภายนอกจะมีผลในการผลักดันไม่ให้อากาศสกปรกจากภายนอกเข้ามาภายในห้องได้ โดยสามารถควบคุมความดันภายในห้องได้โดยมีทางเข้า-ออกที่ปิดมิดชิด และมีพัดลมเป่า (air shower) เพื่อดันลมออกไป ป้องกันไม่ให้อนุภาคเข้ามาปนเปื้อนในห้อง

5. ปัจจัยอื่น ที่มีผลต่อการทำงานของบุคลากรและอุปกรณ์เครื่องมือที่มีอยู่ภายในห้องสะอาด ได้แก่ ความสว่าง ระดับเสียง และความสั่นสะเทือน

2.3 หลักการของห้องสะอาด

หลักการที่สำคัญของห้องสะอาดมี 4 ประการ คือ

1. การป้องกันอนุภาคและมลสารจากภายนอกเข้าไปในห้อง ซึ่งมีแนวทางดังนี้
 - กรองอากาศที่ผ่านเข้ามาในห้องด้วยฟิลเตอร์ที่เหมาะสม
 - รักษาความดันบวกภายในห้อง
 - ผู้ปฏิบัติงานควรทำความสะอาดโดยผ่านฝักบัวอากาศก่อนเข้าห้องสะอาด
 - วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ต้องทำความสะอาดก่อนผ่านเข้าห้องสะอาด
2. การป้องกันการสะสมของอนุภาคและมลสารภายในห้อง ซึ่งมีแนวทางดังนี้
 - พื้นผิวห้อง เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ ควรทำด้วยวัสดุและรูปทรงที่ทำความสะอาดได้ง่าย
 - พื้นผิวและผนังห้องต้องสะดวกต่อการทำความสะอาด ไม่สะสมฝุ่น
 - การทำความสะอาดห้องต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด
3. การป้องกันการก่อให้เกิดอนุภาคและมลสารภายในห้อง ซึ่งมีแนวทางดังนี้
 - ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมชุดสำหรับห้องสะอาดเมื่อเข้าไปภายในห้องสะอาด
 - ผู้ปฏิบัติงานไม่ควรเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วถ้าไม่จำเป็นขณะปฏิบัติงาน
 - วัสดุของพื้น ผนัง และฝ้าเพดาน ต้องไม่เป็นวัสดุที่ทำให้เกิดอนุภาคและมลสาร

- วัสดุของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต้องไม่เป็นวัสดุที่ทำให้เกิดอนุภาคและมลสาร

4. หากมีอนุภาคและมลสารเกิดขึ้นภายในห้องต้องรีบกำจัดออกไปทันที ซึ่งมีแนวทางดังนี้

- อัตราการเปลี่ยนอากาศ (Air change) ของห้องสะอาดควรเหมาะสมที่จะทำให้เป็นไปตามระดับชั้นของความสะอาดที่ต้องการ

- ควรมีการหมุนเวียนอากาศบางส่วนออกสู่ภายนอกเพื่อลดสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้น

- ควรติดตั้งระบบดูดอากาศเป็นจุด ๆ ในบริเวณที่มีการกระจายของอนุภาคฝุ่นผงมาก

2.4 ชนิดของห้องสะอาด

2.4.1 แบ่งตามลักษณะการไหลของอากาศ ได้ดังนี้

1. ห้องสะอาดที่มีการไหลของอากาศแบบทั่วไป (Conventional Clean Room) การไหลของอากาศเหมือนกับระบบปรับอากาศที่ใช้ทั่วไป แต่ใช้ HEPA filter และจำนวนครั้งของการเปลี่ยนอากาศมากกว่า เพื่อลดความสกปรกในห้อง ห้องสะอาดแบบนี้จะมีระดับความสะอาดมาตรฐาน ISO ประมาณ Class 6 หรือตามมาตรฐานของ Federal Standard ประมาณ Class 1,000 ขึ้นไป

2. ห้องสะอาดที่มีการไหลของอากาศตามแนวนราบ (Horizontal Laminar Clean Room) ลมที่ความเร็วคงที่ จะไหลผ่าน HEPA filter ที่ติดตั้งเต็มพื้นที่ผนังห้องด้านหนึ่งผ่านเข้าสู่ห้องสะอาดแล้วถูกดูดกลับขึ้นด้านบนเพดาน กลับไปสู่เครื่องเป่าลม ห้องชนิดนี้จะมีระดับความสะอาดตามมาตรฐาน ISO ประมาณ Class 5 - 6 หรือตามมาตรฐานของ Federal Standard ประมาณ Class 100 - 1,000 ขึ้นไป นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา

3. ห้องสะอาดที่มีการไหลของอากาศตามแนวตั้ง (Vertical Laminar Flow Clean Room) ห้องนี้จะติดตั้ง HEPA filter เต็มเพดานโดยอากาศจะถูกส่งลงจากเพดานผ่าน HEPA filter ในแนวตั้ง และลมจะกลับผ่านพื้นที่ทำให้โปรงแล้วกลับสู่เครื่องเป่าลมเย็น มีระดับความสะอาดตามมาตรฐาน ISO ประมาณ Class 5 หรือตามมาตรฐานของ Federal Standard ประมาณ Class 100 ในทางปฏิบัติเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

2.4.2 แบ่งตามลักษณะการใช้งาน ได้ดังนี้

1. Industrial Clean Room เป็นห้องสะอาดที่ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ อิเลคทรอนิกส์ Microchip อุตสาหกรรมการผลิตสี พลาสติก และสารเคมีต่าง ๆ

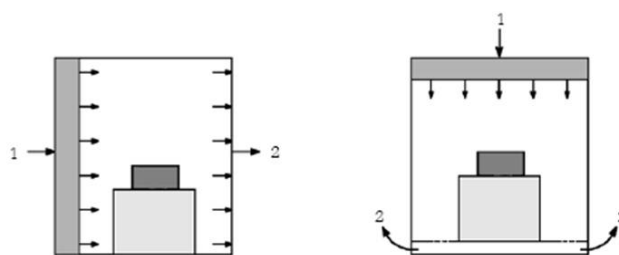
2. Biological Clean Room เป็นห้องสะอาดที่ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตยา ห้องปฏิบัติการทางด้านชีววิทยา ห้องผ่าตัด เพื่อควบคุมปริมาณเชื้อแบคทีเรีย ความดันอากาศในห้องจะต้องสูงกว่าความดันอากาศห้องข้างเคียง เพื่อป้องกันมิให้สิ่งสกปรกจากห้องข้างเคียงไหลเข้าสู่ห้องสะอาด

3. Biohazard Clean Room เป็นห้องสะอาดที่ใช้กับห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับ เชื้อโรคไวรัสหรือสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยความดันอากาศในห้องจะต้องต่ำกว่าความดัน อากาศห้องข้างเคียง เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อหรือสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ออกไป ปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมภายนอก

2.5 รูปแบบการไหลของอากาศ

รูปแบบการไหลของอากาศ (Airflow patterns) มีความสำคัญต่อการออกแบบห้องสะอาดให้ได้ตามระดับความสะอาดที่ต้องการ ลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องสะอาดมี 3 รูปแบบ คือ การไหลของอากาศแบบราบเรียบ การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน และการไหลของอากาศแบบผสม ดังนี้

2.5.1 การไหลของอากาศแบบราบเรียบ (Unidirectional airflow หรือ Laminar airflow) มีลักษณะการไหลของอากาศแบบราบเรียบ ดังภาพที่ 2.1 โดยอากาศที่ผ่านแผงกรองจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ขนานกันในแนวระดับหรือแนวตั้ง มุ่งไปยังฝั่งตรงข้ามกับห้อง และผ่านช่องลมกลับเพื่อกลับไปยังระบบควบคุมอากาศ หรือชุดส่งลม (air handling system)



Unidirectional airflow

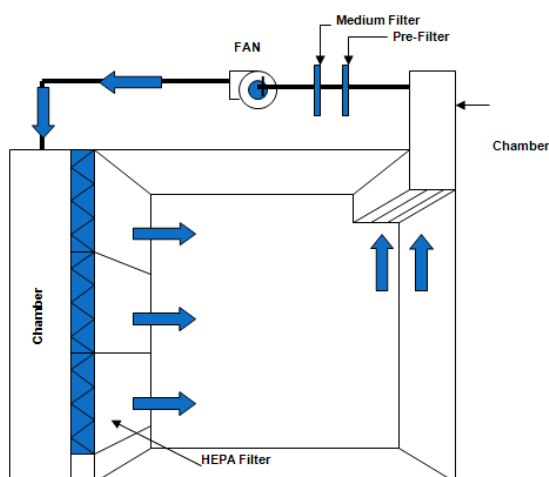
หมายเหตุ: 1 คือ supply air และ 2 คือ return air

ภาพที่ 2.1

การไหลของอากาศแบบราบเรียบ [17]

การไหลของอากาศแบบราบเรียบ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวระดับ (horizontal laminar airflow หรือ cross airflow type) บริเวณที่อยู่ใกล้กับแผ่นกรองอากาศจะสามารถรักษาความสะอาดได้สูง ส่วนบริเวณใกล้กับทางลมกลับความสะอาดจะลดลง เนื่องจากอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน และอุปกรณ์การผลิต มักใช้กับห้องสะอาดทางชีววิทยาที่ไม่จำเป็นต้องรักษาความสะอาดให้สม่ำเสมอเท่ากันทั้งห้อง ดังภาพที่ 2.2

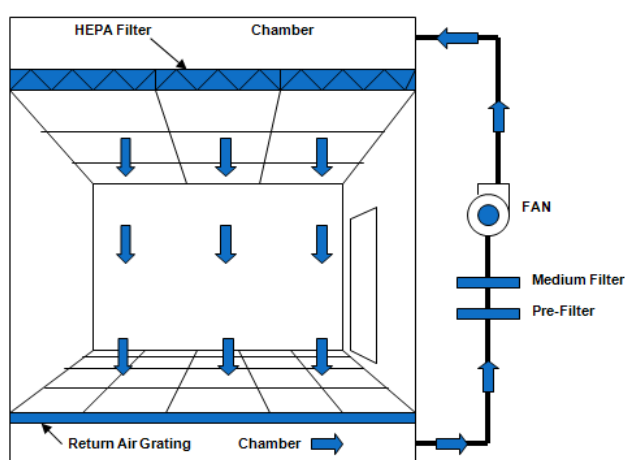


ภาพที่ 2.2

การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวระดับ

ที่มา : <http://ndn.co.th/Clean%20Rooms.html>

2. การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวดิ่ง (vertical laminar airflow หรือ down airflow type) ฝ้าเพดานประกอบด้วยตัวกรองอากาศทั้งหมด ส่วนบริเวณพื้นห้องจะยกสูงขึ้นและมีลักษณะตะแกรงให้อากาศไหลกลับ (return air) การไหลของอากาศเป็นแบบราบเรียบจากฝ้าลงสู่พื้นในทิศทางเดียวกัน อนุภาคที่เกิดขึ้นจากการทำงานจะถูกอากาศพาลงสู่ใต้พื้นห้อง จึงทำให้สามารถรักษาความสะอาดในห้องได้เท่ากันทุกแห่ง มักใช้กับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังภาพที่ 2.3

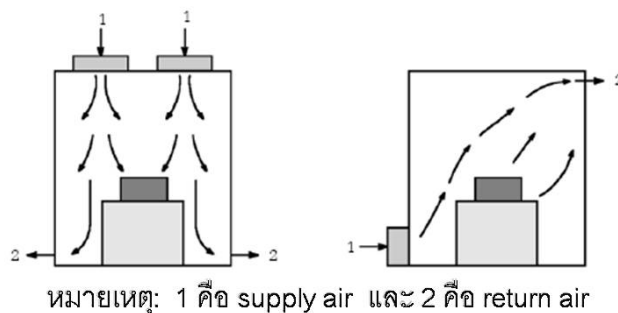


ภาพที่ 2.3

การไหลของอากาศแบบราบเรียบในแนวดิ่ง

ที่มา : <http://ndn.co.th/Clean%20Rooms.html>

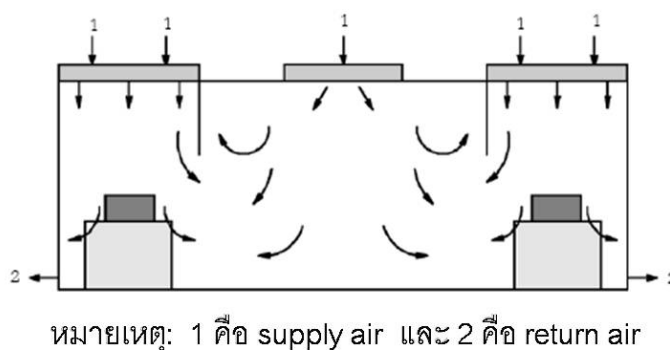
2.5.2 การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Non unidirectional airflow หรือ turbulent mixed airflow) เป็นรูปแบบที่ใช้กันโดยทั่วไป อนุภาคที่เกิดขึ้นภายในห้องจะถูกทำให้เจือจางลงโดยอากาศสะอาดที่ออกมาจากแผ่นกรองอากาศทำให้ความสะอาดของห้องเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน ระดับของความสะอาดจึงสูงกว่าแบบราบเรียบ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4

การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน [17]

2.5.3 การไหลของอากาศแบบผสม (mixed airflow) เป็นรูปแบบการไหลของอากาศภายในห้องสะอาดที่มีทั้งแบบราบเรียบ และแบบปั่นป่วนอยู่ในห้องเดียวกัน ดังภาพที่ 2.5



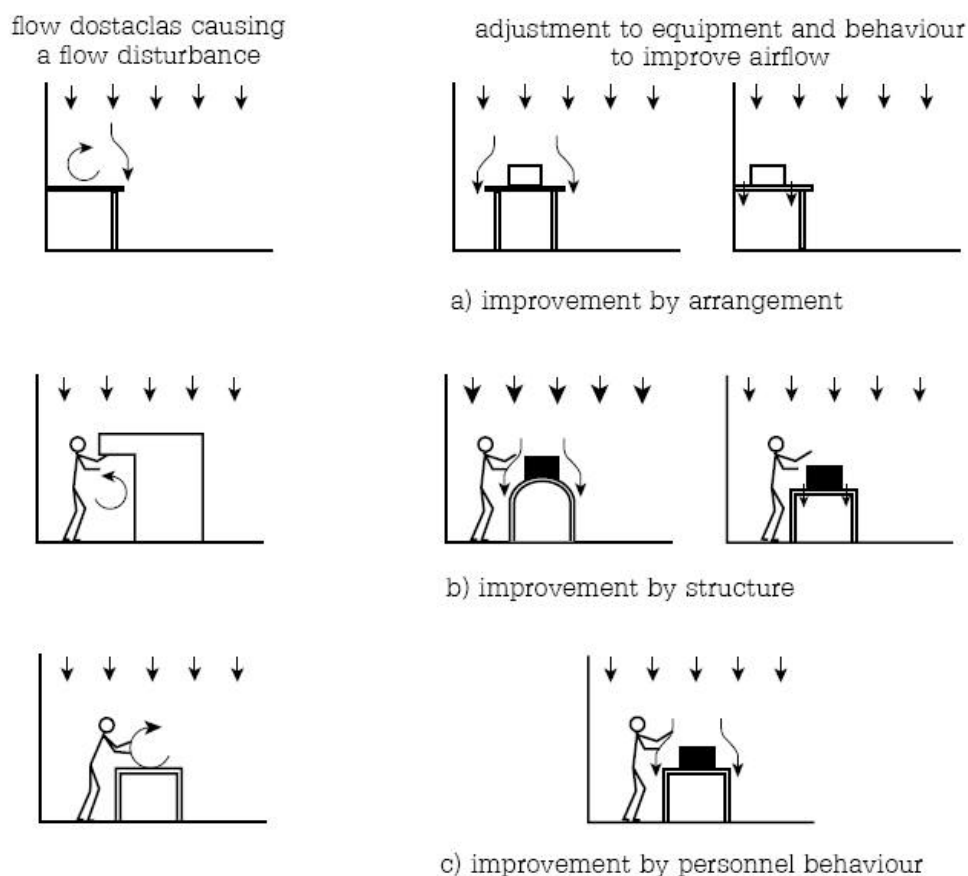
ภาพที่ 2.5

การไหลของอากาศแบบผสม [17]

2.6 การออกแบบการวางอุปกรณ์เบื้องต้น

ในห้องสะอาดที่มีการไหลแบบราบเรียบ ในการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ภายในห้อง จะต้องระมัดระวังการกีดขวางทางกายภาพที่จะก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนในบางจุดได้ สิ่งกีดขวาง ได้แก่ อุปกรณ์ เครื่องจักรในกระบวนการผลิต วิธีปฏิบัติงาน การเคลื่อนไหวของผู้ปฏิบัติงาน และการเคลื่อนย้ายผลผลิต ดังนั้น จึงต้องมีการพิจารณาพื้นฐานทางด้านอากาศพลศาสตร์ เพื่อป้องกันการปั่นป่วนของอากาศภายในห้อง โดยเฉพาะบริเวณที่มีกิจกรรมที่มีความอ่อนไหวต่อการ

ปนเปื้อนสูง มาตรการที่เหมาะสมจะต้องนำมาใช้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของอากาศและการปนเปื้อนระหว่างจุดทำงานที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.6 ทางด้านซ้ายแสดงถึงอิทธิพลของสิ่งกีดขวางทางกายภาพ ส่วนทางด้านขวาเป็นมาตรการที่เหมาะสมในการลดผลกระทบที่เกิดจากสิ่งกีดขวางเหล่านี้



ภาพที่ 2.6

อิทธิพลของสิ่งกีดขวางทางกายภาพ และมาตรการที่เหมาะสม
ในการลดผลกระทบที่เกิดจากสิ่งกีดขวาง [17]

2.7 อุปกรณ์สำหรับห้องสะอาด

ภายในห้องสะอาดมีอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้อยู่ 2 กลุ่ม คือ อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ คือ ตัวกรองอากาศ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในห้องสะอาด ได้แก่ ฝักบัวอากาศ แอร์ลิค กล้องส่งผ่าน เป็นต้น

2.7.1 อุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศ

สิ่งปนเปื้อนในอากาศมีทั้งของแข็ง ของเหลว ก๊าซ และจุลินทรีย์ต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากอากาศภายในห้องสะอาดเพื่อป้องกันการสะสมของสิ่งปนเปื้อนบนผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิต ระบบการกรองอากาศ (air filtration systems) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของห้องสะอาด ระบบการกรองอากาศที่จำเป็นพื้นฐานจะต้องมี 3 ขั้นตอน คือ

1. การกรองขั้นต้น (prefiltering) เพื่อให้มั่นใจว่าอากาศภายนอกมีคุณภาพดีพอที่จะนำเข้าสู่ระบบจ่ายอากาศสู่เครื่องปรับอากาศ
2. การกรองขั้นที่สอง (secondary filtering) เป็นการกรองในเครื่องปรับอากาศ เพื่อกรองอากาศก่อนเข้าตัวกรองตัวสุดท้าย เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของตัวกรองขั้นสุดท้าย
3. ตัวกรองตัวสุดท้าย (final filtering) เป็นการกรองครั้งสุดท้ายก่อนจ่ายอากาศเข้าห้องสะอาด

ตัวกรองอากาศ มี 2 ชนิดคือ ตัวกรองอากาศแบบ HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) และตัวกรองอากาศแบบ ULPA (Ultra Low Penetration Air Filter)

ตัวกรองอากาศแบบ HEPA ทำโดยใช้เส้นใยแก้ว (glass fibers) ส่วนตัวกรองอากาศแบบ ULPA มีราคาแพงกว่าและมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ HEPA โดยแผ่นกรองอากาศทำจากสารโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene; PTFE) มีอัตราส่วนระหว่างช่องว่างกับตัวเส้นใยมากกว่าตัวกรองอากาศแบบ HEPA ดังนั้น จึงสามารถกรองอากาศโดยให้อากาศสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้อย่าง่าย แต่ยังคงดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากได้ ประสิทธิภาพของตัวกรองอากาศแบบ ULPA ในการดักจับอนุภาค 0.3 ไมครอน โดยทั่วไปคือ ร้อยละ 99.999 ส่วน HEPA ร้อยละ 99.97

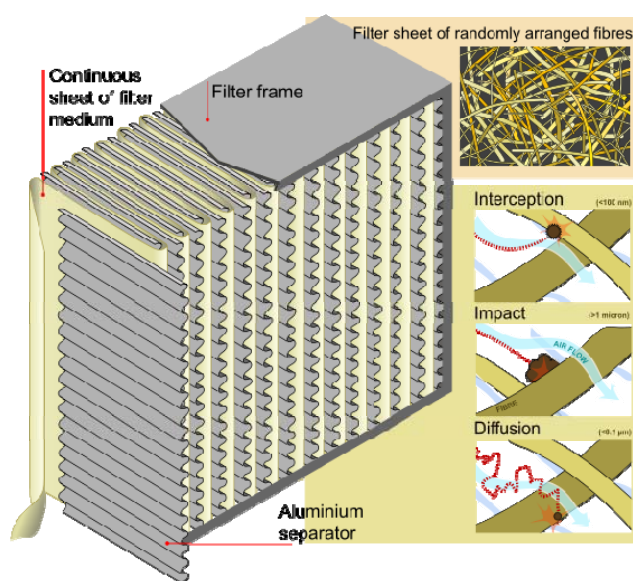
กลไกการดักจับอนุภาคของตัวกรองอากาศ คือ เมื่ออากาศ ไหลผ่านตัวกรองอากาศกลไกที่สำคัญในการจับอนุภาคที่ปนเปื้อนมากับอากาศ คือ การสกัดกั้น (interception) การกระทบ (impaction) การแพร่ (diffusion) และการลอดผ่านหรือการกรองออกโดยตรง (sieving หรือ straining)

ลักษณะเฉพาะของตัวกรองอากาศลักษณะเฉพาะที่สำคัญของการกรองอากาศแบบ HEPA และ ULPA ที่ใช้เป็นตัวประเมินค่าสมรรถนะของตัวกรองอากาศมีอยู่ 3 ประการ คือ

1. ประสิทธิภาพในการดักจับอนุภาค (dust holding capacity หรือ collective efficiency) จะแสดงถึงปริมาณของฝุ่นที่ตัวกรองสามารถกรองไว้ได้ตั้งแต่ต้นจนกระทั่งตัวกรองตัน มีหน่วยเป็นน้ำหนักของฝุ่น เช่น กรัม

2. ความต้านทานอากาศไหล (airflow resistance) คือ ค่าความดันตกคร่อม (pressure drop) ของแผ่นกรองอากาศ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรน้ำ ค่าความดันต้านทานอากาศไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการใช้งานของตัวกรองเพราะว่าอนุภาคต่าง ๆ ที่ตัวกรองอากาศดักจับไว้จะสะสมอยู่บนผิวหน้าของตัวกรอง และจะเป็นตัวขัดขวางการไหลของอากาศจนในที่สุดตัวกรองจะมีค่าความดันตกคร่อมถึงค่าสูงสุดที่ระบบขับเคลื่อนอากาศไหลจะสามารถทำได้ ดังนั้น เมื่อถึงตอนนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนตัวกรองอากาศใหม่ หรือทำความสะอาดตัวกรอง

3. อายุการใช้งาน คือ ระยะเวลาที่ความดันตกคร่อมตัวกรองอากาศเพิ่มขึ้นจากความดันตกเริ่มแรกจนถึงค่าความต้านทานอากาศไหล ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณ และธรรมชาติของอนุภาคที่ตัวกรองอากาศดักจับไว้



ภาพที่ 2.7

ตัวกรองอากาศแบบ HEPA

ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/File:HEPA_Filter_diagram_en.svg

2.7.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในห้องสะอาด

อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับห้องสะอาดมีหลายอย่างด้วยกัน ดังนี้

1. ฝักบัวอากาศ ดังภาพที่ 2.8 ใช้ประโยชน์ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนเสื้อผ้าก่อนที่จะเข้าไปในห้องสะอาด ห้องสะอาดส่วนใหญ่มักจะติดฝักบัวอากาศ 2 แห่ง แห่งแรกจะติดที่บริเวณทางเข้าห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า และแห่งที่สองติดที่ทางเข้าห้องสะอาด ฝักบัวอากาศจะส่งอากาศสะอาดที่ผ่านการกรองแล้วไปยังหัวฉีดอากาศแล้วพ่นออกมาจากผนังด้วยความเร็ว 10-30 เมตร/วินาที ส่งผลให้อนุภาคขนาดใหญ่ที่ติดอยู่บนเสื้อผ้าหลุดออกมา ถ้าหากอากาศที่พ่นออกมาไม่สะอาด เสื้อผ้าที่ถูกเป่าจะสกปรกไปด้วย และอากาศที่พ่นออกมาแล้วจะต้องถูกนำกลับไปผ่านตัวกรองอากาศเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือปล่อยออก



ภาพที่ 2.8

ฝักบัวอากาศ

ที่มา: <http://www.innotechprod.com/air-showers.html>

ฝักบัวอากาศโดยปกติจะทำงานเป็นแอริลล็อก ซึ่งจะมีระบบล็อกประตูภายใน โดยจะกำหนดระยะเวลาในการทำความสะอาดเอาไว้เมื่อครบกำหนดเวลา เช่น 10-20 วินาทีต่อครั้งจึงจะเปิดออกมาได้แต่ต้องมีระบบบังคับเองได้ในกรณีฉุกเฉิน

ฝักบัวอากาศจะใช้ระบบล็อกสองทาง (interlock) คือ ประตูทางเข้าจะเปิดอยู่เสมอส่วนประตูทางออกจะปิดอยู่เสมอ เมื่อมีคนเข้ามาใช้ฝักบัวอากาศ และปิดประตูที่ทางเข้า

สวิตช์ทำงานของฝักบัวอากาศจะถูกกดให้ทำงานอัตโนมัติ และประตูด้านทางเข้าจะล็อคตัวเองเมื่อฝักบัวอากาศทำงานครบรอบระบบล็อคที่ประตูทางออกจะเปิดโดยอัตโนมัติ

ประสิทธิภาพของการใช้ฝักบัวสะอาดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้

- อากาศที่เข้ากับฝักบัวสะอาดต้องผ่านการทำความสะอาด หรือกรองมาอย่างดี
- ความเร็วของอากาศที่ปล่อยออกมาจะต้องเพียงพอที่จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน และสามารถจับอนุภาคที่ติดตามเสื้อผ้าออกไปได้
- หัวฉีดอากาศต้องอยู่ในตำแหน่ง และมีจำนวนที่เพียงพอที่จะเป่าให้ทั่วพื้นผิวของเสื้อผ้า
- ทำทางการย่นขณะทำความสะอาดกับฝักบัวสะอาดขณะเครื่องทำงาน ควรหมุนร่างกายให้เสื้อผ้าถูกอากาศอย่างทั่วถึงประมาณ 10-20 วินาที
- เวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดต้องเพียงพอ

2. แอร์ลิค ดังภาพที่ 2.9 เป็นห้องเล็ก ๆ ที่เปิดประตูที่ละด้านทำหน้าที่กักกันอากาศเพื่อลดการปนเปื้อนอนุภาค ฝุ่นจากภายนอกที่มีไว้ และป้องกันการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็วของความดันภายในห้องสะอาดซึ่งขึ้นอยู่กับว่าห้องสะอาดมีความดันสูงหรือต่ำกว่าภายนอก แอร์ลิคจะช่วยรักษาความดันเมื่อมีคนเข้าหรือออกจากห้องสะอาด หรือเมื่อมีการเปิดหรือปิดห้อง ขนาดของแอร์ลิคขึ้นอยู่กับการใช้งานถ้าใช้กับคนก็ต้องมีขนาดเพียงพอกับจำนวนคนที่ต้องการผ่าน แต่ถ้าใช้ในการส่งผ่านอุปกรณ์ก็สามารถออกแบบให้มีขนาดที่เหมาะสมกับอุปกรณ์นั้น ๆ ได้ ควรติดตั้งแอร์ลิคไว้ที่ทางเข้าห้องสะอาดหรือส่วนต่อเชื่อมห้องสะอาดที่ต่างความสะอาดกัน

แอร์ลิคมี 2 แบบ คือ แบบความดันเป็นบวก (positive) หรือ ความดันภายในแอร์ลิคมีค่ามากกว่าความดันภายนอก และแบบความดันเป็นลบ (negative) หรือความดันภายในแอร์ลิคมีค่าน้อยกว่าความดันภายนอก

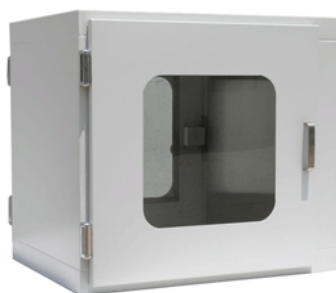


ภาพที่ 2.9

แอร์ล็อก

ที่มา: <http://www.globalspec.com>

3. กล่องส่งผ่าน ดังภาพที่ 2.10 เป็นกล่องที่ใช้สำหรับส่งหรือเคลื่อนย้ายวัตถุ ระหว่างห้องผ่านผนัง เช่น ใช้เคลื่อนย้ายวัตถุจากภายนอกเข้าสู่ห้องสะอาด หรือใช้เคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์จากห้องสะอาดออกสู่ภายนอกซึ่งจะช่วยรักษาระดับความดันภายในห้องสะอาดไว้ด้วย ขนาดของกล่องส่งผ่านขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่ต้องการเคลื่อนย้ายและควรมีช่องมองที่ทำจากวัสดุโปร่งใสเพื่อที่จะได้มองเห็นวัตถุข้างในได้และโครงของกล่องควรทำจากโลหะ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อความแข็งแรง ทั้งนี้ประตูทั้งสองด้านของกล่องส่งผ่านจะไม่สามารถเปิดพร้อมกันได้ และบางกรณีอาจมีฝักบัวอากาศรวมอยู่ในกล่องส่งผ่านด้วยเพื่อทำความสะอาดวัตถุ สิ่งของขณะส่งผ่าน

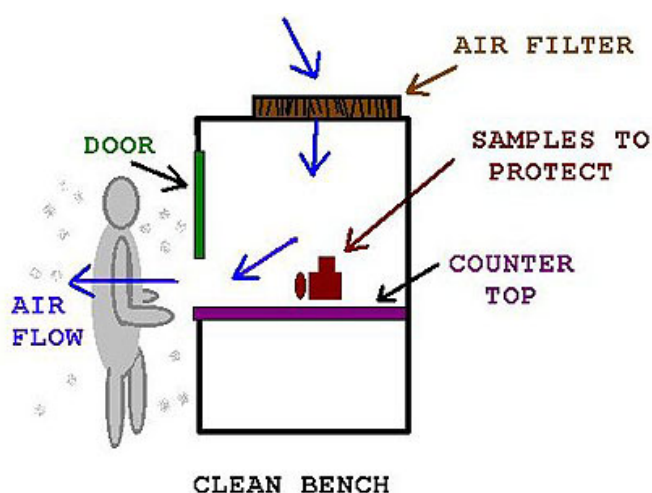


ภาพที่ 2.10

กล่องส่งผ่าน

ที่มา: http://www.rvcleans.com/pass_box.html

4. Clean bench ดังภาพที่ 2.11 เป็นโต๊ะที่มีอากาศที่สะอาดไหลผ่านโดยอาจมีทิศทางการไหลของอากาศตามแนวตั้ง (vertical flow clean bench) หรือแนวนอน (horizontal flow clean bench) และมักจะมี HEPA filter ติดอยู่ในตัวโต๊ะด้วย



ภาพที่ 2.11

Clean bench

ที่มา: <http://biology.mcgill.ca/safety/handling.htm>

5. อุปกรณ์เสริม เช่น โต๊ะและเก้าอี้สำหรับผู้ปฏิบัติงาน ชั้นวางของ รถเข็นของ ตู้เก็บของ เครื่องทำความสะอาดรองเท้า อ่างล้างมือ เครื่องทำความสะอาดมือและถุงมือ รวมทั้งเสื่อทาก (tacky mat หรือ sticky mat) ดัง ภาพที่ 2.12 ซึ่งเป็นผ้ายางที่ถูกเคลือบด้วยสารเกาะติดที่จะดูดเอาสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองออกจากใต้พื้นรองเท้า ล้อ รถเข็น หรือสิ่งที่ได้ผ่านไบนเสื่อทาก โดยตัวแผ่นทากจะเป็นชั้น ๆ สามารถลอกได้หลายครั้งมักวางไว้หน้าทางเข้าห้องสะอาด เป็นต้น



ภาพที่ 2.12

เสื้อกาว

ที่มา: <http://epwhse.net/>

2.8 การจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาด

ในการใช้ห้องสะอาด ผลิตภัณฑ์และกระบวนการต่าง ๆ จะต้องเหมาะสมกับลักษณะของสิ่งแวดล้อมภายใต้การควบคุมในห้อง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาดตามมาตรฐานซึ่งโดยหลักที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ Federal Standard 209 และ ISO 14644-1: 1999

2.8.1 การจำแนกระดับชั้นความสะอาดตาม Federal Standard 209 เป็นมาตรฐานของห้องสะอาดที่จัดพิมพ์เผยแพร่เป็นครั้งแรกในสหรัฐอเมริกาใน ค.ศ. 1963 มาตรฐานนี้ได้แบ่งห้องสะอาดออกเป็นระดับชั้น (class) โดยแบ่งตามอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่าที่ยอมให้มีได้ในอากาศต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรลูกบาศก์ฟุต ต่อมาได้มีการปรับปรุงมาตรฐานนี้ใน ค.ศ. 1966 (209A), 1973 (209B), 1987 (209C), 1988 (209D) และ 1992 (209E) ตามลำดับ โดยได้มีการใช้หน่วยเมตริก เช่น ต่อลูกบาศก์เมตร ด้วย ดังตารางที่ 2.1 แสดงการจำแนกระดับชั้นความสะอาดที่ปรับปรุงใหม่ใน ค.ศ. 1992 (Federal Standard 209E Airborne Particulate Cleanliness Classes)

เมื่อเปรียบเทียบกับ ISO 14644-1: 1999 เนื่องจากปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จะเทียบเท่าประมาณ 35 ลูกบาศก์ฟุต ทั้ง 2 มาตรฐานจะใกล้เคียงกันมากที่สุดเมื่อวัดอนุภาคขนาด

0.5 ไมครอน สำหรับอากาศในห้องทั่วไปจะมีระดับความสะอาดประมาณ class 1,000,000 หรือ ISO 9

ตารางที่ 2.1

การจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาดตาม Federal Standard 209E

Class	maximum particles/ft ³					ISO equivalent
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥5 μm	
	35	7	3	1	-	ISO 3
10	350	75	30	10	-	ISO 4
100	-	750	300	100	-	ISO 5
1,000	-	-	-	1,000	7	ISO 6
10,000	-	-	-	10,000	70	ISO 7
100,000	-	-	-	100,000	700	ISO 8

ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cleanroom>

จากตารางที่ 2.1 นั้น ห้องสะอาดชั้นต่าง ๆ จะมีความหมาย ดังต่อไปนี้

- Class 10 หมายถึง ห้องที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่า ไม่เกิน 10 อนุภาคต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต
- Class 100 หมายถึง ห้องที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่า ไม่เกิน 100 อนุภาคต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต
- Class 1,000 หมายถึง ห้องที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่า ไม่เกิน 1,000 อนุภาคต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต
- Class 10,000 หมายถึง ห้องที่มีอนุภาคขนาด 0.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่า ไม่เกิน 10,000 อนุภาคต่ออากาศหนึ่งลูกบาศก์ฟุต

อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน Federal Standard 209E นี้ได้ถูกยกเลิกอย่างเป็นทางการ โดย The General Services Administration of the US Department of Commerce ใน

ค.ศ. 2001 แต่ปัจจุบัน (ค.ศ. 2008) ยังคงมีการใช้มาตรฐานดังกล่าวอยู่อย่างกว้างขวางเนื่องจากห้องสะอาดที่ออกแบบและก่อสร้างในอดีตได้อ้างอิงไว้ รวมถึงเป็นความเคยชินกับมาตรฐานดังกล่าวของผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้ออกแบบ ผู้ใช้ และผู้ขายอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับห้องสะอาด

2.8.2 การจำแนกระดับชั้นความสะอาดตาม ISO 14644-1: 1999 เนื่องจากมาตรฐานของห้องสะอาดมีหลายมาตรฐานซึ่งกำหนดโดยแต่ละประเทศ ใน ค.ศ. 1999 องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (The International Organization for Standardization; ISO) จึงได้ออกมาตรฐาน ISO 14644-1: 1999 สำหรับใช้เป็นมาตรฐานสากลในการจำแนกระดับชั้นของห้องสะอาดทั่วโลก เพื่อขจัดปัญหาความแตกต่างของมาตรฐานห้องสะอาดของแต่ละประเทศ โดยระดับชั้นความสะอาดของห้องตามมาตรฐานนี้ แบ่งเป็น 9 ระดับ ดังตารางที่ 2.2 และภาพที่ 2.13 ในการแบ่งระดับของความสะอาดนี้อาศัยพื้นฐานจากจำนวนอนุภาค กับค่าสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของจำนวนอนุภาคต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศ ตามสมการที่ (2.1)

$$C_n = 10^N \times \left[\frac{0.1}{D} \right]^{2.08} \quad (2.1)$$

เมื่อ C_n คือ ค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ของอนุภาคที่แขวนลอยในบรรยากาศที่มีขนาดเท่ากับ หรือใหญ่กว่าขนาดของอนุภาคที่พิจารณา

N คือ ตัวเลขระดับชั้นของความสะอาด (1-9)

D คือ ขนาดของอนุภาคมีหน่วยเป็นไมครอน

0.1 คือ ค่าคงที่

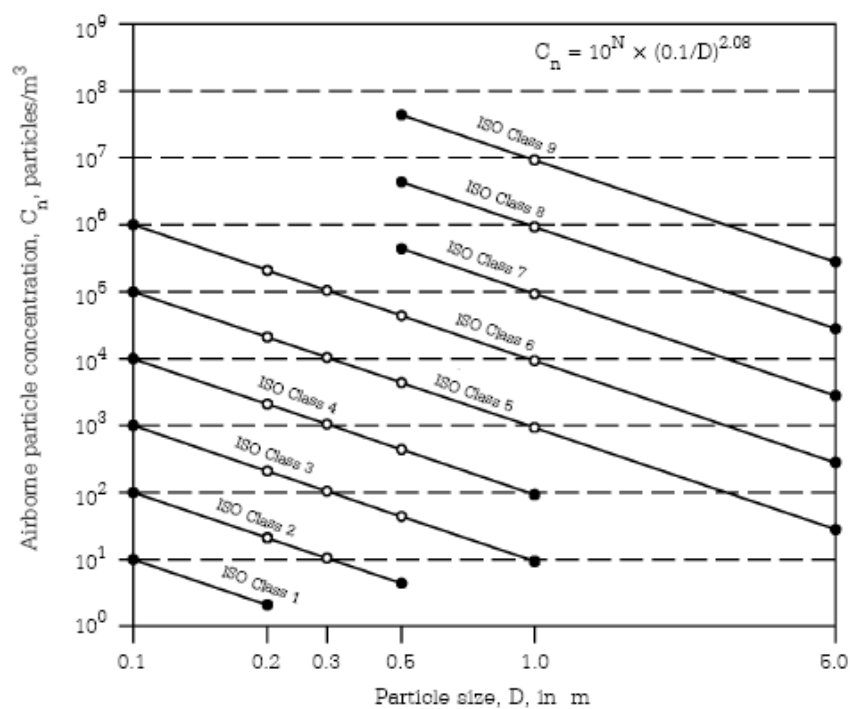
ตารางที่ 2.2

การจำแนกระดับชั้นความสะอาดของห้องสะอาดตาม ISO 14644-1: 1999

Class	maximum particles/m ³						FED STD 209E equivalent
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm	
ISO 1	10	2					
ISO 2	100	24	10	4			

Class	maximum particles/m ³						FED STD 209E equivalent
	≥0.1 μm	≥0.2 μm	≥0.3 μm	≥0.5 μm	≥1 μm	≥5 μm	
ISO 3	1,000	237	102	35	8		Class 1
ISO 4	10,000	2,370	1,020	352	83		Class 10
ISO 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29	Class 100
ISO 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293	Class 1000
ISO 7				352,000	83,200	2,930	Class 10,000
ISO 8				3,520,000	832,000	29,300	Class 100,000
ISO 9				35,200,000	8,320,000	293,000	Room air

ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/Cleanroom>



ภาพที่ 2.13

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นความสะอาด

ขนาดของอนุภาคและความเข้มข้นของอนุภาค [17]