



# หลักการ

ใน

## การจัดทำห้องสะอาด (Cleanroom) สำหรับอุตสาหกรรม



อังสนา อัจฉรรณ

### ปัจจุบันประเทศไทยมี

การพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมไปอย่างรวดเร็ว มีการนำเทคโนโลยีขั้นสูงมาใช้ในอุตสาหกรรมมากขึ้น ซึ่งอุตสาหกรรมบางประเภทจำเป็นต้องใช้สภาวะแวดล้อมที่สะอาดในกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ดังนั้นเทคโนโลยีทางด้านห้องสะอาด (cleanroom technology) จึงถูกนำมาเกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศเพื่อใช้ควบคุมสภาวะแวดล้อมสำหรับห้องสะอาด เช่น การควบคุมปริมาณอนุภาคภายในห้อง ซึ่งมีหลายชนิดปนเปื้อนอยู่ เช่น ฝุ่น อนุภาคของแข็ง ละอองของเหลว และจุลินทรีย์ การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน ระดับเสียง

### ห้องสะอาด (cleanroom)

หมายถึง ห้องที่ได้รับการปรับสภาวะอากาศ อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และติดตั้งระบบกรองอากาศเป็นพิเศษ ให้สะอาดปราศจากฝุ่นในระดับจุลภาคหรือจุลชีพซึ่งมีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.5 ไมครอน จุลภาคดังกล่าว เช่น ครวบน้ำมัน ครว้นบูรี และครว้นอื่นๆ ฝุ่นในบรรยากาศที่ไม่ตก แבקที่เรีย และ

### ไวรัสบางชนิด

ลักษณะพื้นฐานของห้องสะอาดคือ

1. ป้องกันอนุภาคจากภายนอกเข้าไปในห้องสะอาด ดังนี้
  - ตัวกรองที่มีประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในห้องสะอาดต้องไม่ปล่อยอนุภาคออกมา
  - ควบคุมความดันในห้องให้คงที่
  - วัสดุและเครื่องมือที่จะนำเข้าไปในห้องสะอาดต้องทำความสะอาดก่อน
  - บุคคลที่จะเข้าห้องสะอาดต้องทำความสะอาดร่างกาย เปลี่ยนเสื้อผ้า และรองเท้านก่อน

### ดังนี้

2. ป้องกันการสร้างหรือผลิตอนุภาคและมลสารภายในห้องสะอาด
  - บุคคลที่อยู่ในห้องสะอาดต้องสวมเครื่องแต่งกายชนิดที่ปราศจากอนุภาค
  - วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในห้องสะอาดต้องไม่ผลิตอนุภาค
  - ไม่เคลื่อนย้ายวัสดุและเครื่องมือต่างๆ โดยไม่จำเป็น
  - ไม่นำสิ่งของที่จำเป็นหรือไม่ใช้เข้าไปในห้องสะอาด

3. ป้องกันการสะสมอนุภาคและมลสารภายในห้องสะอาด ดังนี้
  - มีโปรแกรมการทำความสะอาดเป็นประจำและสม่ำเสมอ
  - ท่อหรือสายต่างๆ ที่ต่อในห้องต้องจัดวางอย่างมิดชิด
  - เครื่องมือและบริเวณโดยรอบที่วางเครื่องมือต้องง่ายต่อการทำความสะอาด

4. หากมีอนุภาคและมลสารเกิดขึ้นภายในห้องสะอาดต้องรีบกำจัดออกทันที ดังนี้

- เพิ่มอัตราการถ่ายเทอากาศเมื่อมีอนุภาคเข้าไปในห้อง
- ปรับอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสม
- วัสดุและเครื่องมือควรอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดอนุภาค

มาตรฐานที่ใช้เกี่ยวกับห้องสะอาดได้แก่ มาตรฐานการปนเปื้อนของพื้นที่ควบคุม (Standard for Contamination Control Area) ซึ่งสำคัญและนิยมใช้กันทั่วไปมีดังนี้

1. U.S. Federal Standard : FS 209E,1992 : Airborne Particulate Cleanliness Classes in Cleanrooms and Clean Zones. ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา และได้กำหนดระดับความสะอาดสูงสุดไว้คือ Class 1 ซึ่งจะมีอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปจำนวน 1 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต

2. British Standard : BS 5292,1989 : Environmental Cleanliness in Enclosed Spaces. ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศอังกฤษ และได้กำหนดระดับความสะอาดสูงสุดไว้คือ Class C ซึ่งจะมีอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.3 ไมครอนขึ้นไปจำนวน 100 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร

3. German Standard : VDI 2083 part1,1990 : Clean Room Engineering-Fundamentals, Definitions and Determination of Cleanliness Classes. ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศเยอรมัน และได้กำหนดระดับความสะอาดสูงสุดไว้คือ Class 0 ซึ่งจะมีอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.3 ไมครอน ขึ้นไปจำนวน 14 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร

4. Japanese Standard : JIS B 9920,1989 : Measuring Methods for Airborne Particles in Clean Rooms and Evaluating Methods for Air Cleanliness of Clean Rooms. ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น และได้กำหนดระดับความสะอาดสูงสุดไว้คือ Class 1 ซึ่งจะมีอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปจำนวน 0.35 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร

5. ISO Standard : ISO14644-1,1999 : Cleanrooms and Associated controlled environments, Part1: Classification of air cleanliness. ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล ได้กำหนดระดับความสะอาดสูงสุดไว้คือ ISO1 ซึ่งจะมีอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมครอนขึ้นไปจำนวน 10 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร

การเปรียบเทียบระดับความสะอาดของห้องสะอาดตามมาตรฐานต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานระดับความสะอาดสำหรับห้องสะอาด

Country	USA		British	Germany	Japan	
Guide-lines (Issue)	FS 209E		BS 5295 <sup>3</sup>	VDI 2083 <sup>4</sup>	JIS B 9920 <sup>5</sup>	ISO 14644-1 <sup>6</sup>
	SI <sup>1</sup>	Engl. <sup>2</sup>		Sheet 1		
Cleanliness class	M1.5	1	C	0	1	1
	M2.5	10	D	1	2	2
	M3.5	100	E	2	3	3
	M4.5	1000	G	3	4	4
	M5.5	10000	J	4	5	5
	M6.5	100000	K	5	6	6
			M	6	7	7
			7	8	8	8
				9	9	9

1 : การวัดจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปต่อลูกบาศก์เมตร  
 2 : การวัดจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปต่อลูกบาศก์ฟุต  
 3 : การวัดจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปต่อลูกบาศก์ฟุต  
 4 : การวัดจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมครอนขึ้นไปต่อลูกบาศก์เมตร  
 5 : การวัดจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมครอนขึ้นไปต่อลูกบาศก์เมตร  
 6 : การวัดจำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปต่อลูกบาศก์เมตร



จากตารางถึงแม้แต่ละประเทศจะกำหนดมาตรฐานต่างกัน แต่ระดับความสะอาดของแต่ละมาตรฐานเท่าเทียมกันหรือใกล้เคียงกัน เช่น ห้องสะอาดตามมาตรฐาน US Federal Standard 209E, 1992 ซึ่งนิยมใช้กันแพร่หลาย มีรายละเอียดดังนี้

1. Class 1 : จำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปที่นับได้ต้องไม่เกิน 35.3 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร (1 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

2. Class 10 : จำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปที่นับได้ต้องไม่เกิน 353 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร (10 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

3. Class 100 : จำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปที่นับได้ต้องไม่เกิน 3,530 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร (100 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

4. Class 1000 : จำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปที่นับได้ต้องไม่เกิน 35,300 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร (1000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

5. Class 10000 : จำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปที่นับได้ต้องไม่เกิน 353,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร (10000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

6. Class 100000 : จำนวนอนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.5 ไมครอนขึ้นไปที่นับได้ต้องไม่เกิน 3,530,000 อนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร (100000 อนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุต)

อย่างไรก็ตามการสร้างห้องสะอาดไม่ได้คำนึงถึงปริมาณอนุภาคในห้องสะอาดเพียงอย่างเดียว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานด้วย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานFederal Standard 209E, 1992

Class	อนุภาค		ความดันภายในห้อง (มม. น้ำ)	อุณหภูมิ (°C)	% ความชื้นสัมพัทธ์	ปริมาตรหมุนเวียนอากาศ	ความเข้มของการส่องสว่าง (ลักซ์)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมครอน)	จำนวนอนุภาคใน 1 ลบ.ฟุต					
100	≥ 0.5	≤ 100	> 1.25	19.4 - 25 ± 2.8	30 - 45 ± 10	Lamination Flow 0.45 ± 0.1 m/s	1080-1620
1000	≥ 0.5 ≥ 5.0	≤ 1000 ≤ 7					
10000	≥ 0.5 ≥ 5.0	≤ 10000 ≤ 65				Convention Flow ≥ 20 ครั้งต่อ ชม.	
100000	≥ 0.5 ≥ 5.0	≤ 100000 ≤ 700					

โดยทั่วไปห้องสะอาดสามารถแบ่งตามลักษณะการหมุนเวียนของอากาศภายในห้องได้ 3 แบบ ดังนี้

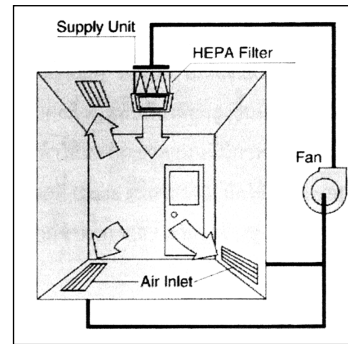
1. แบบเทอร์บูเลนต์ (Turbulent Mixed Flow) ห้องสะอาดแบบนี้มีลักษณะการหมุนเวียนอากาศคล้ายกับระบบปรับอากาศทั่วไป เพียงแต่เพิ่มการกรองอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เพิ่มตัวกรอง HEPA (HEPA Filter) และเพิ่มจำนวนครั้งของการเปลี่ยนอากาศ เพื่อลดความสกปรกในห้อง โดยห้องสะอาดแบบนี้จะจัดอยู่ใน Class 1000 ถึง 100000 ค่าก่อสร้างไม่สูงมาก ค่าใช้จ่ายในการใช้งานต่ำกว่าประเภทอื่น การบำรุงรักษาทำได้ง่าย ดังรูปที่ 1

2. แบบการหมุนเวียนอากาศชนิดลามินาร์ในแนวนอน (Horizontal Laminar Flow, Cross Flow) ห้องสะอาดแบบนี้มีหลายรูปแบบ เช่น U-Shape Design, W- Shape Design, C-Shape Design, L-Shape Design ลักษณะการหมุนเวียนอากาศขึ้นกับการออกแบบว่าเป็นลักษณะใด โดยภาพรวมอากาศจะถูกส่งผ่านตัวกรอง HEPA ด้วยความเร็วคงที่เข้ามาในห้อง และถูกดูดกลับเข้าตัวกรองซึ่งอยู่อีกด้านหนึ่ง โดยห้องสะอาดแบบนี้จะจัดอยู่ใน Class 100 ถึง 1000 มักใช้ในงานทางชีววิทยา เช่น ห้องผ่าตัด อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และห้องทดลองทั่วไป ค่าก่อสร้างสูง ค่าใช้จ่ายในการใช้งานสูง การบำรุงรักษาทำได้ง่าย ดังรูปที่ 2

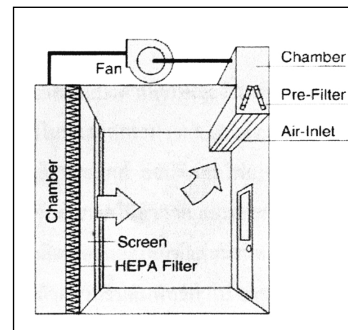
3. แบบการหมุนเวียนอากาศชนิดลามินาร์ในแนวตั้ง (Vertical Laminar Flow, Down Flow) ห้องสะอาดแบบนี้จะติดตั้งตัวกรอง HEPA เต็มเพดานห้องและจะมีการหมุนเวียนอากาศ จากเพดานผ่านตัวกรอง HEPA ในแนวตั้งด้วยความเร็วคงที่ ลงสู่พื้นห้องที่ยกสูงขึ้นมาอีกชั้นหนึ่ง และมีลักษณะเป็นตะแกรงให้อากาศถูกดูดกลับเข้าตัวกรอง ซึ่งจะทำให้ห้องสะอาดแบบนี้มีการปนเปื้อนน้อยที่สุด เป็นลักษณะของห้องสะอาดที่ดีที่สุด เหมาะสำหรับห้องสะอาดที่ Class ต่ำกว่า 100 มักใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำ และอุตสาหกรรมผลิตสารกึ่งตัวนำขนาดเล็กมากจำพวก VLSI ค่าก่อสร้างสูง ค่าใช้จ่ายในการใช้งานสูง การบำรุงรักษาทำได้ง่าย ดังรูปที่ 3

นอกจากนี้ห้องสะอาดยังแบ่งตามลักษณะงานหรือลักษณะอุตสาหกรรมได้ 2 ประเภท ดังนี้

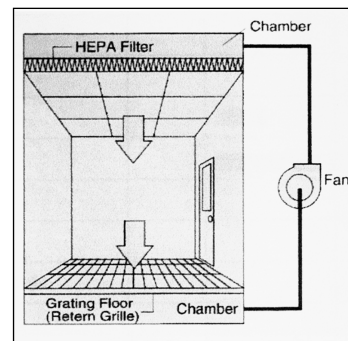
1. ห้องสะอาดที่ใช้ในอุตสาหกรรม (industrial cleanrooms) เป็นห้องสะอาดที่ใช้ในอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ นาโนอิเล็กทรอนิกส์ ออปติคอลลิโอฟเบอร์ การพิมพ์ การผลิตฟิล์มถ่ายรูป คอมพิวเตอร์ ซึ่งหลักการจะเน้นที่การกำจัดอนุภาคในอากาศ และการควบคุมสภาวะต่างๆ ภายในห้องให้เหมาะสม กับลักษณะงาน กระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เช่น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินไป อาจทำให้ชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์เกิดสนิม แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำไป อาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตในชิ้นส่วนนั้นได้ ความดันในห้องสะอาดควรเป็นบวกเสมอ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากอนุภาคภายนอก ระดับชั้นความสะอาดของห้องจะต่างกัน ขึ้นกับประเภทของอุตสาหกรรม ดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 1 ห้องสะอาดแบบเทอร์บูเลนต์



รูปที่ 2 ห้องสะอาดแบบการหมุนเวียนอากาศชนิดลามินาร์ในแนวนอน



รูปที่ 3 ห้องสะอาดแบบการหมุนเวียนอากาศชนิดลามินาร์ในแนวตั้ง



ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของประเภทอุตสาหกรรมและระดับชั้นความสะอาดของห้องที่ใช้

ประเภทอุตสาหกรรม	ระดับชั้นความสะอาด(cleanliness class) ตามมาตรฐาน U.S. Fed. Std. 209E			
	Class 100	Class 1000	Class 10000	Class 100000
ผลิต IC	██████████			
ประกอบ IC		██████████		
ผลิตสารกึ่งตัวนำ		████████████████████		
ประกอบสารกึ่งตัวนำ		████████████████████		
ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์			████████████████████	
คอมพิวเตอร์				████████████████████
ดาวเทียม	██████████			
เครื่องวัดการบิน	████████████████████			
อุปกรณ์ไฮดรอลิก			████████████████████	
เครื่องจักรความเร็วสูง				██████████
เครื่องพิมพ์ที่มีความละเอียดสูง				████████████████████
เครื่องจักรประสิทธิภาพสูง			████████████████████	
เครื่องจักร				████████████████████
ฟิล์ม			████████████████████	
ห้องซักผ้าปราศจากฝุ่น			████████████████████	

2. ห้องสะอาดที่ใช้ในงานทางชีววิทยา (Biological Clean-rooms) เป็นห้องสะอาดที่ใช้ในอุตสาหกรรมด้านชีววิทยาต่างๆ (เช่น การผลิตยา อาหาร) ห้องผ่าตัด ห้องไอซียู หอผู้ป่วยที่มีระบบภูมิคุ้มกันอ่อนแอในโรงพยาบาล ห้องปฏิบัติการทางชีววิทยา ซึ่งห้องสะอาดแบบนี้จะเน้นที่

การควบคุมจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานสำหรับห้องสะอาดประเภทนี้โดยเฉพาะ ส่วนใหญ่อ้างอิงมาตรฐานขององค์การนาซา (NASA)

ห้องสะอาดเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมในเรื่องกระบวนการผลิตพื้นฐานที่ต้องการเพิ่มผลผลิต ลดการสูญเสียระหว่างการผลิต ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร ลดต้นทุน และสินค้าที่ผลิตได้ต้องมีคุณภาพดี สม่าเสมอ ซึ่งปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลต่อสิ่งเหล่านี้คือ อนุภาคที่สามารถมองเห็นและไม่สามารถมองเห็น การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการควบคุม ต้องคำนึงถึงสภาวะแวดล้อมของห้องสะอาดสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทด้วย ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มผลผลิตและลดปริมาณของเสียได้อย่างคุ้มค่า

## เอกสารอ้างอิง

Kozicki, M.N., Hoenig, S.A.; and Robinson, P.J. **Cleanrooms, facilities and practices**. New York : Van Nostrand Reinhold, 1990, p.1-71.

Matts Ramstorp. **Introduction to contamination control and cleanroom technology**. Weinheim : Wiley, 2000, p.61-76.

Takasago Thermal Engineering. **Clean room**. Chiyoda-ku : Tokyo, 1996, p.1-6,12.

Whyte, W. **Cleanrooms design**. Chichester : Wiley, 1999, p.27-35, 46.

สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. **ห้องสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมและพาณิชย์กรรม**. กรุงเทพฯ : ออฟเซ็ท ครีเอชั่น, 2521. หน้า 5-18.