

청정실의 공기순환방식

Air Circulation Type of Clean Room

이 춘 식*
C. S. Lee

1. 머리말

科學文明의 급속한 發達로 인하여 産業이 高度化되고, 人間生活이 向上됨에 따라 生産工程이 이루어지거나 環境汚染이 問題가 되는 作業環境을 특별하게 管理할 必要性이 대두되게 되었다. 淸淨室은 粒子가 汚染源이 되어 製品의 性能과 수율에 影響을 끼치는 半導體, 電子, 精密機械, 生命工學, 新素材 등 尖端産業에 必須的으로 要求되는 淸淨한 生産環境을 提供하는 특수한 施設이다. 尖端産業의 선도적인 역할을 하고 있는 半導體 産業은 급격한 技術發展으로 인하여 現在 0.1 μm 정도의 微粒子를 制御해야 되는 초정정 淸정실이 요구된다.

淸淨室은 한마디로 그 성격을 規定짓기에는 매우 複雜한 施設이며, 淸淨室 計劃時에는 空氣의 淸淨度 뿐만 아니라 空氣循環方式, 공정기기의 淸정도, 生産品의 隔離, 高순도 化學物質의 使用과 같은 複雜한 要素들을 모두 고려하여야 사용자가 요구하는 性能을 만족하면서 편리하게 쓸수 있는 淸정실을 建設할 수 있다. 세부적인 예로 空氣循環方式에는 作業區域의 급기방식 및 순환공기량, 부대구역의 급기방식, 공기순환통로, 여과, 분기, 기류속도, 기류의 方向, 生産品의 隔離 정도 등을 고려한다.

國內産業의 發展으로 인하여 國內 淸정실 시장이 계속 증대됨에 따라 關聯業體도 수십개에 이르러 國內 淸정실 技術도 括目할만한 진전이 있었으며, 1986년에 淸정실 關聯業體와 研究所가 參與하는 한국공기淸정연구조합이 결성되어 國內 淸정실 技術의 開發, 定立 및 普及을 效果的으로 遂行하고 있다.

淸淨室 需要가 半導體, 電子, 精密機器 分野에서 醫學, 藥品, 食品 등으로 擴大되고 多樣化됨에 따라 要求條件에 맞는 淸淨室을 效率的으로 建設하기 위해서는 設計者, 施工者 製造裝置 製作者 뿐만 아니라 使用者도 淸淨室에 대한 基本的인 事項을 충분히 把握할 必要가 있다. 따라서 이 글에서는 淸淨室에 관한 초보자를 위해서 淸淨室 技術에 관한 最近의 外國文獻¹⁻³⁾에 나와있는 淸淨室의 種類와 選擇方法 및 淸淨室의 循環空氣를 取扱하는 방식에 대하여 소개하고자 한다.

2. 淸淨室의 種類와 選擇方法

2.1 淸淨室 選擇時 考慮事項

淸淨室을 計劃하는데 있어 고려되어야 할 事項들은 다음과 같으며, 各 項目의 重要度는 使用者의 要求條件에 따라 달라진다.

① 淸淨度: 製造工程에 適合한 淸淨度 選定

* 정회원, 한국과학기술연구원 연구기획부

- ② 製造工程：製造工程의 順序
- ③ 效率性：粉塵除去能力, 清淨度 回復性能, 隣接作業間의 交叉汚染程度
- ④ 變換性：製造工程의 變化에 유연하게 대처할 수 있는 程度
- ⑤ 信賴性：清淨室의 實際 運轉時間과 最大 運轉時間의 比
- ⑥ 接近性：作業者의 出入, 材料, 裝備의 搬入, 搬出이 용이한 程度
- ⑦ 擴張性：追加的으로 要求되는 공간을 擴張시킬 수 있는 程度
- ⑧ 移動性：다른 場所로 쉽게 移動할 수 있는 程度
- ⑨ 作業者의 便安함
- ⑩ 費用：建設費, 運轉 및 維持費, 減加償却費로 區分됨
- ⑪ 製作期間

2.2 清淨室의 種類

2.2.1 垂直層流方式 (vertical laminar flow type): 그림 1

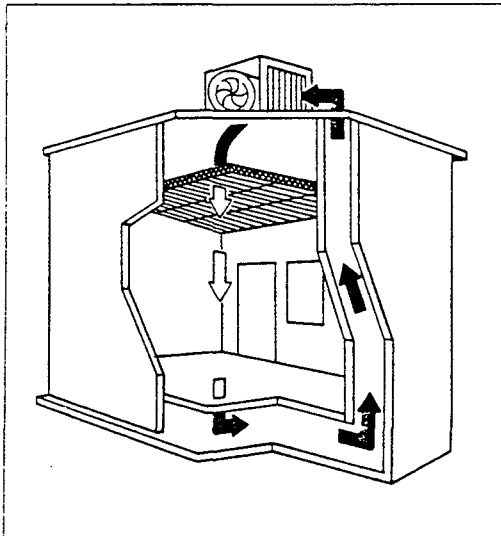


그림 1. 垂直層流方式 清淨室

수직층류방식은 作業空間 上部 천정을 가능한 한 100% 가까이 HEPA 필터로 덮는 방식이며, 순환공기는 팬에 의해 바닥 아래 공간으로부터 필터 상부의 덕트나 플레넘을 통

해 필터로 供給된다. 冷却은 2차 空調裝置 또는 1차 空調裝置의 回열 冷却코일에 의해 이루어진다. 필터 하부의 氣流速度는 보통 30~50 cm/sec이며, 난류를 減少시키기 위하여 해당 清淨室에는 보통 1가지의 특정속도가 選擇된다.

수직층류방식은 初期費用 및 運轉費用이 많이 들지만 變換性, 信賴性, 接近性, 效率性은 여기에서 소개하는 清淨室 중에서 가장 우수하다. 清淨空間의 擴張性은 機械裝置가 있는 附帶空間의 位置와 크기에 달려 있으며, 이러한 부대공간은 일반적으로 清淨空間에 隣接하여 있다. 수직층류방식의 清淨室의 크기는 보통 90 m² 이상이므로 移動性은 制限된다. 그리고 作業者는 清淨空間의 最高性能을 維持시키기 위하여 清淨室內에서 무진복을 입고 作業해야 한다.

2.2.2 水平層流方式 (horizontal laminar flow type): 그림 2

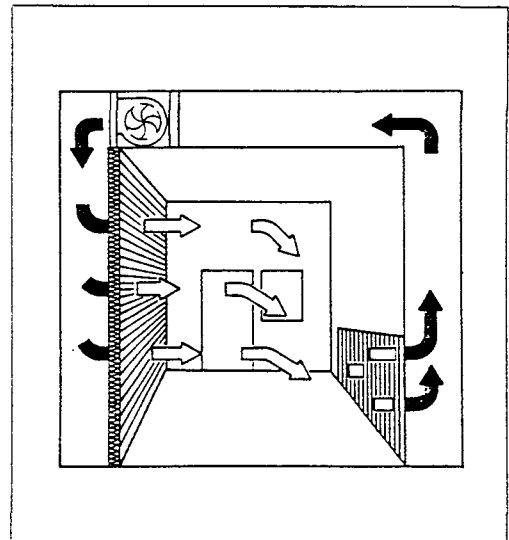


그림 2. 水平層流方式 清淨室

수평층류방식은 수직층류방식을 90° 돌려 놓은 것으로 HEPA 필터가 한쪽 壁面 全體에 設置되어 맞은편 壁으로 空氣를 순환시키는 방식이다. 수평층류방식의 清淨室에서는 공기가 방을 가로질러 移動하므로 중간에 있는 汚染源 (作業者나 生産기기 등)에 의해 쉽게 汚染되

기 때문에 淸淨室 全體를 1가지 淸淨度 등급으로 定義하기에는 困難하다. 기류속도는 50~70cm/sec로 수직층류방식에 비해 약간 빠르다.

수평층류방식은 바닥面積에 비해 壁面面積이 작으므로 HEPA 필터가 적게 들며, 이중바닥이 필요없으므로 수직층류방식에 비해 費用이 적게 든다. 그러나 空氣가 下流로 내려갈수록 汚染度가 增加하므로 이 방식은 電子産業에서 거의 사용되지 않는다.

2.2.3 混合垂直流動方式(hybrid vertical flow type)

수직층류방식과 비슷하지만 천정에 附着되는 필터수가 적다. 生産工場에서는 汚染에 민감한 工程은 一定區域에서 이루어지도록 하므로, HEPA 필터를 이 區域 바로 위에만 設置하여 初期費用과 運轉費用을 줄이는 방식이다. 다른 長點으로는 HEPA 필터를 새로운 工程에 맞게 再配置시킬 수 있다는 것이다. 기류속도는 40~60 cm/sec로 필터가 附着되지 않은 隣接地域으로의 擴散으로 인해 수직층류방식보다는 약간 빠르지만, 기류속도가 빠르다고 해서 效率이 나쁜 것은 아니며, 全體的인 유량 감소로 인해 初期費用 및 運轉費用이 줄어든다.

2.2.4 터널層流方式(tunnel laminar flow type): 그림 3

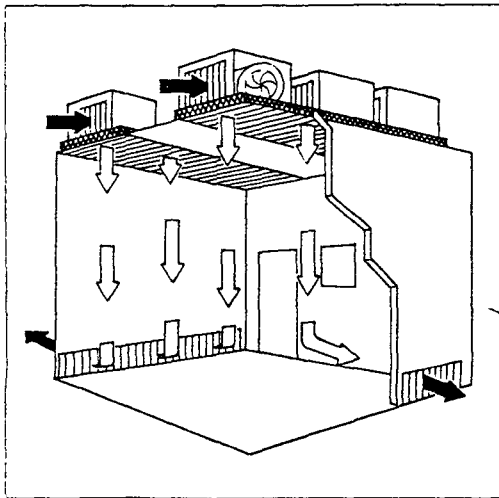


그림 3. 터널層流方式 淸淨室

터널층류방식은 移動性 및 擴張性을 좋게 한 수직층류방식의 縮小型이라고 말할 수 있다. 이 시스템은 보통 멀리 떨어진 工場에서 製作되어 必要로 하는 곳에 輸送되어 組立되는 것으로, 淸淨室이 完成되는데 所要되는 時間이 적으며(8~12주), 生産工程에 피해를 거의 주지 않고 시스템을 이동하거나 再配置시킬 수 있다.

幅은 3~5m 정도로 制限되며, 이중바닥을 사용하지 않고도 運轉할 수 있다. 冷却은 中央裝置에서 供給되는 冷却水 또는 自體內의 裝置에 의해 이루어진다. 構造物의 量이 많으므로 수직층류방식에 비해 坪當 初期費用이 많이 들지만, 生産工程을 유용한 공간에 집중시킬 수 있어서 全體費用은 상대적으로 적어진다.

2.2.5 Tabletop 터널層流方式(tabletop tunnel laminar flow type): 그림 4

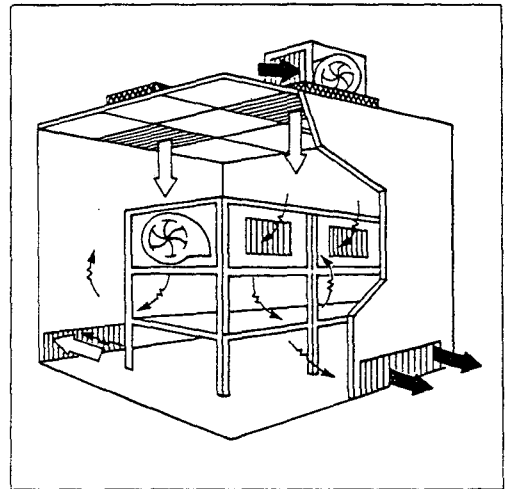


그림 4. Tabletop 터널層流方式 淸淨室

터널층류방식의 變形이며, 1차공기(순환공기)는 작업대 상부로부터 作業者가 앉아 있는 tabletop으로 供給되고, 冷却, 가슴 또는 제습처리된 2차공기는 HEPA 필터를 통해 작업대를 둘러싸고 있는 공간으로 供給된다. 이 시스템의 장점으로는 순환공기량의 減少, 모듈화에 의한 좋은 擴張性, 뛰어난 移動性, 作業者의 편안함을 들 수 있다. 短點으로는 作業空間에 한계가 있어 生産物(組立物)의 크기

에 制限이 있고, 지지대가 工程의 흐름을 방해할 수가 있으며, 工程 順序度가 작업대가 일직선에 놓여 있다는 점에 의해 制限된다는 것이다.

주위가 淸淨空間인 경우 이 시스템의 初期費用은 터널층류방식의 경우와 비슷하나 HEPA필터수가 적으므로 運轉費用은 적게 든다.

2.2.6 局所層流方式(island laminar flow type):그림 5

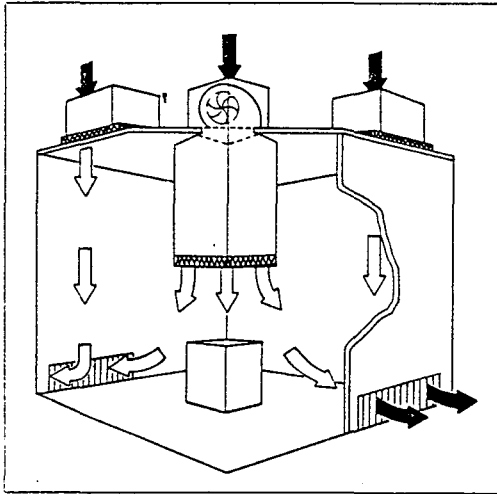


그림 5. 局所層流方式 淸淨室

국소층류방식은 混合垂直流動方式과 tabletop 터널층류방식의 조합으로 필터를 거친 淸淨空氣를 특정 작업대에 집중시키는 방식이다. 이 방식은 tabletop 터널층류방식의 모든 長點뿐만 아니라 이동을 방해하는 지지대가 없다는 長點도 갖고 있다. 그러나 生産工程이 바뀌면 새로운 裝備配置에 맞게 천정구조를 바꾸어야 하는 단점이 있다. 이 시스템의 設置費用은 수직층류방식의 경우와 비슷하나 HEPA 필터수가 적으므로 運轉費用은 적게 든다.

2.2.7 單獨作業臺(unitary work station):그림 6

이 裝置는 클린벤치라고도 부르며, 주로 연구, 生産品 開發 또는 적은 量의 生産工程에 적합하다. 淸淨空氣를 供給하는 HEPA 필터가 단독 작업대의 뒷면(水平流動)이나 윗면(垂直流動)에 位置한 tabletop 작업대로 볼 수 있

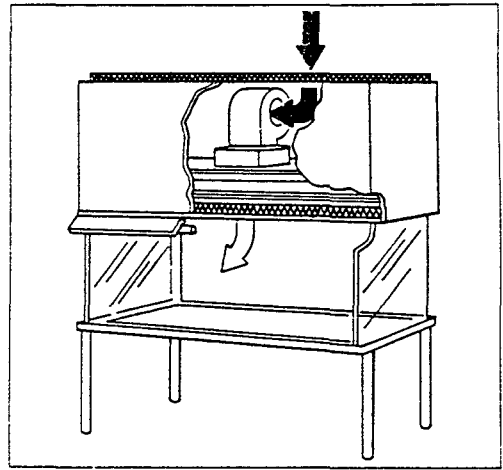


그림 6. 單獨作業臺

으며, 3면이 막혀있는 構造로 되어 있다. 이 裝置의 長點은 淸淨度 回復時間이 짧고, 作業者에 대한 制限이 적으며, 移動性, 擴張性이 좋다. 기류속도는 可變風速制御器에 의해 보통 50 cm/sec로 維持된다.

많은 部品들이 所要되므로 單位 面積當 費用이 다른 방식에 비해 많이 든다. 그리고 다중 벤치를 設置한 경우에는 팬-모터로부터 생기는 熱을 除去하기 위해 外部로부터의 冷却이 必要하다.

2.2.8 移動型 垂直層流方式(portable vertical laminar flow type):그림 7

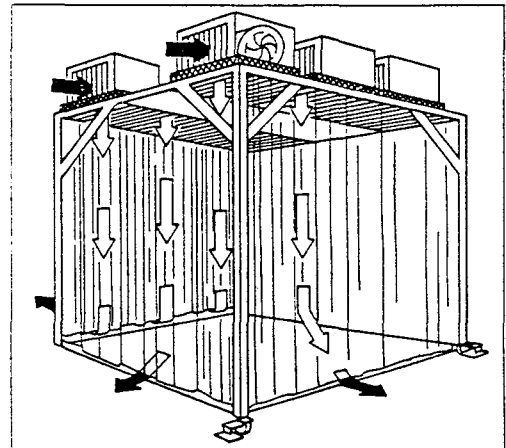


그림 7. 移動型 垂直層流方式 淸淨室

단독 작업대의 變形이 移動型 수직층류방식이다. 移動시키는 바닥面積은 3.5×7.0m까지 可能하며, 지지대 밑에는 로울러를 設置하여 자유로운 移動이 可能하도록 한다. 공기는 상부 플레넘에서 HEPA 필터를 통해 供給되고, 裝置의 垂直側面은 작업공간내를 청정공기로 維持시키기 위해서 깨끗한 플라스틱 材料로 막혀 있다.

이 裝置의 長點은 作業者の 接近이 용이하고 構造가 단순하며 移動이 쉽다는 것이다. 필터 및 팬을 받치기 위한 構造物이 필요하기 때문에 坪당 設置費用이 수직층류방식에 비해 훨씬 많이 든다.

2.3 清淨室의 選擇方法

앞에서 소개한 清淨室 중에서 어느 것을 選擇하는가 하는 문제는 매우 중요하지만, 最적의 清淨室을 選擇하는 一律的인 방법은 없다. 그러므로 여기서는 清淨室 選擇方法의 한가지

예를 소개하고자 한다.

먼저 2.1項에서 열거한 清淨室이 가져야 하는 機能들의 각각에 適當한 加重值를 준다. 이때 이 加重值의 總和가 1이 되도록 한다. 그리고 고려되는 시스템이 이 機能에 어느 정도 만족되는가를 1~10의 數字로 評價하여 그 값을 加重值와 곱한 後, 각 項目에 대한 값의 總和로 總點을 구한다. 이 總點에 根據하여 여러 시스템 중에서 가장 適合하다고 판단되는 시스템을 選擇한다.

清淨室의 機能 중에서 變換性, 接近性, 移動性, 製作期間만을 고려할 때 3가지 시스템(터널층류방식, 단독 작업대, 이동형 수직층류방식) 중에서 適合한 시스템을 選擇하는 예를 表 1에 나타냈다. 選擇2와 選擇3의 시스템의 總점이 상대적으로 크므로 2가지 시스템에 대해 상세하게 고려하여야 하고, 選擇1 시스템은 다른 경우에 적합하다고 볼 수 있으므로 고려대상에서 除外시킨다.

表1. 清淨室 選擇方法의 例

項 目 (加 重 值)	選 擇 1 터널층류방식	選 擇 2 단 독 작 업 대	選 擇 3 이동형수직층류방식
變 換 性 (0.2)	7 (1.4)	5 (1.0)	7 (1.4)
接 近 性 (0.3)	5 (1.5)	8 (2.4)	9 (2.7)
移 動 性 (0.2)	5 (1.0)	9 (1.8)	10 (2.0)
製 作 期 間 (0.3)	6 (1.8)	9 (2.7)	9 (2.7)
總 點	5.7	7.9	8.8

效率성과 같은 項目은 수량화시키기가 困難하고, 建設費, 運轉費, 減加償却費 등이 모두 고려되어야 하지만 위와 같은 方法이 清淨室 選擇시에 고려하여야 하는 變數를 줄이는데 큰 도움을 줄 수 있을 것이다.

3. 清淨室에서 循環空氣를 取扱하는 方式

清淨室은 크게 다음과 같은 세 區域으로 區分되며 각각의 區域에서 空氣를 取扱하는 方式에 대하여 소개한다.

- ① 作業區域 : 큰 中央 空調器 또는 많은 작은 팬에 의해 清淨空氣가 供給되는 區域
- ② 附帶區域 : 獨立된 公조기 또는 中央 공

조기로부터 병렬적인 통로를 통해서 공기가 供給되거나 作業區域으로부터 循環되는 空氣가 供給되는 區域

- ③ 空氣循環通路 : 側壁이나 이중바닥의 下部 플레넘, 또는 구멍이 뚫린 公정바닥의 지하공간

3.1 作業區域의 給氣方式

작업대, 公정복도, 기타 作業空間으로 供給되는 清淨空氣는 보통 循環空氣와 누설 및 배기되는 空氣를 보충하기 위한 外氣가 混合된 것이다. 循環空氣는 일반적으로 清淨할 뿐만 아니라 溫濕度가 要求條件에 近接하기 때문에 循環空氣의 比率이 높을수록 清淨度가 증가하

고 溫濕度 制御費用도 減少된다. 많은 배기가 要求되는 化學物質을 사용하는 區域을 除外하면, 循環空氣의 比率이 보통 90% 정도에 이른다.

作業區域의 급기방식은 크게 덕트순환방식과 국부순환방식으로 區分될 수 있다.

3.1.1 덕트循環方式 : 그림 8

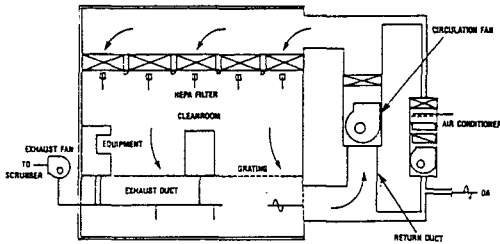


그림 8. 덕트循環方式

덕트순환방식은 보통 溫濕度 制御를 용이하게 하고 공기가 이동하는 거리를 줄이기 위해서 몇개의 區域으로 나뉘며, 區域이 작을수록 팬, 순환덕트 등이 작아진다. 이러한 區域은 化學物質의 유출, 연기, 화재 등이 발생하였을 때 격리시키는데 유용하게 사용될 수 있다.

이 방식은 初期費用이 적게 들고 循環空氣의 제어가 용이한 반면에 순환되는 空氣량이 많고 팬이 커서 덕트내의 기류속도가 빠르므로 이에 따른 壓力損失이 많아 動力費用이 많이 든다. 그리고 壓力損失을 줄이기 위해 큰 덕트를 사용하려면 큰 공간이 필요하다. 또 덕트내의 기류속도가 빠른 경우 소음과 振動의 原因이 된다.

매우 넓고 均一한 淸淨區域을 갖는 淸淨室을 새로 建設할 때는 팬의 容量이 120,000 cfm이나 되는 큰 區域도 있을 수 있으며, 이 경우 建物は 이와같이 큰 팬과 덕트를 수용할 수 있도록 設計되어야 한다. 반면에 區域이 90m² 정도로 작거나 모듈로 設置되기도 한다. 이것을 큰 공조기가 實際의이지 못한 공간에서 效果의이며 區域이 작을수록 變換성이 좋고 費用이 적어지며, 製作期間이 짧아지는 利點이 있다.

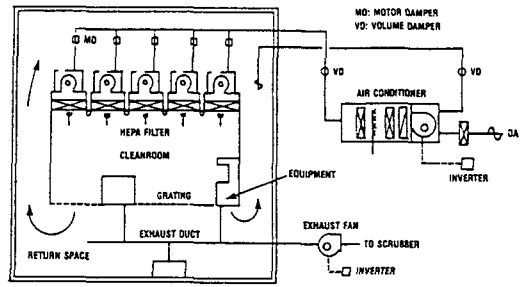


그림 9. 局部循環方式

3.1.2 局部循環方式 : 그림 9

作業區域의 공기는 국부순환장치에 의해 供給되나 통로의 공기는 여전히 全體 循環空氣와 外氣를 提供하는 中央 공조기에 의해 供給된다. 국부순환장치는 보통 통로나 附帶區域으로부터 空氣를 빨아들여 에어필터를 통해 作業區域으로 보내며, 이러한 空氣는 결국 側壁 통로를 통해 통로나 부대구역으로 순환된다.

이러한 작은 유니트를 사용하면 中央 공조기의 크기를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 여과된 고속공기를 生産이 이루어지는 국소지역에만 供給하므로 運轉費用이 減少된다. 반면에 많은 팬-모터가 공기의 흐름속에 놓여 있으므로 精密한 溫度制御에 어려움이 있다.

국부순환방식은 특별히 후드가 設置된 裝置에 適合하며, 化學工程이 包含된 裝置라면 국부순환방식이 가장 實際的인 空氣處理方式이 된다. 그런데 후드가 設置될 때 팬에 關聯된 振動, 자기장 變動, 溫濕度 制御 등의 問題가 있으므로 이 點을 잘 고려해서 적절하게 選擇하여야 한다. 그러나 불행하게도 많은 工程裝置들은 후드를 이용한 국부순환방식에 適合한 形態가 아니다. 후드를 사용하지 않는 경우에는 유해공기의 배기량을 보충하기에 충분한 空氣가 供給되어야 한다.

3.2 附帶區域의 給氣方式

循環空氣량을 결정하는 가장 중요한 因子가 부대구역의 급기방식이다. 부대구역이 초청정일 필요는 없으나 隣接한 作業區域과의 交叉 汚染을 일으키지 않을 정도로는 淸정해야 한

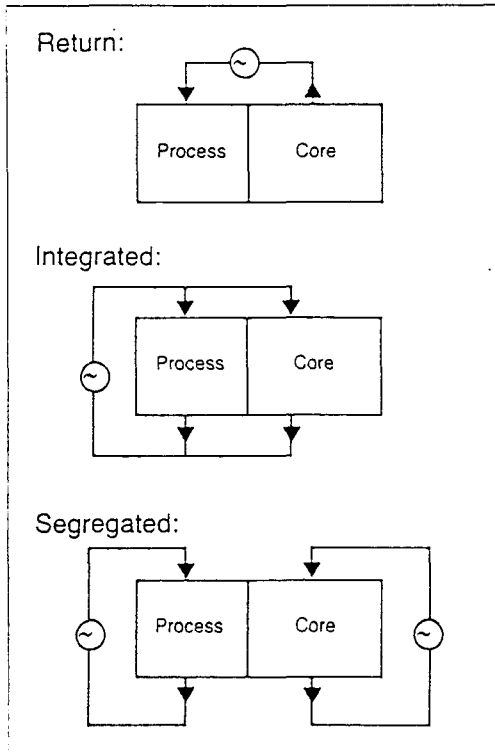


그림 10. 附帶區域의 給氣方式

다. 그림 10에서 보듯이 부대구역의 급기방식은 크게 循環型, 統合型, 分離型으로 나눌 수 있다.

3.2.1 循環型 給氣方式

循環型 給氣方式은 부대구역을 作業區域으로부터 循環되는 空氣의 플레넘으로 이용하는 방식으로 가장 이상적이다. 그러나 作業區域으로부터 부대구역으로 空氣가 循環할때 생기는 壓力差에 의해 문제가 발생한다. 보통 作業區域과 부대구역간의 壓力差는 $0.05'' \text{H}_2\text{O}$ 정도인데, 이로 인해 기기설치나 출입문에 문제가 생긴다. 즉 作業區域과 부대구역간의 출입문을 關閉할 때 作業區域內 氣流分布가 바뀌며 氣流의 난류도가 增加된다.

두번째 문제는 부대구역에 있는 진공펌프와 같은 오염원이 야기하는 汚染物을 效果的으로 除去할 수 없다는 점이다.

3.2.2 統合型 給氣方式

통합형 급기방식은 순환형 급기방식의 短點인 壓力差 문제를 해결하기 위하여 作業區域

에 연결된 급기덕트를 부대구역까지 연장시켜 부대구역에도 淸淨空氣를 供給하는 방식이다. 그러나 이 방식에는 空氣가 淸정공간의 공기와 충분히 섞일 수 있는 追加的인 공간이 필요하다.

3.2.3 分離型 給氣方式

분리형 급기방식은 부대구역에 대한 淸淨空氣 給氣시스템을 獨立的으로 만들어 全體的으로 作業區域에 대한 空氣循環 시스템과 分離시킨 방식이다. 이 방식은 壓力差 문제 및 交叉汚染의 可能性을 除去하지만, 팬과 덕트가 追加的으로 필요하다. 그리고 變換性이 淸고 費用이 많이 드는 短點이 있다.

附帶施設이 汚染이 많이 발생하는 裝置이거나 生産物이 附帶施設에서 發生하는 汚染에 影響을 많이 받는 경우에는 分離型 급기방식이 좋다.

어떤 形態의 급기방식이라도 作業區域과 附帶區域間에는 전선이나 裝置와 같은 연결이 있으며, 裝置가 두 區域間的 空氣흐름을 막거나 增加시킬 때마다 裝置의 汚染度는 增加된다.

3.3 空氣循環通路

作業區域과 附帶區域으로부터 빠져나오는 空氣를 팬으로 循環시키는 통로로 사용되는 곳은 크게 側壁, 이중바닥의 하부 플레넘, 구멍이 뚫린 공정바닥의 지하공간 등이 있다. 그림 11에 급기방식과 결합된 공기순환통로의 예를 나타냈다.

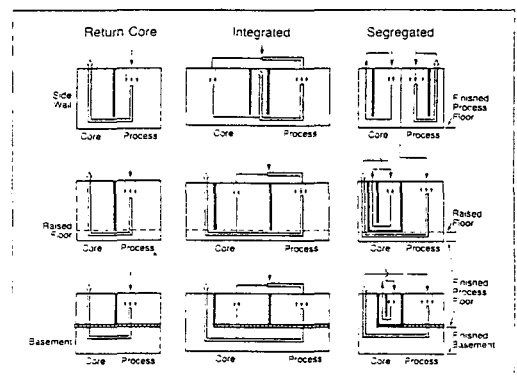


그림 11. 給氣方式과 結合된 空氣循環通路의 例

4. 맺 음 말

위에서 가장 基本的인 設計概念이 包含된 淸淨室의 特徵과 長短點에 대하여 살펴보고, 循環空氣를 取扱하는 방식의 몇 가지 例를 들었다. 실제 淸淨실 설계시에는 이런 基本的인 概念들이 淸淨室의 用途에 맞게 變形되어 나타나며, 새로운 淸淨室 設計概念도 계속 開發되고 있다. 現在 半導體 產業에서 주로 사용되는 淸淨室로는 전면수직층류방식, open bay 방식, 클린터널모듈방식, 팬 필터 유닛방식 등이 있다.

과거 10년간 汚染制御 部分에서 큰 發展이 있었으며 이는 주로 오염원에 대한 理解 및 그 豫防方法에 의한 것이었다. 어떤 形態의 淸淨室을 選擇하는가가 汚染制御의 시작이 되므로 사용자들도 淸淨室에 대한 基本的인 概念을 갖고 淸淨室 建設의 基本計劃 段階부터 參與할 수 있어야 한다. 물론 淸淨室 作業員

의 教育, 製造工程의 모니터링, 要素部品の 選擇, 部品の 淸淨方法 등도 성공적인 汚染制御의 필수적인 要素이다.

參 考 文 獻

1. Edward H. Cook, "Contamination-Free Environments for the Microelectronics Industry", Microcontamination, June 1987, pp.21-25.
2. Randall D. Isaac et al., "Cleanroom Design Options for Improved Equipment Cleanliness", Microcontamination, November 1987, pp. 36, 38-40, 42, 44-46.
3. Toshihito Takenami et al., "Total System Cost Effectiveness Must Keep Pace with Submicron Manufacturing", Microcontamination, August 1989, pp.25-32, 54, 56.