

클린룸의 청정도와 최적 환기 횟수에 대한 고찰

(Research for the relationship between clean class and effective air change rate)

장 창 익

현대건설(주) 건축기전부(chang@hdec.co.kr)

서론

클린룸은 대표적인 청정 공간으로 청정도 유지를 위해 입자의 유입, 발생 및 정체가 최소화되도록 건설 및 운영되고 있으며, 온도, 습도, 기류 등의 관련 인자들이 엄격히 제어되는 공간이다. 최근에는 산업용 클린룸뿐만 아니라, 의약품, 식료품용 생산 공정은 물론 부분적이거나 대학교, 공공기관에도 그 적용이 확대되고 있는 실정이다.

클린룸의 청정도는 첨단 기술 산업의 발달과 더불어 제품의 성능과 수율(收率) 향상을 위하여 필수적인 기술로 요구되고 있다. 특히, 반도체 생산용 클린룸 공간에서 공기 중의 부유물질에 대한 제어는 수율에 커다란 영향을 미치기 때문에 청정생산환경 구축을 위하여 분진, 가스성 오염물질 등에 대하여 엄격한 관리가 이루어지고 있다. 반도체 생산 공정이 웨이퍼(Wafer)의 대구경화, 초고집적화, 미세화가 추구됨에 따라 고도의 청정상태에 대한 요구는 더욱 엄격하게 요구되어 지고 있다. 이런 고청정도의 필요와 요구에 따라 연구소와 대학 등에서는 청정도 제어 방법 등에 대하여 다양한 연구가 진행되고 있다.

그러나 클린룸의 규모가 대형화됨에 따라 예측하지 못한 원인으로부터의 오염에 의한 수율(收率) 저하가 발생하기도 한다. 그 중의 한 예가 기밀성의 미확보로 인한 오염된 외부 공기의 유입이다. 순간적인 음압(negative pressure)이 걸릴 경우, 미세한 틈

이나 개구부를 통하여 여과되지 않은 공기가 유입되어 수율(收率)을 감소시키게 된다.

본 고에서는 클린룸 내부와 외기와의 차압에 의한 부유분진의 침입을 최소화할 수 있는 방법에 대하여 고찰하고, 기밀성과 외기 도입량 및 적정 환기 횟수를 도출하여 에너지 집약 산업인 반도체 공장에서 에너지 소비의 많은 부분을 차지하는 공기 반송 동력 및 환기 부하를 최소화할 수 있는 운전 방안을 검토하였다.

현장 측정

클린룸 개요

측정 대상의 클린룸은 건축 면적이 22,774.35 m²인 대규모 공간이다. 총 2층 건물 중 1층만 클린룸으로 사용되고 있으며, 1층의 층고는 3.0 m이다. 클린룸은 청정도에 따라 3,000 class zone과 75,000 class zone으로 면적은 각각 8,510 m², 5,155 m²이다. 그림 1은 클린룸의 평면 및 class에 따른 zone 구분을 나타낸다.

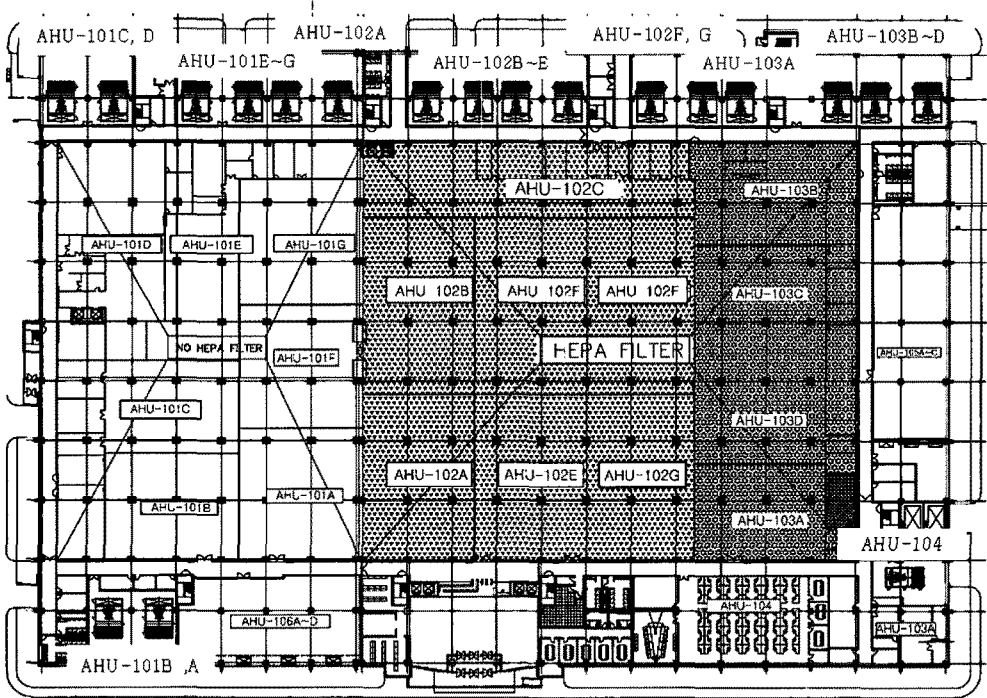
동 클린룸의 공조방식은 ceiling supply-ceiling return 방식으로 개략적인 air flow diagram은 그림 2와 같다. AHU(Air Handling Unit)로 유입된 외기는 AHU의 bag filter 및 pre-filter를 거쳐 클린룸 천정에 설치된 filter box로 보내진다. 3,000 class zone의 공기는 filter box 내의 HEPA filter(DOP 99.97%)

(0.3 μm)에 의하여 최종 여과된 후 클린룸 내부로 공급되어 청정도를 유지한다.

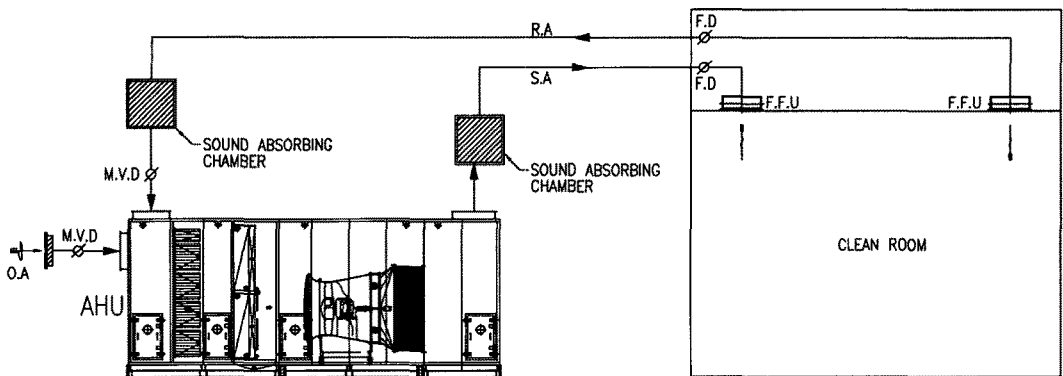
클린룸은 Package 공정을 수행하기 위한 급기, 배기, 생산 system 등이 갖추어져 있다. 클린룸 생산 line의 배기는 생산 장비에 직접적으로 연결되어 반

도체 생산 공정에서 발생하는 가스상의 화학 물질을 처리하여 외부로 배출된다. 이것은 대기로 최종 배출되기 전 습식 스크러버(wet scrubber)에서 최종 정화 및 처리하여 외부로 배출된다.

총 18대의 AHU를 설치하여 설계 환기량 50 ACH



[그림 1] 클린룸의 평면 및 class에 따른 zone 구분



[그림 2] 공조시스템과 air-flow diagram

클린룸의 청정도와 최적 환기 횟수에 대한 고찰

(Air Change rate per Hour)를 유지하고 있다. AHU의 사양은 표 1과 같으며, 배기 fan 및 scrubber의 사양은 표 2와 같다. 외기 도입량은 생산 장비의 배기량과 가압 공기량의 합으로 산정되었다.

TAB를 통한 현장 측정

현장 측정은 AHU를 가동하기 시작한 2007년 6월 25일부터 7월 3일까지 10일간 실시하였으며, TAB를 통하여 AHU(18대)와 배기 fan(6대)과 scrubber(1대,

38.8 Hz)의 풍량 측정, 구역간 차압 시험, OA량에 따른 청정도 변화를 측정하였다.

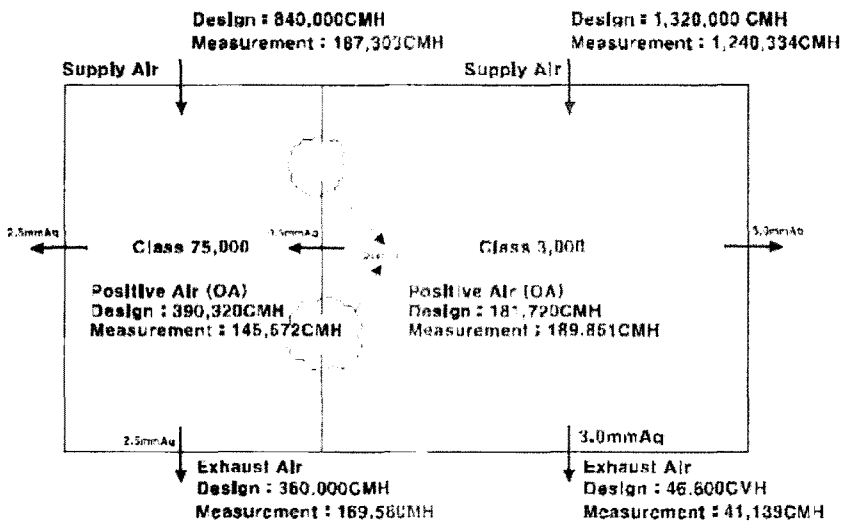
이때 클린룸 내의 과도한 차압 형성을 방지하기 위해 초기 OA의 damper는 약 50% 개방하여 가동하였다. 클린룸의 생산 장비가 setting 중이므로 duct 말단의 후렌지를 일부 open하여 fan의 일정 배기 풍량을 확보하였다. 측정 당시, 생산 장비의 반입이 간헐적으로 이루어짐에 따라 장비 반입구의 door open시일의 기류 및 양압의 편향을 방지하고 일정량의 차압

<표 1> AHU의 사양

구분	풍량 (CMH)	정압 (mmAq)	Cooling coil (kcal/h)	Heating coil (kcal/h)	동력 (kW)	외기량 (CMH)	비고
AHU-101 A ~ G	120,000	190	1030,000	852,000	120	55,760	7 units
AHU-102 A ~ G	120,000	190	381,000	69,000	120	600	7 units
AHU-103 A ~ D	120,000	190	571,000	404,000	120	16,520	4 units

<표 2> 배기 fan 사양

구분	풍량 (CMH)	정압 (mmAq)	동력 (kW)	비고
Exhaust FAN A ~ E	72,000	80	30	5 units
Exhaust FAN F, G	28,000	80	11	2 units
Scrubber	79,000	280	15 × 2	



[그림 3] 클린룸 내 급배기 air flow diagram

을 유지하기 위하여 OA의 damper를 수동으로 조작하여 클린룸의 차압을 3.0 mmAq로 유지하였다.

그 결과 클린룸 내 AHU supply 및 OA 풍량은 표 3과 같이 측정되었고, 배기량은 표 4와 같이 측정되

었다. 측정된 AHU의 급기량과 배기량을 이용하여 클린룸 내 환기 횟수(ACH)를 계산하면 표 5와 같다.

이상의 내용을 종합하면 클린룸 내 급배기 air flow diagram은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

<표 3> AHU supply 및 OA 풍량 측정

구 분	Supply 풍량 (CMH)			OA 풍량 (CMH)			비 고
	정 격	측 정	%	정 격	측 정	%	
AHU-101A	120,000	120,719	101	55,760	24,335	44	
AHU-101B	120,000	109,568	91	55,760	18,557	33	
AHU-101C	120,000	100,230	84	55,760	5,798	10	
AHU-101D	120,000	113,734	95	55,760	31,123	56	
AHU-101E	120,000	116,817	97	55,760	28,435	51	
AHU-101F	120,000	109,618	91	55,760	30,038	54	
AHU-101G	120,000	110,617	92	55,760	7,286	13	
AHU-102A	120,000	118,858	99	16,520	20,506	124	
AHU-102B	120,000	113,291	94	16,520	12,384	75	
AHU-102C	120,000	131,093	109	16,520	22,118	134	
AHU-102D	120,000	118,439	99	16,520	19,517	118	
AHU-102E	120,000	115,619	96	16,520	13,642	83	
AHU-102F	120,000	117,857	98	16,520	19,546	118	
AHU-102G	120,000	102,539	85	16,520	13,920	84	
AHU-103A	120,000	117,124	98	16,520	23,021	139	
AHU-103B	120,000	106,215	89	16,520	16,867	102	
AHU-103C	120,000	94,524	79	16,520	10,618	64	
AHU-103D	120,000	104,775	87	16,520	17,712	107	
TOTAL	2160,000	2,021,637	94	572,040	335,423	59	

<표 4> 배기량 측정

구 분	풍량 (CMH)			비 고
	정 격	측 정	%	
EF-A	360,000	169,580	47	
EF-B				
EF-C				
EF-D				
EF-E				
EF-F, G	27,600	7,744	28	
Scrubber	79,000	33,395	42	38.8 Hz
TOTAL	466,600	210,719	45	

<표 5> 클린룸 내 환기 횟수 산출

장 비	Service	AHU 급기량(m ³)	용 적(m ³)	환기 횟수(ACH)	비 고
AHU-101A	75,000 class zone	120,719	15,466	50.5	
AHU-101B		109,568			
AHU-101C		100,230			
AHU-101D		113,734			
AHU-101E		116,817			
AHU-101F		109,618			
AHU-101G		109,618			
AHU-102A	3,000 class zone	118,858	25,530	48.6	
AHU-102B		113,291			
AHU-102C		131,093			
AHU-102D		118,439			
AHU-102E		115,619			
AHU-102F		117,857			
AHU-102G		102,539			
AHU-103A		117,124			
AHU-103B		106,215			
AHU-103C		94,524			
AHU-103D	104,775				

클린룸 내 환기 횟수 변화에 따른 청정도 측정

측정 당시, 생산 Line이 가동 중이기 때문에 클린룸 전체에 대하여 환기 횟수 변화에 따른 청정도 변화를 파악하는 것이 불가능하여, 부분적으로 환기횟수를 변화시켜 청정도를 측정하였다. 가동 중인 AHU(AHU-102B) 경우 double fan으로 구성되어 있고, 각각 60,000 CMH로 설계 되어 있다. 이에 생산 장비가 미 반입된 zone에 대해 AHU의 double fan 중 1대를 off하여 환기횟수를 줄이는 방법으로 실험하여 공조 zone의 청정도 변화를 측정하였다.

측정 결과

외기도입량

클린룸 내부와 외기와의 차압에 의한 particle의 침입을 막는 방법은 AHU에 의하여 적절한 양의 외기를 도입하여 클린룸 내 양압을 유지하고, 그에 따라 외부 particle의 유입량 및 유입 가능성을 배제하는

것이다. 그러나 표 3과 표 4의 실측 결과를 볼 때 외기 도입량은 배기량 대비 156%라는 많은 양의 외기가 클린룸 내 양압 유지를 위하여 도입되고 있음을 알 수 있다. 이것은 클린룸 시공 중에 발생 및 유입된 particle을 air flushing을 통해 제거하기 위함으로, system이 안정된 후에는 적절량으로 유지될 수 있으리라 사료된다.

클린룸 내 환기 횟수 변화에 따른 청정도 변화

환기 횟수 변화에 따른 청정도 측정 결과는 표 6과 같다.

3,000 class zone의 경우, 청정도 유지를 위하여 약 50 ACH를 유지하고 있으며, 청정도는 0.5 μm 평균 316개로 상당히 양호한 상태를 유지하고 있다. 설계 시 기본 환기 횟수는 50 ACH 이지만, 현재의 청정도를 감안할 때 환기 횟수가 35 ACH 로 낮출 경우에도 3000 class의 청정도는 유지될 수 있을 것으로 사료된다. 단, 냉난방 부하변동에 따른 환기량과 온습도

〈표 6〉 환기 횡수 변화에 따른 청정도 측정 결과

구 분	풍 량(CMH)	Area(m ²)	환기횡수(ACH)	청정도 0.5 μm	비 고
AHU-102 B	정상 가동 시	113,291	2,285	380	3,000 class zone
	환기 횡수 변화 시	79,171	2,285	34.6	

제어와의 대한 연관 관계에 대해서는 추가 연구가 필요하리라 사료된다.

결론

본 연구는 산업용 클린룸을 대상으로 실내 양압 및 청정도를 유지하기 위한 적정 외기 도입량과 환기 횡수를 검토하였다. 이것은 과도한 양압에 의한 에너지 손실을 막고 최적의 환기 횡수 산출로 불필요한 공사비의 상승 및 에너지 낭비에 대한 경제적인 실을 예방하는데 참조할 수 있을 것으로 예상된다. 아울러 클린룸 설계 시 참고할 수 있는 기초 자료가 될 수 있으리라 판단되며, 그 결론은 다음과 같다.

- 1) 측정 당시 생산 장비의 반입이 빈번하여 장비 반입 시 외기의 침입을 방지하기 위해 배기량 대비 156%의 외기를 도입하여 클린룸 내의 양압을 3.0mmAq로 유지하였다. 이로써 시공 중에 발생 및 축적된 particle을 air flushing을 통해 제거하였으며, 정상 운전시에는 설계 풍량으로도 충분한 양압을 유지할 수 있으리라 사료된다.
- 2) 측정 대상의 클린룸에서는 청정도를 3,000 class로 유지하기 위하여 환기 횡수를 약 50 ACH로 운영하였다. 그러나 환기 횡수 감소에 따른 청정도의 변화를 살펴본 결과, 35 ACH 일 경우에도 설계치의 유지가 가능한 것으로 나타났다. 다만, 실내 온, 습도에 대한 영향은 모든 장비의 설치가 완료된 후 재 설정해야 하며, 이는 동 클린룸의 운영자의 몫이라 판단된다.

참고문헌

1. 윤여찬, 클린룸의 이해와 청정관리기 수율에 미치는 영향 연구, 2006. 2
2. 이광수, 1990, “클린룸 기술과 응용”
3. 오명도, 1990, “클린룸 오염입자 및 기류제어 기술”, 클린룸 기술과 오염입자에 관한 국제 심포지움, 서울
4. 윤직욱, 클린룸 성능평가 시험방법, 클린룸 전문가 양성교육 교재, 2005. 12
5. 백영태, 1989, “클린룸 설계기준”, 클린룸 기술 SEMINAR
6. 오명도, 2001, “GIGA급 초청정 클린룸 기술”, 기계저널, 제 41권 제6호
7. 유경훈, 클린룸 설비의 에너지 절약 대책, 공기청정기술 2004. 12.
8. 배귀남, 클린룸의 성능평가, 공기청정기술 2005. 12
9. 임태빈, 클린룸에서의 에너지 소비실태와 대책, 냉동공조기술 1997. 6.
10. 이정구 외, “반도체 CR Fab 화재 시 비상 배연 시스템”, 한국화재 소방학회 2004.
11. 양성철, 반도체 클린룸에서의 에너지절약 대책, 공기청정기술 2005. 9.
12. 문인호, 클린룸 공조 설비에서의 에너지절약 대책, 공기청정기술 2005. 9. 