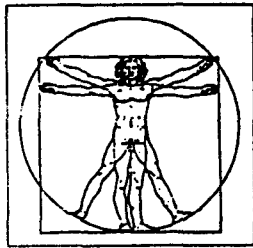


## 공기부유입자의 생성기술



### 제1절 일반적인 공기부유입자 생성장치의 원리와 특성

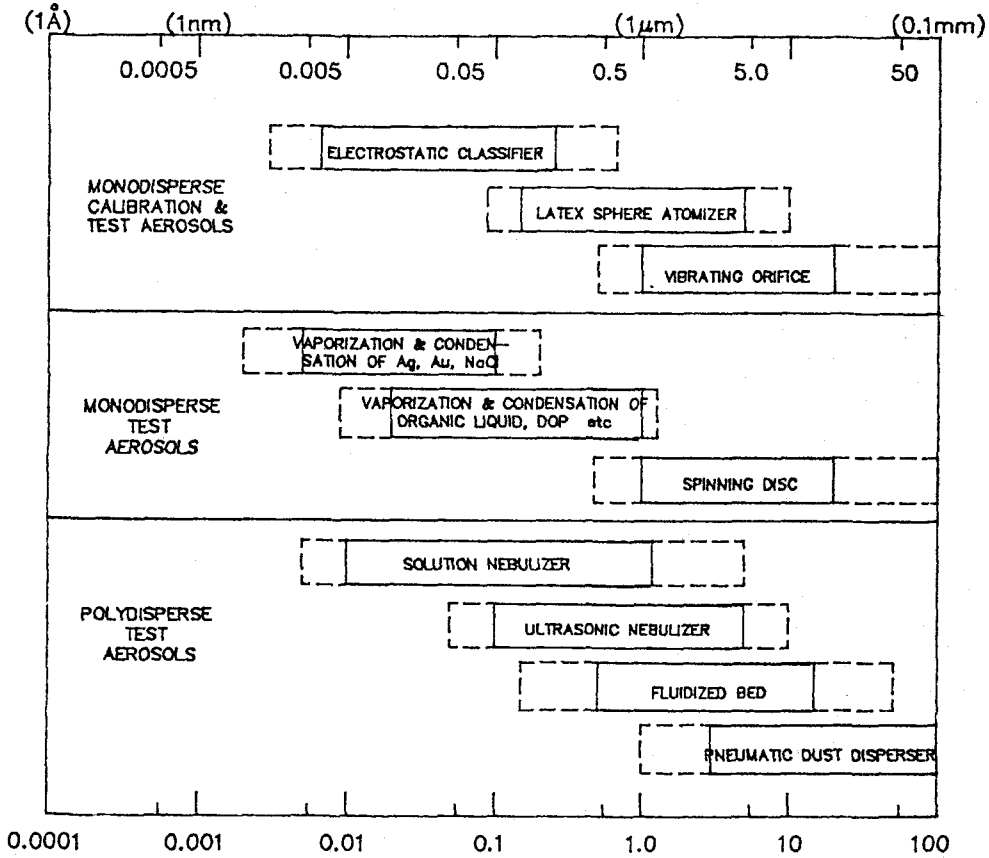
공기부유입자를 생성하는 방법에는 여러 가지가 있으며, 많은 공기부유입자 생성장치가 개발되었다. 여기에서는 공기부유입자 생성장치를 크게 액적(liquid droplet)을 생성하는 장치와 건조분말(dry powder)을 분산시키는 장치로 분류하여 살펴보았다 [1,2].

모든 부유입자 생성장치에서 중요한 제어 변수는 생성되는 입자농도와 크기분포이며, 이것에 따라 그 용도가 달라진다. 참고로 공기부유입자 생성장치의 원리별 작동영역을 표3-1에 나타냈다[3].

#### 1. 액체 공기부유입자 생성장치(Liquid Aerosol Generator)

액체 공기부유입자 생성방법은 액체의 기계적 분산에 의해 액적을 만드는 경우와 증기를 응축시켜 액적을 만드는 경우로 나눌 수 있다. 응축에 의한 공기부유입자 생성장치의 생성기술은 기본적으로 모두 같은데, 이것은 먼저 액체가 가열되어 증기를 만들고, 이 증기가 냉각되고 응축되어 액적이 된다. 반면에 기계적 분산에 의해 액적을 만드는 기술 Air Nebulizer, Spinning-Disk Atomizer, Ultrasonic Nebulizer, Vibrating-Orifice Generator 등과 같이 여러가지가 있다.

표3-1 공기부위입자 생성장치의 원리별 작동영역



가. 공기분무기(Air Nebulizer)

액체를 분무시켜 액적으로 만드는데 압축기가 사용되며, 고체입자의 생성도 가능하다. 공기 분무기에는 Devilbiss 분무기, 돌 분무기, Babington 분무기 등이 있으며, 이것에 의해 생성된 공기부위입자의 특은 다음과 같다. 질량중간직경(Mass mean diameter)은 1~7μm이고, 기하학적 준편차( $\sigma_g$ , geometric standard deviation)는 1.7~2.5이다. 그리고 휘발성체를 사용하거나 관성 충돌기를 통과시켜

생성되는 부위입자의 크기분포를 변경시킬 수 있다. 참고로 압축공기를 이용한 여러가지 분무기의 특성을 표3-2에 나타냈다[1].

(1) Devilbiss 분무기

Devilbiss 분무기의 개략도를 그림3-1에 나타냈는데, 이것의 입자생성 원리는 다음과 같다. 먼저 공기가 좁은 튜브를 지나 A 지점에 이르러 고속으로 튜브를 빠져나온다. 이때 고속의 공기가 튜브 출구에 저압구역을 형성하여 액체 공급튜브를 통하여 저장 용기로부터 액체를 끌어 올린다. 그리하여

표 3-2. 여러가지 압축공기 분무기의 특성<sup>a</sup>

Type	Operating Pressure (psig)	Flow Rate (L/min)	Output Concentration (g/m <sup>3</sup> )	Droplet Size Distribution		Reservoir Volume (mL)
				MMD (μm)	GSD	
Babington <sup>b</sup> (Solosphere) (vent closed)	50	15	~ 5	~ 4		200-400
Collison <sup>c</sup> (Three-jet model)	20	7.1	7.7	2.0	2.0	20-1000
	30	9.4	5.9			
DeVilbiss 40 <sup>d</sup> (vent closed)	10	11	16	4.2	1.8	10
	20	16	14	3.2	1.8	
	30	20	12	2.8	1.9	
Laskin <sup>e</sup>	10	48	3.8			500-5000
	20	84	4.8	0.7	2.1	
Lovelace <sup>f</sup>	20	1.5	40	5.8	1.8	4
	30	1.6	31	4.7	1.9	
Retec X-70/N <sup>g</sup>	20	5.4	53	5.7	1.8	10
	30	7.4	54	3.6	2.0	

<sup>a</sup>Data primarily from Raabe (1976) for water.

<sup>b</sup>McGaw Respiratory Therapy, Irvine, CA.

<sup>c</sup>BGI, Inc., Waltham, MA.

<sup>d</sup>The DeVilbiss Co., Somerset, PA.

<sup>e</sup>ATI, Baltimore, MD. Authors data for DOP.

<sup>f</sup>Sandia Research and Development, Albuquerque, NM.

<sup>g</sup>Cavitron Corp., Portland, OR.

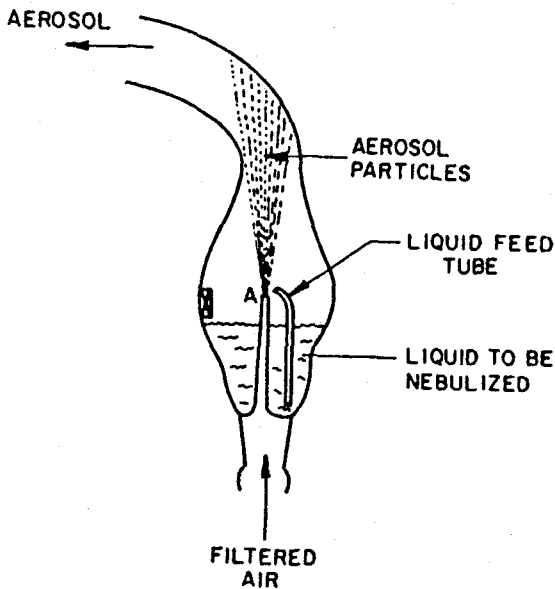


그림 3-1. Devilbiss 분무지의 개략도

방출된 액체는 고속의 공기에 의해 분무되어 작은 액적으로 된다. 큰 액적은 상부의 굽은 출구 덕트 벽면에 충돌하고 더 작은 액적은 부유된 상태로 남는다.

(2) 충돌 분무기

충돌 분무기의 개략도를 그림3-2에 나타냈으며, 이것도 저압구역을 만드는데 고속의 공기제트가 사용되어 액체를 공급 튜브로 끌어 올려 공기제트에 의해 분무시킨다. 그림3-2에는 단지 하나의 분무통로(nebulizing passage)만 있지만, 분무상부(nebulizing head)에 몇 개의 분무통로가 있을 수

있다. 그리고 차폐장치(baffle)가 분무상부를 둘러싸고 충돌에 의해 큰 액적을 제거하는데 기여한다. 이때 충돌된 액적은 액체 저장용기로 배수되지만, 충돌하지 않은 액적은 윗 방향의 기류를 따라 출구로 방출한다.

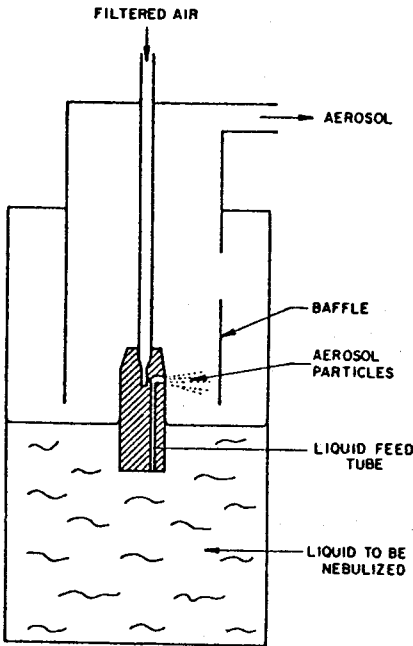


그림 3-2. 충돌 분무기의 개략도

(3) Babington 분무기

이것은 액체가 속이 빈 구의 외부표면으로 흘러 얇은 막을 형성하며, 구의 내부로 공급된 공기는 구의 표면에 뚫린 사각구멍을 통하여 밖으로 흘러 액체를 분무시킨다.

나. 회전 디스크 분무기(Spinning-Disc Atomizer)

액체가 작은 튜브를 통해 디스크의 중심에 공급되어 회전하는 디스크에 퍼지고, 디

스크의 가장자리에서 액적상태로 분리된다. 이때 디스크는 보통 직경이 5cm이고, 전기 모터나 공기 구동모터에 의해 70000rpm으로 회전한다. 생성된 주입자(primary particle)는 상당히 단분산이며( $\sigma_g=1.1$ ), 생성되는 입자크기는 20~100 $\mu\text{m}$ 인데 용매를 사용하며 0.6 $\mu\text{m}$  까지 줄일수 있고 그리고 이것으로 고체입자라도 생성할 수 있다.

주입자 뿐만 아니라 더 작은 부입자(satellite particle)가 생성되며, 큰 주입자의 경우 공기역학적 정지거리가 길고, 작은 부입자의 경우 짧기 때문에 그림3-3에 나타난 공기유동 시스템에 의해 2가지 크기로 입자를 분리할 수 있다. 즉, 작은 입자는 중심부에 위치한 깔대기 모양의 통(conical funnel)으로 끌어들여지고, 큰 입자는 디스크로부터 더 멀리 투사되어 다른 출구로 빠져 나간다.

다. 진동 오리피스 공기부위입자 생성장치(Vibrating-Orifice Aerosol Generator)

진동 오리피스 공기부위입자 생성장치의 개략도를 그림3-4에 나타냈는데, 이것은 단분산 입자생성에 사용된다. 생성되는 입자크기는 0.5~50 $\mu\text{m}$ 이고,  $\sigma_g=1.01\sim 1.03$ 이다.

이 기기의 원리는 다음과 같다. 먼저 액체가 일정한 유량으로 오리피스를 통하여 강제로 공급되는데, 이때 오리피스를 통과하는 액체의 흐름은 불안정하여 액적으로

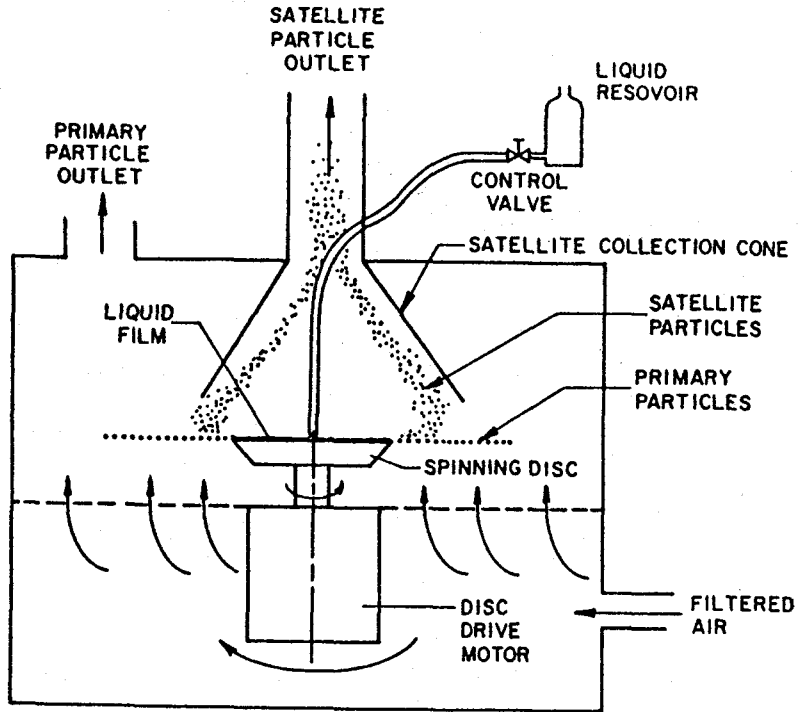


그림3-3 회전 디스크 분무기의 개략도

부서진다. 그리고 piezoelectric transducer 등에 의해 오리피스를 진동시킴으로써 흐름이 각 사이클마다 하나의 액적4을 만드는 균일한 액적으로 부서진다. 그러므로 유량과 사이클주파수가 일정하면, 액적은 모두 같은 크기가 되어  $\sigma_g$ 는 매우 작다.

생성된 입자가 단분산일지라도 분산 바로 직후에 입자의 응집이 doublet, triplet을 만들 수 있으므로, 이 문제를 줄이기 위해서 분산공기가 보통 생성 바로 뒤의 부유흐름에 추가된다. 분산공기의 유량은 부유흐름 근처에 난류를 만들 만큼 충분히 많으므로 효율적으로 희석시키고, doublet이 형성되기 전에 입자를 분산시킨다.

진동 오리피스 공기부유입자 생성장치는 광학 입자 계수기의 교정, 관성 충돌기의 교정, 난류유동 관내의 입자침착에 관한 연구, 공기 샘플링 기체의 입자효율 측정 등에 사용된다.

라. 초음파 분무기(Ultrasonic Nebulizer)

Piezoelectric crystal이 고주파로 진동되어 액체로부터 부유입자를 생성하는데, Piezoelectric transducer는 coupling liquid의 바닥에 위치하며, 액적이 부유되는 액체의 표면에서 생성된다. 이때 기류가 생성기로부터 부유입자를 이동시킨다. 이것의 개략도를 그림3-5에 나타냈다.

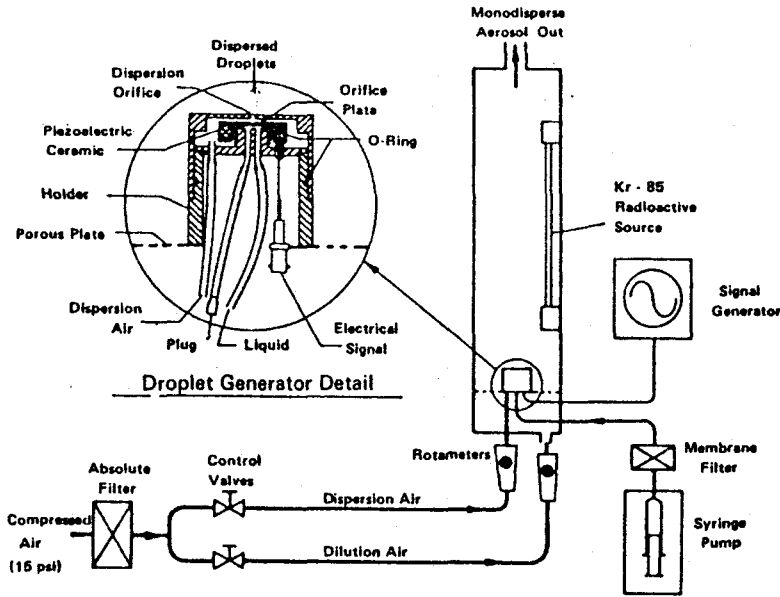


그림 3-4. 진동 오리피스 공기부위입자 생성장치의 개략도

이 생성기법은 다른 것에 비해 고농도의 부위입자를 만들며, 생성되는 입자크기는  $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 이고,  $\sigma_g$ 는 1.5~1.7이다.

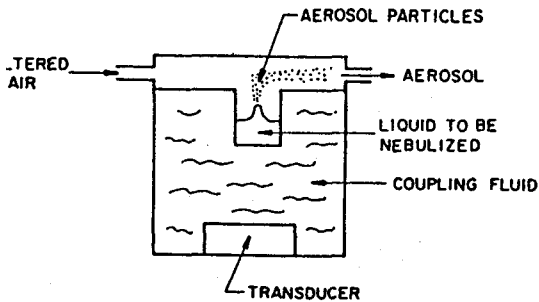


그림 3-5 초음파 분무기의 개략도

마. 응축 공기부위입자 생성장치

(Condensation Aerosol Generator)

생성된 액체가 먼저 가열되어 증기를 형성하고, 증기는 냉각되고 응축되어 액적이

된다. 냉각시에 과포화가 높으면 증기가 동시에 응축하거나 증기가 증기에 도입되는 핵형성 중심으로 응축한다. 이 방법으로 생성된 부위입자는 상당히 단분산이고,  $\sigma_g$ 는 1.15~1.4이다. 그리고 생성되는 입자크기는 submicron 범위이다.

(1) Sinclair-Lamer 응축 공기부위입자 생성장치

이것은 먼저 보일러에서 액체가 증발되고, 핵이 전기적 아크(electric arc)에 의해 생성된다. 다음에 핵과 액체증기를 보일러로부터 남은 액적이 증발될 수 있도록 혼합물을 재가열시키는 두번째 저장용기(chamber)를 통과시킨다. 그리고 핵중심과 재가열된 증기는 증기가 핵형성 중심으로 응축되는 냉각탑(cooling tower)을 통과한다.

(2) 응축 공기 부유입자 생성장치

이 방법은 액체를 충돌 분무기로 분무시킨 후 액적을 증발시켜 증기를 증발된 액적의 불휘발성 핵에 재응축시킨다. 뒤이어 공기부유입자는 전기적인 가열 테이프(electric heating tape)로 감긴 유리관(glass tube)을 지나면서 증발된다. 그리고 증기와 증발된 액적의 잔유물은 가열되지 않은 유리관 부분으로 이동하는데, 이곳에서 증기가 잔유입자 위로 재응축된다. 이 방법을 이용한 공기부유입자 생성장치의 개략도를 그림3-6에 나타냈다.

2. 먼지와 섬유 공기부유입자 생성장치 (Dust and fiber Aerosol generators)

가. Scraper를 사용한 먼지 공기부유입자 생성장치

Scraper가 분말 저장용기로부터 입자를 계속해서 분리시킨다. 예로 Wright dust feeder의 개략도를 그림3-7에 나타냈다. 이것을 보면, 분말이 상당히 고압에서 좁안에 밀집되어 딱딱한 과자모양을 이루고 있으며, 기어가 Scraper를 가로질러 꺾을 회전시키고, 기류가 과자모양으로부터 분리된 입자를 실어 나른다.

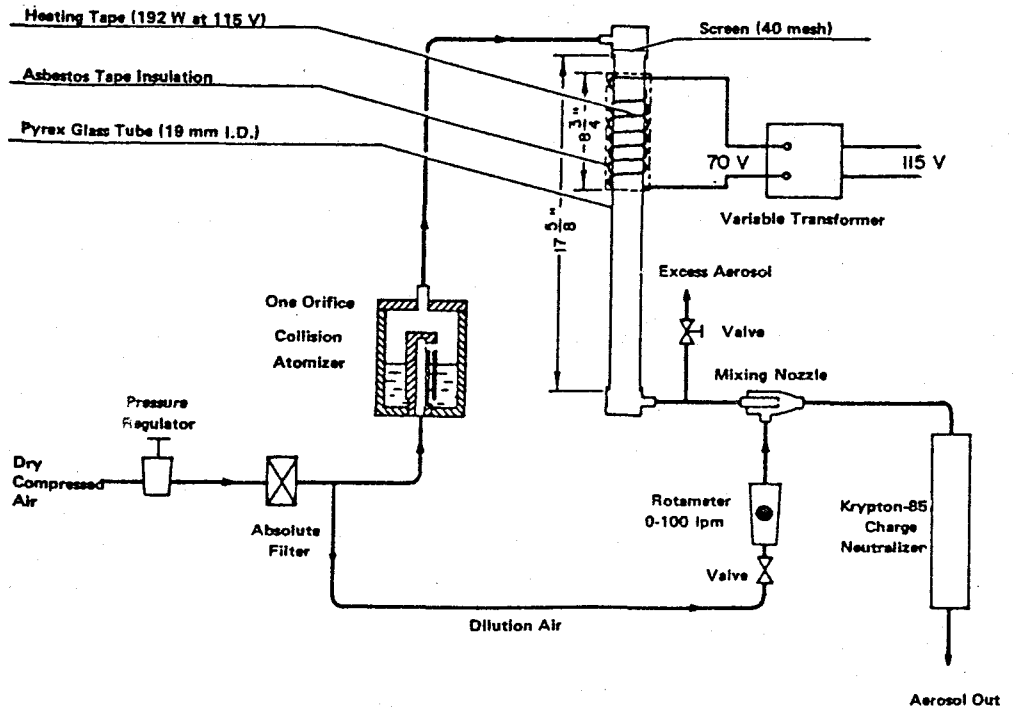


그림3-6 응축 공기부유입자 생성장치의 개략도

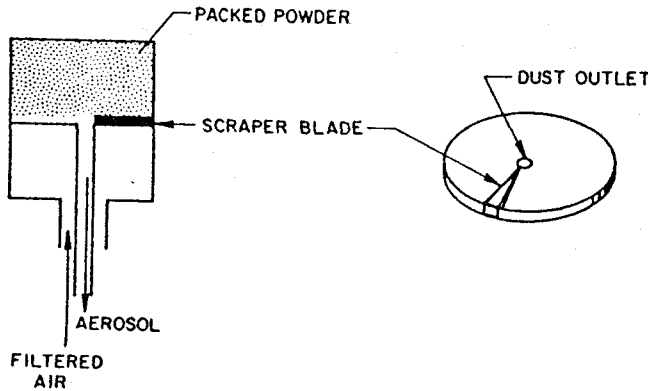


그림 3-7 Wright dust feedere 의 개략도

나. 유동층 먼지 공기부위입자 생성장치 이 방법에는 부유물로 되는 먼지 물질을 유동체로 변화시키는 방법과 꽤 큰 불활성 입자와 작은 먼지입자의 혼합물을 유동체로 변화시키는 방법이 있다. 후자가 균일한 입자 크기분포와 농도를 얻는데 유용하므로 여기서는 이 방법에 대하여 설명한다.

불활성 입자로는 황동, 니켈, 스테인레스강 등의 알갱이(100 $\mu$ m)를 사용하며, 일정한 출력을 얻기 위하여 먼지 입자들은 powder-holding chamber로부터 유동층으로 Chain-conveyer system(가변속 모터로 구동)에 의해 이동된다. 이동되는 먼지의 양은 Chain의 속도에 의해 조절된다. Fluidized-bed chamber에서 분말이 알갱이의 기계적 문지름에 의해 Chain으로부터 led로 전달된다. 유동층의 연속적인 운동이 입자를 매우 작은 응집덩이를 갖는개개 입자로 분산시킨다. 그리고 유동층 바로 위는 작은 부유먼지 입자로부터 큰 알갱이를 분

리시키는 elutriation chamber이어서 알갱이는 생성장치에 남고, 재분산된 먼지는 기류에 실려나간다. 이 방법을 사용한 공기부위입자 생성장치의 개략도를 그림3-8에 나타냈다.

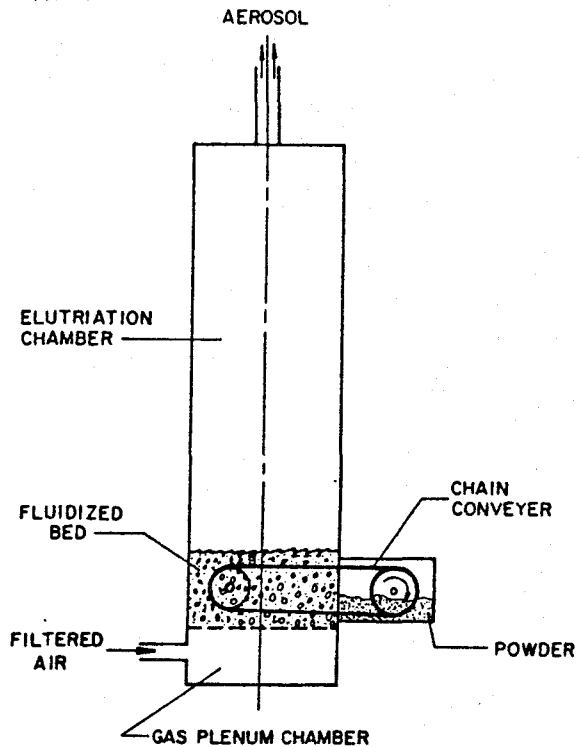


그림 3-8. 유동층 먼지 공기부위입자 생성 장치의 개략도