

해변 공항의 해염입자 제거필터

김 정 호 | 한국캠브리지필터(주)
이사

1. 머리말

영종도 신공항과 같이 최근에는 해변에 공항을 건설하는 사례가 증가되고 있다. 따라서 이에 대응하는 해염입자 제거필터의 개발이 절실히 요구되어 왔다. 해변의 상대습도가 50~70% 이하일 때, 외기에는 염분이 부착된 먼지가 증가되므로 실내로 유입된 공기를 오염시켜 각종 설비에 장애를 일으키며, 각종 설비의 금속을 부식시키는 예가 증가되고 있다. 그러므로 여기에 적합한 해염입자 제거필터를 공조기에 설치하여, 이 문제를 해결하여야 한다.

2. 해염입자

해염입자는 바다의 파도 중에서 기포가 해면으로 파열되어 발생한다. 이때 微小海水가 생성되어 대기 중에 방출되는 것이 해염입자이다. 미소입자는 공기 중에 자유운동을 하면서 상승하여 바람을 타고 육지로 운반되어진다. 해염입자는 아래의 형태와 같이 공기 중에 부유하여 존재한다.

2.1 입재(결정)

해수를 함유한 수분은 NaCl, MgCl₂, NaSO₄, CaCl₂ 등의 결정으로 되어 있다. 대기의 상대습도가 50~70% 이하가 아니면 결정으로 되지 않는다.

2.2 작은 물방울

해수의 물방울 또는 수분이 없는 염분이 재비산되어 수분을 함유하여 생성되어진다. 대기의 상대습도가 50~70% 이상이 되면 작은 물방울이 된다.

2.3 먼지가 부착된 해염입자

대기 중에 부유하고 있는 먼지의 결정체에 해수 방울이 부착되어 생성되어진다. 먼지가 비교적 가볍고 큰 경우에 생성되어진다. 부착되는 해염의 양은 비교적 적은 편이다.

3. 해염입자량 측정방법

3.1 샘플링 방법

샘플링 방법을 대별하면 표 1과 같이 자연노출법과 강제흡인법이 있다. 또한 강제흡인법은 총량

표 1. 샘플링 방법

포집방법	특 징
자 연 노출법	* 중력에 의한 입자의 자연낙하를 이용하는 방법 * 기류에 직각으로 포집 flame을 노출하는 방법
강 제 흡인법	* 필터를 이용하는 흡인법 * Impinger법(수용액 흡인법) * 관성충돌을 이용한 방법(Gasket impact법, Farlow법)

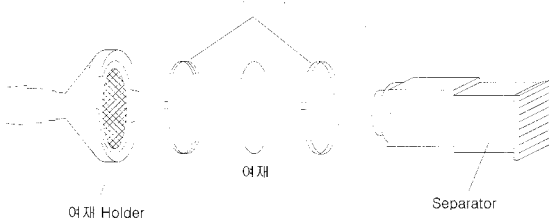


그림 1. Low volume sampler법(흡인된 공기를 필터의 여과지에 여과하는 방법)

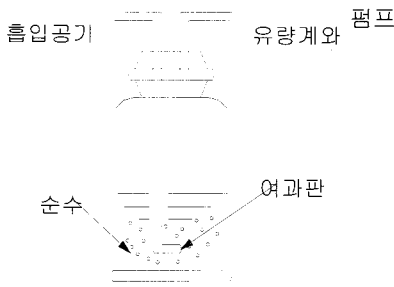


그림 2. Impinger법

측정법으로 필터를 이용한 흡인법이 있다. 이것은 low volume sampler(그림 1)와 high volume sampler가 있다. 또한 그림 2와 같이 impinger법과 그림 3과 같이 Farlow법이 있다.

입경별 측정은 gasket impact법(그림 4)이 있다. 일반적으로 필터를 이용한 흡인법이 사용되는데 다음을 주의하여야 한다. Impinger법은 샘플링시 공기를 액체에 통과시키는 방법이다. 이 방법 외에 다른 방법이 없다. 이때 가스성분의 영향을 받을 가능성이 있으므로 주의하여야 한다. Farlow법은 2 μ m 이하의 입자에 대해서는 정밀도상의 문제가 있으므로 주의하여야 한다.

3.2 분석방법

해염입자만을 샘플링하는 방법은 없으므로 샘플링된 것으로부터 해염입자의 주성분인 나트륨량

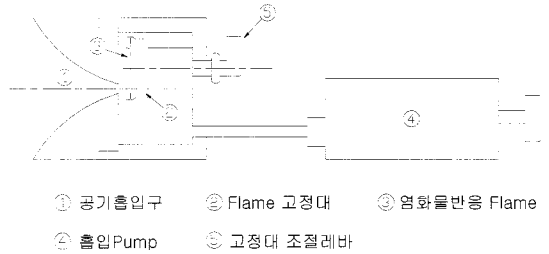


그림 3. Farlow법(염화물 반응 flame에 해염입자를 충돌시키는 방법)

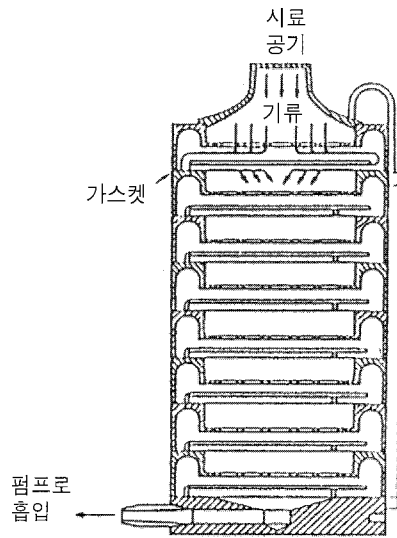
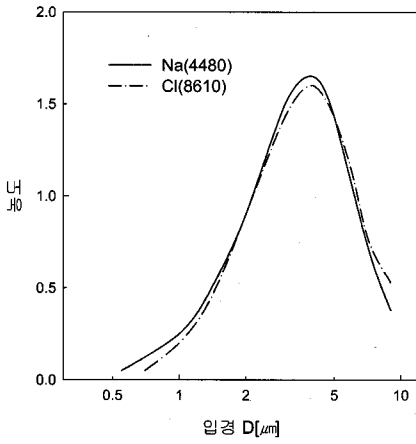


그림 4. Gasket impact법 (다수의 기공이 있는 판을 같은 방향으로 배치하여 기공을 통과하는 입자의 입경에 따른 운동특성의 차이로 분류하는 법)

또는 염소량을 정량분석하여 해염량을 측정하고 있다. 일반적으로 필터이용 흡인법으로 포집되는 시료를 일단 순수에 녹여서 측정한다. 분석방법은 Na의 경우는 원자흡광분석(JIS K 0121), Flame 광도법(JIS K 0101), 이온전극법(JIS K 0101) 등이 사용된다. Cl의 경우는 흡광광도법(JIS K 0101),



주) ()안의 수치는 농도[ng/m³]를 나타낸다.

그림 5. 해염의 입경분포(A지역)

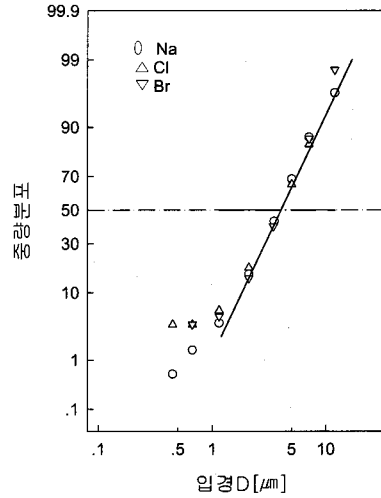


그림 6. 해염의 누적분포(A지역)

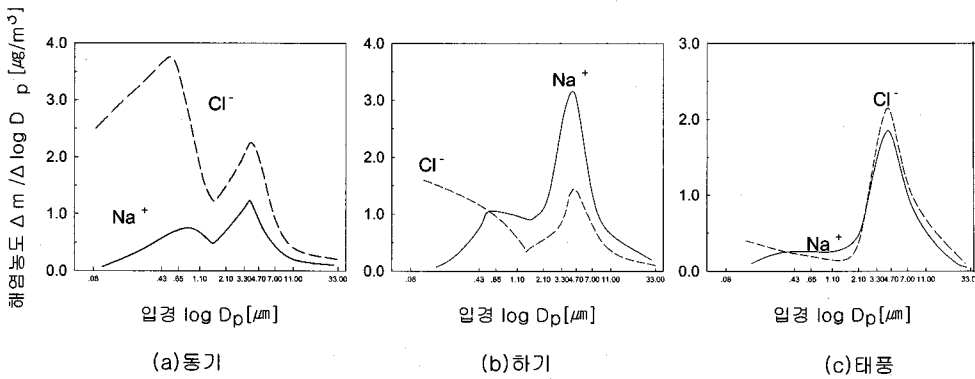


그림 7. 해염의 입경분포(A지역) (겨울철 북서풍, 여름철 남동풍, 태풍시)

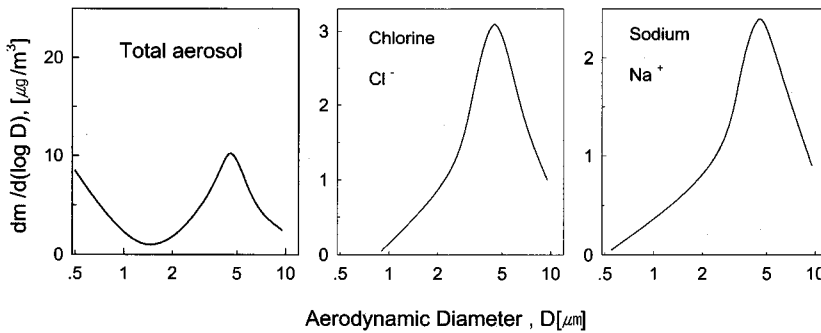


그림 8. 해염입자 입경분포(B지역)

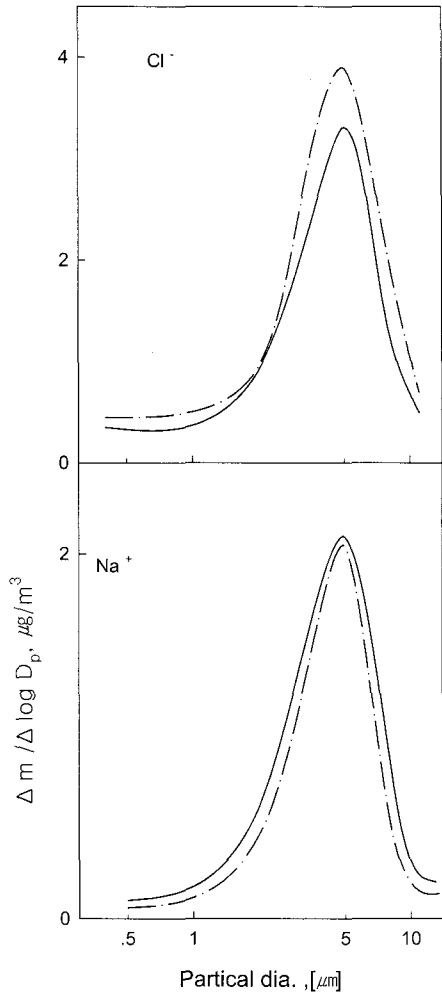


그림 9. 해염입자의 입경분포(C지역), 낮(5:30~19:00), 밤(19:00~5:30)

크로마토그래프법, 이온전극법(JIS K 0101) 등이 사용되어진다. 각 분석법은 평량정도법(秤量精度法)으로 분석된다.

샘플링素材에 각각 함유된 대상물질의 background를 가능한 낮게 할 필요가 있다. 또한 각 분석방법의 개요를 마지막에 서술하였다.

4. 해염입자의 특성

4.1 입경분포

샘플링 방법의 입경별 측정을 수행함으로써 해염입자의 입경분포(중량기준)를 알 수 있다. 그림 5~9에 측정결과와 예의 나타냈다. 4μm 근처의 peak가 해염입자라고 알려져 있다. 해염입자는 중량으로 보면 꽤 많은 입자가 있다. 또한 입경분포의 형상은 지역에 따라 다르게 나타난다.

4.2 농도

해염입자의 농도는 기상조건, 입지조건 등에 따라 꽤 변화가 심하다. 해염량의 절대량을 다음의 그림에서 나타내고 있다. 그림 10은 풍속에 따른 변화를 나타낸 것이다. 그림 11과 12는 해안으로부터의 거리에 따른 변화를 나타낸 것이다. 풍속이 빠르면 해염입자의 농도가 증가한다. 또한 해안으로부터 거리가 멀면 농도가 감소됨을 알 수 있다.

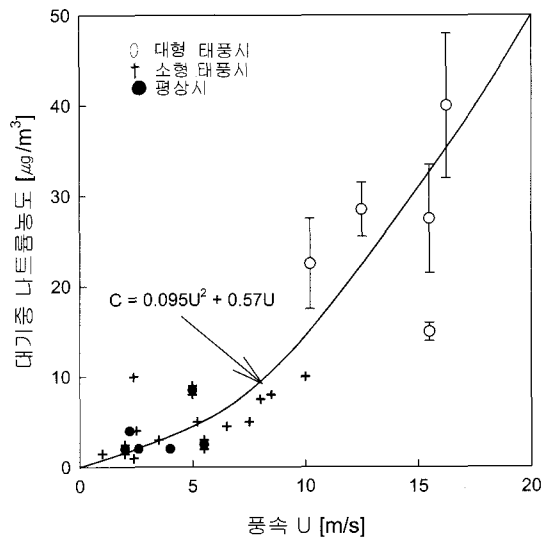


그림 10. 풍속과 대기중 나트륨농도의 관계

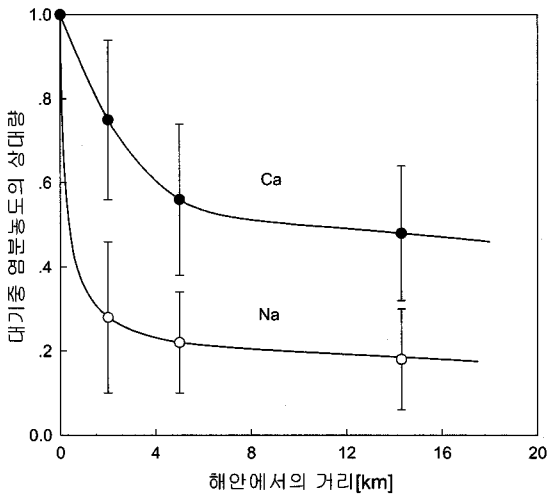
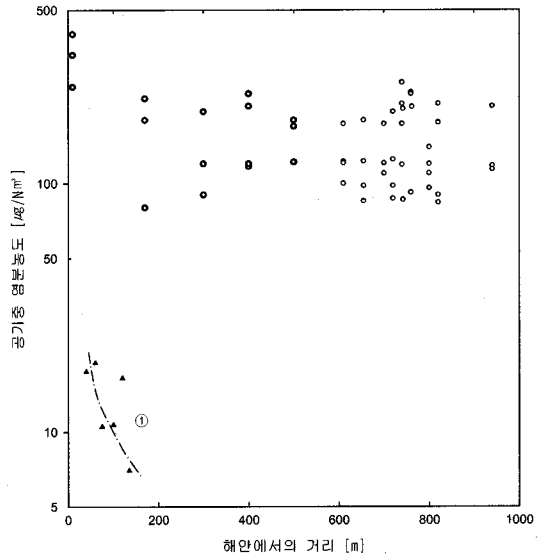


그림 11. 해안으로부터 거리에 따른 대기중 염분농도의 변화(1)

계절에 따른 농도의 변화는 그림 13에 나타나 있으며, 동절기에는 농도가 증가됨을 알 수 있고 하절기에는 농도가 감소되는 경향이다.



주) ①은 풍속 6~7m/s일 때 포집된 Data를 나타낸다.

기 호	측정지점	비 고
▲	D	풍속 6~7m/s
○	E	해수 냉각탑 정지시
◎	F	해수 냉각탑 가동시

그림 12. 해안으로부터 거리에 따른 대기중 염분농도의 변화(2)

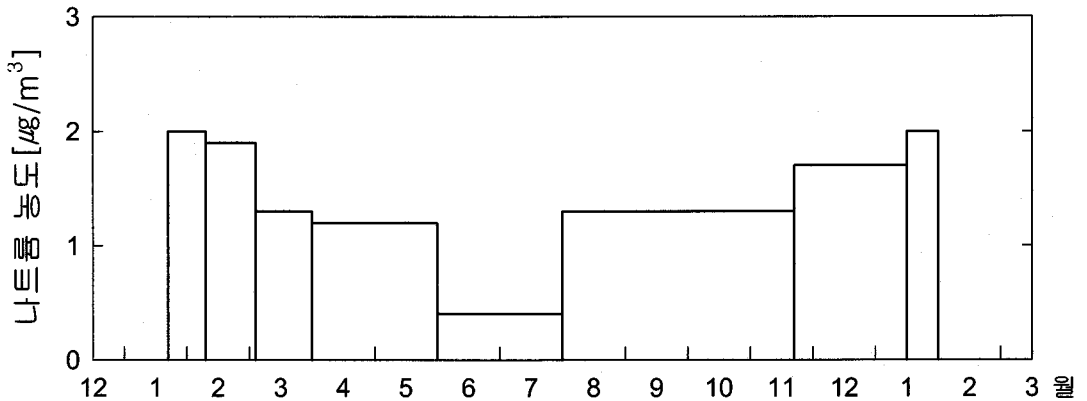


그림 13. 해염입자 농도의 계절변동 (샘플링방법 : Low volume sampler, 분석방법 : Flame 광도법)

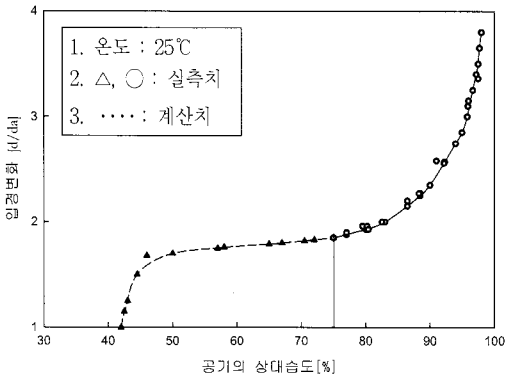


그림 14. NaCl 입자의 농도에 따른 입경 변화

4.3 조해(밀물, 썰물) 현상

해염입자의 밀물, 썰물 현상에 대하여는 그림 14에 나타나 있다. 순수한 NaCl 입자는 상대습도 75% 정도에서 입경의 변화가 발생된다. 이때가 바로 밀물, 썰물이 일어날 때이다. 해염입자에는 MgCl₂ 등의 불순물이 함유되어 있음을 고려하여야 한다. 또한 밀물, 썰물 현상이 발생하면 습도는 감소됨을 고려하여야 한다.

5. 해염의 제거

5.1 해염입자 제거용 필터의 개요

에어필터의 해염입자의 제거는 해염입자의 밀물, 썰물 현상을 무시하면 일반의 대기진을 제거하는 것과 다를 바 없다. 현재 필터 메이커에서 생산하는 해염입자용 필터는 밀물, 썰물 현상에 대응하는 필터를 말한다. 또한, 대상 종류는 외기 유입구에 사용되는 전처리 필터와 중성능 필터 수준의 성능이다. 해염입자제거용 필터의 특성은 밀물, 썰물 현상 시 포집된 해염입자의 재비산을 방지하기 위한 구조로 설계되어 있다. 즉 2중 여재 구조이며, 부식이 되지 않는 세파레타를 사용하며, 긴 수명을 갖도록 설계되어 있다.

(1) 2중 여재 구조

2중 여재 구조를 하는 이유는 인위적으로 NaCl 입자를 일반의 한겹 여재로 된 필터에 통과시키면 여재의 하류면에 직경 0.5μm 정도의 미소한 입자가 녹아서 나오는 것이 발견된다. 따라서 2중 여재구조로 시험한 결과 미소한 NaCl 입자가 녹아 나오지 않으므로 이 문제를 해결하였다. 상류측 여재는 평균크기의 해염입자를 90%이상 제거가능한 여재를 사용한다. 다시 언급하면 1대의 필터면에서 여재가 2중구조로 되어 있으므로 일반의 2대의 필터를 연결하여 설치한 효과를 발휘한다.

(2) 부식방지용 세파레타의 사용

해염입자는 금속에 강한 부식작용을 하므로, 일반의 금속성 세파레타는 사용할 수 없다. 그러므로 부식이 방지되는 세파레타를 사용한다. 예를 들면, 폴리프로필렌 세파레타를 사용한다.

(3) 長壽命化

해염입자 제거필터는 상류측 여재가 전처리 필터의 역할을 한다. 초기압력손실은 일반필터보다 약 4mmAq 정도 높지만 최종압력손실까지의 수명은 대기먼지로 시험한 결과 일반필터보다 2배 정도 길어짐을 알 수 있었다.

5.2 해염입자 제거필터의 성능

해염입자 제거필터의 효과를 확인하기 위하여 해안으로부터 1km 떨어진 위치에 덕트를 설치하여 약 1년간 운전시험을 행하였다. 시스템의 구조는 그림 15와 같다. Gallery, Eliminator, Rough filter, 해염입자 제거필터, HEPA의 순으로 배열하여 시험하였다.

이 시험은 해염입자의 지표물질과 나트륨을 포집하기 위한 시험이다. 샘플링방법은 low volume

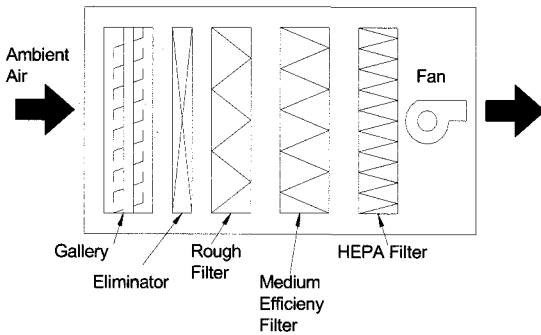


그림 15. 운전 시험용 시스템 구조

sampler로 각 필터의 상류 및 하류측의 대기진을 포집하고 그 포집물을 순수에 용해시킨 후 Flame 광도법으로 나트륨의 중량을 측정한다. 이 운전 시험으로 얻어진 결과는 그림 16~18에 나타나 있다.

해염입자 제거필터를 통과한 후 나트륨의 농도는

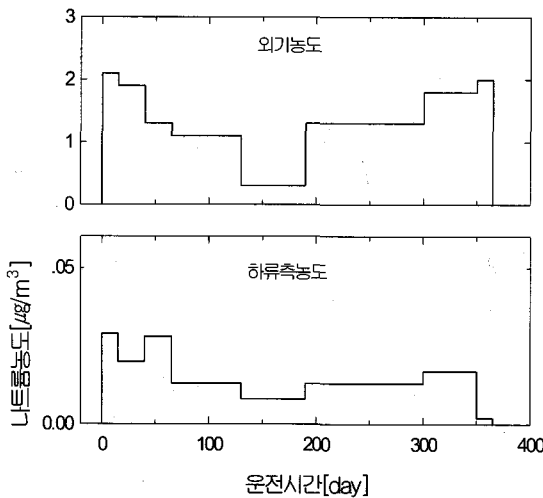


그림 16. 해염입자의 외기농도와 필터 하류측 농도의 비교

샘플링방법 : Low volume sampler

분석방법 : Flame 광도법

시스템구조 : Gallery + Rough filter + 해염입자 제거필터

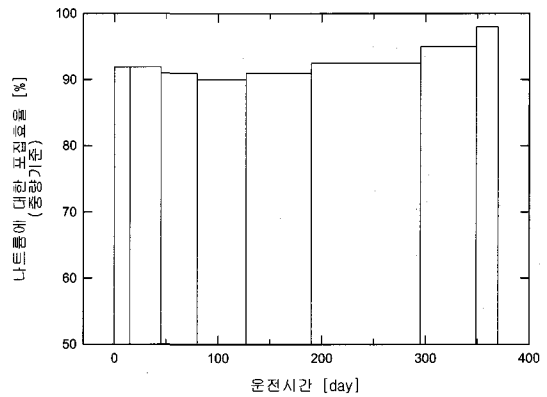


그림 17. 시간경과에 따른 해염입자의 포집효율

Gallery 및 Rough filter 통과후의 입자에 대한 포집효율

분석방법 : Flame 광도법

대단히 낮은 농도($0.03\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하)가 되었으므로 이 시스템은 외기 중에 존재하는 해염입자를 99% 정도 제거하는 것으로 판단되었다. 해염입자 제거필터만의 효율을 보면, Gallery와 Rough filter에서 제거되지 않고 통과된 입자에 대하여 90% 이상의 포집효율이 장기적으로 유지됨이 판명되었다. 또한 해염입자 제거필터의 하류측의 나트륨 농도가 대단히 낮음을 알 수 있었다. 해염입자 제거필터만으로는 포집효율에 별다른 변동이 없으므로, 재비산현상이 없었음이 판명되었다.

또한 먼저 기술한 2중여재의 효과는 운전시험 실시 후 해염입자 제거필터의 각 여재의 나트륨의 포집비율을 측정된 결과이다. 상류측 여재 : $670\text{mg}/\text{m}^2$ (포집된 전체량의 62%를 포집), 하류측 여재 : $410\text{mg}/\text{m}^2$ 을 포집하였으며, 본 시험의 결과 Gallery 및 Rough filter가 해염입자 중량의 약 90%를 포집하였으며, 입자가 미세하여 포집이 어려운 입자가 유입됨을 알게 되었다. 상류측 여재가 약 60%를 포집하므로 주 여재에는 부하가 감소되는 효과가 있

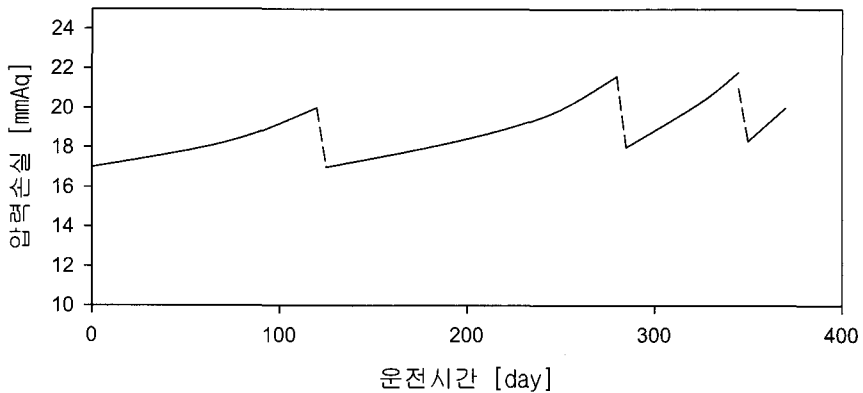


그림 18. 해염입자 제거필터의 운전 시험 중 압력손실 상승 현황

음을 알게 되었다.

운전 시험중의 압력손실의 상승은 그림 18에 나타나 있다. 점검시 팬을 정지시킴으로써 압력손실이 하강됨을 알 수 있으며, 압력손실 상승 그래프도 굴곡이 있음을 알 수 있다.

5.3 해염입자 제거에 관한 시험결과

운전 시험으로 측정된 시험결과는 아래의 표와 같다.

1) 시스템의 각 필터의 해염입자 제거효율

Gallery, Eliminator를 포함한 시스템의 각 부분

표 2. 시스템 각 부분의 해염입자 포집효율

필터	各 單體別 포집효율 ¹⁾ (%)	외기에 대한 포집효율 ²⁾ (%)
Gallery+ Eliminator	60~82 평균 : 74	74
Rough filter	26~66 평균 : 43	85
해염입자 제거필터	90~96 평균 : 91	99
HEPA 필터	검출한계 이하	검출한계 이하

샘플링방법 : Low volume sampler

분석방법 : Flame 광도법

※ 1. 각 필터의 상류측 농도와 하류측 농도로부터 산출

※ 2. 외기 입구 농도와 각 필터 하류측 농도로부터 산출

의 해염입자 포집효율을 표 2에 나타내었다.

해염입자는 직경이 꽤 크기 때문에 Gallery 및 Eliminator에서 전체중량의 약 70%가 제거된다. 그 결과 스텐레스재의 Gallery도 부식되고 있다.

2) 상대습도 조절 효과

해염입자 제거필터 상류측에 전기 peak를 일으키고, 습도제어에 따른 통풍공기의 상대습도가 60% 이하가 되도록 제어하여 시험을 행하였다. 그 결과 중성능 필터 상류측의 알루미늄 세파레타의 부식이 거의 발생되지 않았다. 따라서 부식에 대응하기 위하여는 상대습도의 조절이 필요하며, 염분이 녹는 것을 방지할 수도 있다.

3) 가스제거필터의 효과

시스템의 해염입자 제거필터의 하류측에 가스제거필터(활성탄 필터 및 케미컬 필터)를 설치하고 HEPA 필터 하류측에 鋳板을 통풍 공기중에 노출 시험을 하였다. 가스제거필터가 없을 때는 HEPA 필터 하류측에 약간의 변색이 있었다. 가스제거필터를 설치하고 시험한 결과 하류측에 어떤 변색도 일어나지 않았다. 이 시험은 육안으로 확인하기 위함과 변색도의 정량화 및 변색에 영향을 주는 물질을 알기 위함이었으며, 부식 문제의 경우 가스물질의 영향을 무시할 수 없음을 알 수 있었다.

4) Cl의 가스화

운전 시험중 일부 Cl에 대하여 측정하였다. 하절기 나트륨의 농도에 비하여 Cl의 농도가 대단히 낮음을 알게 되었다. 이 현상은 low volume sampler의 여재에 포집된 해염입자로부터 Cl이 가스로 되게 하기 위한 방법이다. 문헌으로도 대기중의 Na과 Cl의 비율은 NO_x 농도와 상관관계가 있다고 보고되고 있다.

6. 분석방법

6.1 원자흡광분석

시료를 炎, 전기가열, 화학반응에 의거 基底狀態의 원자에 해리시켜, 여기에 동종의 원소로부터 방출된 특정파장의 빛을 투과시켜, 외측전자에 의거 발생분을 흡수하여 측정한다.

6.2 Flame분석

시료용액을 炎中에 분무함에 따라 열에 의하여 발생하는 원자, 이온 등의 外側子가 다시 낮은 에너지상태로 천이될 때 발생하는 광을 측정한다. 이것의 강도로부터 量分析이 가능하다. 또한 스펙트럼선의 파장은 원소에 따른 특유한 炎色の 관찰에 따라 정성분석이 된다.

6.3 흡광광도분석

呈色溶液, 定量成文과의 반응에 의거 발생하는 呈色化合物의 용액에 光(가시영역 중심에서 350~800nm)이 分子軌道電子에 의거 呈色化學의 흡수를 吸收極大波長의 위치로 측정한다. 그 강도에 의거 정량분석한다.

6.4 전위차분석

시험용액중의 목적이온에 대하여 선택성이 있는 지시전극(이온전극 등)과 참조전극을 침투시키고 그 전위차를 측정한다. 전극전위의 값으로부터 농도를 구한다.

6.5 크로마토그래프 분석

固定相에 대하여 흡착성 또는 分配係數 등 각 분자에 의거 다르고 칼럼내의 이동속도에 차이나는 것을 이용하여 혼합물을 분리한다. 열전도도 혹은 굴절율의 변화 등에 의거 검출분석하는 방법

으로서 그 유지용량 또는 유지시간에 따른 정성분석, peak 면적에 의한 정량분석이 가능하다. 移動相의 기체의 가스크로마토그래프법(GC)법, 액체의 크로마토그래프법(LC)법이 있다. 또한 固定相의 분리방법에 의거하여 흡착, 분배, Gel침투, 이온교환 크로마토그래프법 등이 있다.

7. 해염입자 제거필터의 종류 및 사양

해염입자 제거필터는 크게 세파레타 타입과 세파레타레스 타입으로 구분된다. 그 사양은 표 3 및 4와 같다.

표 3. 세파레타 타입 필터의 사양

구 분	재질 및 사용조건
프레임	합판, 아연도금 강판, SUS 등
여재	glass fiber(이중구조) : two layer type
Separator	플라스틱, 특수코팅 알루미늄
접착제	우레탄, hot melt 등
Gasket	네오프렌, EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer) 등
최고사용 온도	60℃
최고사용 습도	98% RH
풍속	2.5m/sec
압력손실	13~18mmAq
효율	60~90%(비색법)

표 4. 세파레타레스 타입의 사양

구 분	재질 및 사용조건
프레임	합판, 아연도금 강판, SUS 등
여재	polyester + polypropylene(융착방식)
접착제	우레탄, hot melt
Gasket	네오프렌, EPDM
최고사용 온도	60℃
연속사용 온도	40℃
최고사용 습도	98% RH
풍속	2.5m/sec
압력손실	13~18 mmAq
효율	60~90% (비색법)

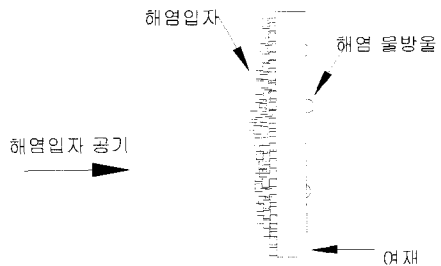


그림 19. 1중 구조의 해염입자 포집현황

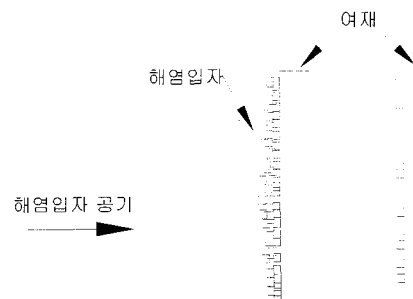
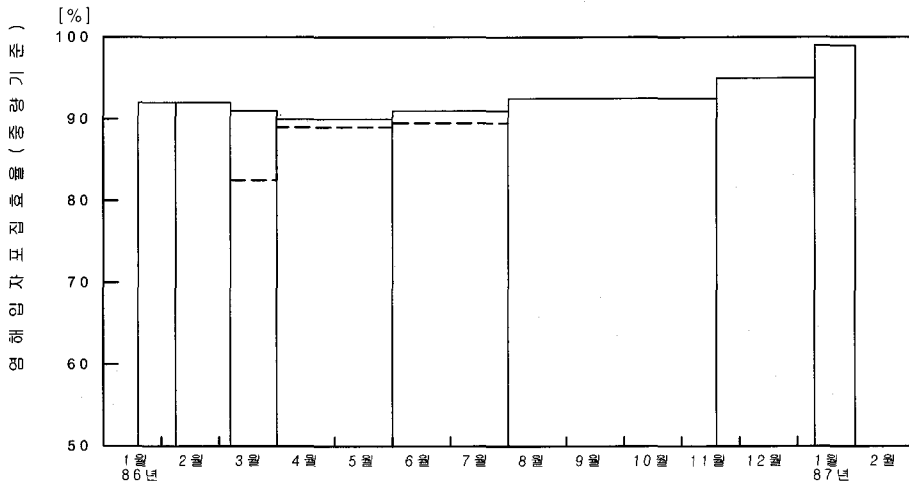


그림 20. 2중 구조의 해염입자 포집현황

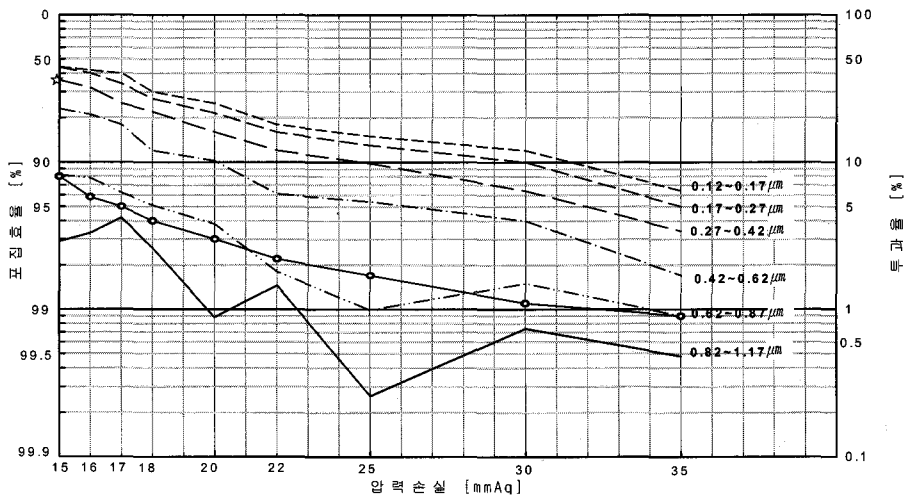


Sampling 방법 : Low Volume Air Sampler

분석방법 : Flame 광도법(Na)

실선 : 해염입자 제거용 필터, 점선 : 일반 필터

그림 21. 해염입자 제거의 운전시험 결과



분진공급량	244g
분진유지용량	237g
측 정 일	1990. 5. 30
온 도	21 ~24℃
습 도	60 ~35%RH
기 압	768 ~769mmHg

Key	측정방법
☆	HOT DOP(0.3μm)
-●-	광산란적산법

그림 22. 해염입자 제거필터의 압력손실과 포집효율 변화

8. 맺음말

해염입자 제거필터를 공기흡입구에 설치하면 필터 하류측의 해염입자의 농도는 크게 감소된다. 또한 서해안(영종도 신공항)의 밀물, 썰물 현상이 있어도 포집된 해염입자의 재비산의 문제가 없음이 확인되었다. 그러나 기타 가스상의 문제는 계속 있으므로 지속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

- 참고문헌 -

1. 캠브리지필터, 해염입자 제거필터의 기술자료.
2. 캠브리지필터, 해염입자 제거필터의 해변에서의 성능시험 자료.
3. 캠브리지필터, SALTARRESTOR의 카타로그.