

건조제를 이용한 냉방의 위생효과^{주)}

The sanitizing effects of desiccant-based cooling

강 경 태
K. T. Kang
한국생산기술연구원



- 1965년생
- 기계공학을 전공하였으며 제습식과 환경분야에 관심을 가지고 있다.

최 미 경
M. G. Choi
약사



- 1965년생
- 약학을 전공하였으며 보건 분야에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

공기 중에 존재하는 미생물(바이오에어로졸, bio-aerosol)은 많은 질병 발생의 원인이다.¹⁾ 의학계에서는 바이오에어로졸과 공기 매개성 질병의 전파와의 연관성이 잘 알려져 있다.²⁾ 특히 결핵, 수두, 홍역, 천연두의 발병은 공기를 통한 질병 전파의 중요성을 확인시켜 준다.³⁾ 그러나 IAQ(indoor air quality)의 영향은 최근에서야 조사되었다. 보건의료기관과 연구실험실에서는 세균과 진균의 감염이 HVAC 시스템을 통해서 종종 일어난다.⁴⁾ 유사한 IAQ연구에서는 바이오에어로졸이 빌딩증후군과 같은 빌딩과 관련된 질병(building-related illness, BRI), 감염, 중독성 증상, 민감성 질병과 1차적

로 연결되어 있음을 발견되었다.⁵⁾

1980년 초반이래 IAQ에 관련된 질병과 불만은 꾸준히 증가해왔다. 1980년대에 National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)에 의해 행해진 IAQ에 관한 조사에서 오염균이 문제가 있는 건물의 5%에서 발견되었고⁶⁾ 최근의 조사에서 IAQ 문제의 35~50%에서 미생물이 주원인이 밝혀졌다.⁷⁾ 전염병 발생률과 BRI의 증가는 종종 불충분한 환기나 과도한 재순환 공기가 원인으로 간주되어 왔으나 많은 연구들은 부적절한 신선한 공기가 IAQ 문제의 주요 원인을 규명하였다.⁸⁾

신선한 외기(사전 온도도 조절을 하지 않은 외기의 양을 증가시키는 것은 또한 습도를 증가시킬 수 있다. 과도한 양의 습기(상대습도 60% 이상)는 곰팡이가 번성할 조건을 제공한다. 바이오에어로졸은 습기와 관련이 있기 때문에 상대습도를 60% 이하로 유지하는 것은 미생물의 억제에 도움이 될

주) Brian Kovak, P. Richard Heimann and Jay Hammel, The Sanitizing Effects of Desiccant-Based Cooling ASHRAE JOURNAL April, 1997, pp. 60~64.

것이다.⁹⁾ 오염균을 억제하는 것과 빌딩 거주자의 건강을 유지하는 것은 주로 적절한 온도, 습도, 환기(쾌적함의 기준)의 적절한 범위를 유지하는데 달려 있다. 쾌적함의 기준이 HVAC 시스템에 의해서 조절되므로 이러한 원칙과 결합된 HVAC 시스템은 쾌적한 환경을 유지하는데 유용할 수 있다.

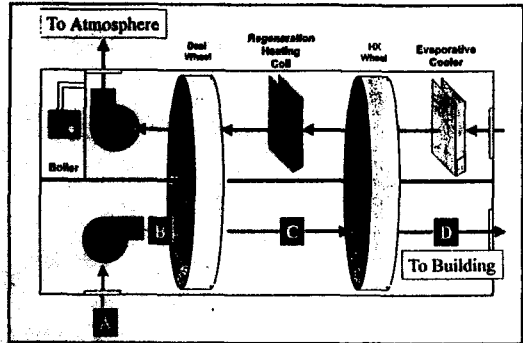
이 연구의 목표는 건조제를 이용한 냉방시스템이 바이오에어로졸에 대한 위생 효과를 시험하는 것이다. 이 연구는 바이오에어로졸을 조절하는 메카니즘으로서 건조제를 이용한 냉방시스템의 이용에 초점을 맞추고 있다. 일반적인 공조기와의 비교는 행해지지 않았고 이는 본 연구의 범위를 벗어난다. 건조제를 이용한 공조(desiccant-based air conditioning, DBAC) 시스템에서 건조제는 공기 중의 습기를 제거하는데 사용된다. Hines 등(1990)에 의해 지적되었듯이 건조제 시스템은 실내 공기의 질을 향상시키고 미생물의 수준을 감소시킨다.¹⁰⁾ DBAC 시스템에 대한 예비 연구는 미생물이 이 시스템을 통과할 때 감소됨을 제시하였다.¹¹⁾

이 연구는 현장과 실험실 조건에서 이러한 이점을 시험하기 위해 고안되었다. 바이오에어로졸이 현장에서 작동하는 DBAC 시스템을 통과함으로써 감소되는지, 특정 전염성 미생물이 이 시스템을 통해 감소되는지의 여부를 결정하기 위한 두 부분으로 구성되었다. DBAC시스템에 대해서 세 곳의 현장과 실험실에서 연구가 수행되었다.

현장에서의 실험은 이 시스템을 통해 바이오에어로졸이 감소되는 지를 평가하고 실험실 조건에서의 연구는 건조제 휠(desiccant wheel)에서 병원 내 감염의 원인이 되는 엄선된 미생물 집단의 변화를 테스트하는 것에 초점을 맞추었다.

병원내 감염은 병원에서 심각한 문제이다. American Journal of Medicine¹²⁾에 발표된 연구에 의하면 1986년~1989년 동안 Escherichia coli, Enterococcus, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus와 응고 촉진 효소에 음성인 Staphylococcus(epidermis)가 주요한 병원 내 감염의 원인이 되는 5가지 미생물이다. 이러한 발견의 결과에 따라서 이들 다섯 가지 미생물이 이 연구의 중요한 부분으로서 선택되었고 또한 Mycobacterium fortuitum과 Candida albicans에 의

한 병원내 감염이 만연하기 때문에 이들도 이 연구에 포함되었다. 따라서 모두 7가지가 테스트 미생물로서 선택되었다. 전반적인 발견 뿐 아니라 각 부분의 결과는 나열될 것이다.



측정지점	빌딩 공급 공기 유동
A	팬을 통하여 공기(0~100% 신선한 외기) 유입
B	건조제 휠의 흡착에 의한 제습. 잠열은 현열로 변환됨. B지점과 C지점 사이의 공기는 매우 건조하고 더움
C	열교환 휠이 열을 차거운 재생 공기로 이동
D	D지점의 공기는 매우 건조하나 적당한 온도 가짐

그림 1 Schematic diagram of DBAC (desiccant-based air conditioning) system showing measuring position

2. 재료와 방법

2.1 HVAC 시스템

테스트 장치는 제습을 위해 건조제 휠, 건조제의 재생을 위한 180°F(82°C)의 열원, 냉방을 위한 간접 증발식 냉각기와 열교환기의 배치로 구성된다. 테스트 장치는 250fpm(76.2m/s)의 표면 속도로 100ft³(283L)의 공기를 이동시킨다. 바이오에어로졸은 전체 장치의 영향을 평가하기 위하여 현장 환경 연구에서 A와 D지점에서 채취된다. 실험실 장치에서는 건조제 휠의 영향을 알아보기 위해서 B와 C지점에서도 채취한다.

2.2 시료채취와 분석방법

네 개의 건조제를 이용한 공조 시스템이 바이오 에어로졸을 감소시키는 영향을 결정하기 위해 이용되었다. 현장에서의 연구는 보통의 작업 환경 하에서 성능을 관찰하기 위해 세 개의 DBAC 장치가 이용되었다. 세 개의 DBAC장치는 바이오 에어로졸(특히 세균과 진균)이 항상 문제가 되는 보건요기관에 설치되었다. 2개의 장치는 개인병원에서 환자가 있는 곳(장소 1과 2)에 하나의 장치는 양로원의 식당(장소 3)에 설치하였다. 각각의 장치는 입구에 표준 30% 필터가 사용되었고 각 기관마다 DBAC장치를 설치하지 않은 방이 대조군(control room)으로 이용되었다.

실험실 연구를 위해서 하나의 DBAC 장치가 7개의 선택된 미생물에 대한 DBAC시스템의 영향을 평가하기 위해 대학 미생물 실험실의 온습도가 조절되는 격리된 챔버에 설치되었다. 특정 미생물에 대해 이 시스템을 테스트하는 것에 더하여 실험실적 연구는 건조제 휠의 영향을 격리하고 검토하였다. 건조제 휠은 갑작스런 건조와 가열작용 때문에 미생물에 대한 가장 큰 영향을 미치는 원인으로 미생물의 감소가 일어날 것 같은 지점으로 의심되었다. 미생물은 공기유동 속으로 주입되었고 건조제 휠 바로 앞 장소 B에서 즉시 채취되었고 건조제 휠 바로 다음 장소 C에서 다시 채취되었다. 이 연구 동안에 사용된 모든 DBAC시스템은 같은 타입이고 같은 제조업체에서 제조되었다.

바이오에어로졸의 샘플링 계획은 Bioaerosols Committee of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH)¹³⁾에 의해 발간된 지침서를 기초로 하여 수립되었다. 모든 시료 샘플링과 분석은 ACGIH 지침서와 시료 샘플링 계획서에 따라 수행되었다.

현장 환경과 실험실적 연구 모두에서 바이오에어로졸 시료는 Anderson 시료샘플러(Anderson viable particle sampler)로 샘플링되었다. Anderson 시료샘플러는 특수한 형태의 임팩터(impactor)로 바이오에어로졸의 시료 샘플링의 표준적 방법으로서 많은 산업 현장의 위생학자에 의해 사용되어 왔다. 미생물의 총수는 각각의 시료에 대해서 공기 1평방 미터당 형성된 균체 단위(colony

forming unit per cubic meter of air, CFU/m³)로 정하고 균체의 총수는 현장에서의 연구동안에 모아진 유일한 미생물 데이터이다. 진균에 대한 시료는 Malt Extract Agar(MEA)에 의해서 수집되었고 세균 시료는 Trypticase Soy Agar(TSA)에서 수집되었다. 모든 시료 접시는 무균 상태에서 준비되었다. Anderson 시료샘플러는 0.238m³의 공기의 시료를 10분당 1cfm의 속도로 샘플링한다. 임팩터는 장소가 바뀔 때마다 70% 에탄올로 멸균되었다.

현장 연구에서 바이오에어로졸의 시료 샘플링은 10주 정도의 기간 동안 각 장소에서 10번씩 행해졌다. 시료는 DBAC 장치의 네 시료 채취 장소에서 샘플링되었다. DBAC 장치가 설치된 테스트 방, DBAC 장치가 설치되지 않은 방, 대조군 방 이렇게 세 장소가 선택되었다. 테스트 방 내에서 DBAC 장치의 입구와 출구가 각 시료 샘플링 지점으로 선택되었다. 이 곳은 공기 중에 존재하는 미생물이 이 장치에 들어가고 나옴에 따라 그 농도를 비교하기 위해서 선택되었다. 세 번째 시료 샘플링 장소는 방 내에서의 전체적인 농도를 알아보기 위해 방 한가운데를 선택하였다. 대조군 방에서는 DBAC 장치 없이 방 내의 미생물 농도를 알아보기 위해 방의 중앙을 시료 샘플링 장소로 선택하였다.

한 세트는 세균검사를 위해 다른 한 세트는 진균검사를 위해서 즉 두 가지 세트의 시료가 각각의 장소에서 샘플링되었다. 각 기관에서 시료샘플링이 끝났을 때 시료는 다음 처리를 위해 즉시 실험실로 운반되었다.

실험실 연구에서는 7개의 선택된 세균과 진균의 알려진 농도의 바이오에어로졸이 DBAC 장치를 통과하였고 건조제 휠 전 후에 시료를 샘플링하였다. 데이터를 수집하기 전에 이 시스템에 도입된 각 미생물의 특정 수는 예비 테스트에 의해 정해졌다. 각 미생물마다 1,000개로 시작하는 미생물 용액이 준비되었다. 용액중의 미생물 수는 10배씩 증가하여 연무화한 미생물의 농도가 B지점에서 샘플링했을 때 각 시료접시에서 30에서 300개의 균체를 형성할 수 있는 있을 정도로 증가시킨 결과 필요 농도에 도달하였을 때 테스트할 미생물은 Micro-ULVA sprayer applicator에 의해 주

입구(A지점)에 주입되었다. 미생물에 의한 방안 공기의 오염을 피하기 위해 장치의 통로에 부착된 관을 통해 연무화되었다.

특정 미생물이 시스템(DBAC 장치)으로 주입된 다음 바이오에어로졸 시료는 B지점과 C지점에 위치한 통로를 통해 체계적으로 모아지므로 미생물 시료는 방안 공기를 오염시키지 않고 주입되고 제거된다. collection 효율을 높이기 위해 한 번에 하나의 미생물이 테스트되었다. 시료샘플링은 각 미생물마다 12~20회씩 반복되었다. 각 시료마다 균체의 수가 세어졌다. 세균수는 37°C(98.9°F)에서 48시간 배양한 후에 기록하고 진균수는 실온에서 6일간 배양한 후에 기록하였다 이 수는 각 방에서 테스트하기 위한 다양한 미생물의 변화와 미생물 간의 차이를 비교하기 위해 이용되었다.

3. 결 과

3.1 현장에서의 연구

세 장소 모두에서 테스트 방과 대조군 방에서 DBAC장치에 들어가고 나온 시료의 세균과 진균의 수가 비교되었다. 연구가 시작될 때 테스트 방과 대조군 방 모두에서 보통 정도 수의 미생물이 관찰되었다. 각 장소에서 아마도 테스트 단위가 작은 크기이기 때문에 테스트 방과 대조군 방에서 관찰되어지는 미생물의 수 사이에 어떤 명백한 관계는 없었다. 연구가 시작되기 전에 테스트 방과 대

조군 방에 존재하는 미생물의 수준은 비슷했다. 그림 2에서 보여지듯이 세 장소 모두에서 DBAC장치를 통과함으로써 세균과 진균 모두에서 감소함을 알 수 있다.

첫 번째 장소에서 10번의 실험 중 9번에서 세균수의 감소가 관찰되었다. 평균 감소율은 39%이었고 높게는 73%까지였고 하나의 시료는 전혀 감소를 보이지 않았다. 곰팡이의 수도 10개의 시료에서 평균 32%의 감소율을 보였다. 하나의 시료는 100%의 감소를 보인 반면 두 개의 시료에서는 전혀 감소를 보이지 않았다. 두 번째 장소에서는 10개 모두의 시료에서 세균수의 감소를 보였다 높게는 100%, 낮게는 25%, 평균 64%의 감소율을 보였다. 곰팡이 수 또한 평균 55%의 감소를 보였는데 하나의 시료에서는 94%의 감소를 다른 하나의 시료는 전혀 감소를 보이지 않았다.

세 번째 장소에서는 장치를 통과함에 따라 세균수의 지속적인 감소를 보였다. 평균 감소율은 64%이었고 높게는 95%, 낮게는 6%의 감소를 보였다. 곰팡이수도 장치를 통과함으로써 감소함을 나타내었다. 평균적으로 진균수의 감소는 72%를 나타내었고 높게는 90%, 낮게는 59%이다. 한 시료(6%)를 제외하고 이 장치를 들어온 세균과 진균의 50% 이상이 제거되었다. 세 곳 모두에서 DBAC 장치를 통과한 후의 세균수 감소의 중앙값은 39%~64%를 보이고 진균수 감소의 중앙값은 32%~72%를 보였다.

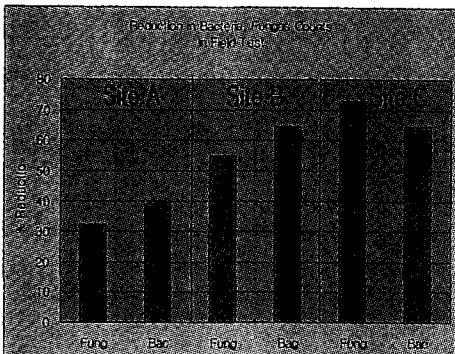


그림 2 All three field study sites displayed reductions in both bacteria and fungi across the DBAC unit.

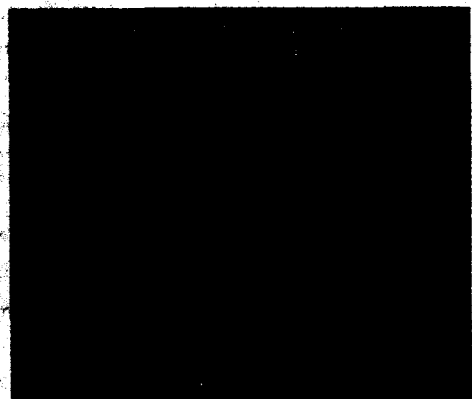


그림 3 An overall reduction was observed in six of the seven organism tested.

3.2 실험실 연구

미생물의 수는 B 지점과 C 지점에서 테스트할 미생물의 수를 세었다. 각 미생물에서 B지점에서 미생물의 수와 C지점에서의 미생물의 수를 비교하였다. 전반적인 감소가 7가지의 미생물 중 6가지에서 관찰되었다(그림 2). *M. Fortuitum* 은 테스트에서 어떤 감소도 보이지 않았다. B-C 비교를 보면 감소된 6가지의 미생물에서 16%에서 92%의 일관된 감소를 보였다.

테스트는 각 미생물에 대해 5내지 20회 실시하였다. 각 미생물에 대한 B-C 비교는 다음과 같다. *Escherichia coli*에 대해서는 10회의 비교를 하였는데 47%에서 100%까지 평균 83%의 감소를 나타내었다. *Staphylococcus aureus*에 대해 행해진 5회의 비교에서는 1%에서 47%까지 평균 26%의 감소를 나타내었다. *Staphylococcus epidermidis*에 대해서는 20회가 시행되었는데 16%에서 98%까지 평균 43%의 감소를 보였다. *Enterococcus faecalis*는 16회의 테스트에서 0%에서 42%까지 평균 13%의 감소를 보였다.

*Candida albicans*는 6회의 비교에서 13%에서 85%까지 평균 48%의 감소를 보였고 *Pseudomonas aeruginosa*에 대하여 행해지는 19회의 비교에서는 33%에서 61%까지 46%의 평균감소율을 보였다. *Mycobacterium fortuitum*에 대해서는 14회의 비교에서 전혀 감소를 보이지 않았다.

모두에서 테스트한 7가지 미생물에서 평균 38%의 감소를 보였다

3.3 토 의

세 곳의 현장에서의 연구 결과에서 보여지듯이 60회의 테스트 중 56회에서 세균(39%~64%)과 진균(32~72%)모두가 DBAC장치를 통과함에 따라 감소함이 관찰되었다. 바이오에어로졸의 지속적인 감소는 미생물이 DBAC장치를 통과할 때 감소한다는 생각을 뒷받침한다. 이러한 발견은 이전에 예비적으로 실시한 현장연구의 결과와 일치하였다.

실험실 연구결과의 중요성은 건조제 휠을 통과함으로써 테스트한 7가지의 미생물 중 6가지에서 보인 감소이다. 이것은 이러한 미생물은 특히 보건

의료기관에서 질병의 원인의 잠재적 가능성을 가진 "opportunistic 병원균"이기 때문에 특히 중요한 발견이다. *M. Fortuitum*에서 명백한 감소가 관찰되지 않는 것은 이 미생물의 세포벽의 구성성분으로 설명될 수 있다. *Mycobacterium*과 같은 항산성, 그람 양성 세균의 세포벽은 많은 양의 peptidoglycan을 함유하고 있다. 이 물질은 세포벽이 손상되고 파열되는 것을 막도록 도와주어 세포가 건조제나 열과 같은 기계적인 파괴에 대해 더 견딜 수 있게 한다. *M. Fortuitum*의 세포벽의 구조는 테스트한 다른 미생물의 세포벽보다 단단하기 때문에 건조제나 열에 더 잘 견딜 수 있게 했을 것이다. 만약 *M. fortuitum*이 건조과정을 견딜 수 있다면 이는 이 미생물의 높은 생존율의 원인일 것이다. 실험적 연구는 또한 건조제 휠이 현장 연구에서 보여진 감소의 원인임을 제시한다.

결국 이러한 데이터는 이전의 연구로부터 얻어진 발견들을 지지하고, 미생물의 감소는 DBAC 장치에 의해 영향을 받고 이러한 감소는 주로 건조제 바퀴를 통과할 때 일어난다.

4. 맺음말

이들 연구는 DBAC장치가 공기 중에 존재하는 세균과 진균의 수를 거의 모든 테스트(93%)에서 감소시킴을 보여주었다. 비록 원인이 되는 메커니즘이 규명되지는 않았지만 건조제 휠이 이들 감소의 주요 원인임을 명백하다. Hines 등(1992)에 의해 수행된 연구에서도 건조제를 이용한 공조 시스템이 증기가 존재하는 상태에서 실내 공기로부터 오염원을 제거하는 능력이 있음을 보여주었다.¹⁴⁾

습도의 감소가 간접적으로 바이오에어로졸의 농도를 감소시킨다는 것은 알려져 있다. 미생물의 농도는 습도가 높을 때 증가하기 때문에 DBAC 장치의 사용이 직접적으로는 건조에 의해서 간접적으로 제습에 의해서 실내공기 중의 미생물 수를 감소시킬 것이다. 이러한 이론은 건조제가 건조를 통해 미생물을 죽일 뿐만 아니라 공기 중으로부터 미립자를 제거할 가능성이 있다는 것을 발견한 Hines 등(1992)에 의해 주장된 바 있다.

이 연구는 건조제를 이용한 냉방 기술이 공기 중에 존재하는 미생물 오염원을 제거하는 데 유용하고 바이오에어로졸이 중요한 문제를 일으킬 수 있는 병원, 그 외 보건의료기관, clean room 환경이 필요한 곳에서의 사용이 고려되어야만 한다. 이 연구는 또한 이 기술이 빌딩중후군과 같은 빌딩과 관련이 있는 질병의 발병률과 실내환경에서 과민증 질환을 감소시키는 데 도움이 될 수 있음을 제안하였다.

참 고 문 헌

1. Wells, W.F., 1955, Airborne Contagion and Air Hygiene: An Ecological Study of Droplet Infections. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
2. Hugh-Jones, M.E., 1973, The Epidemiology of Airborne Animal Diseases. In: Airborne Transmission and Animal Infection, J. F. Ph. Hers and K. C. Winkler (eds.), Oosthoek Publishing Co., Utrecht, The Netherlands.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1989, Guidelines For The Assessment Of Bioaerosols In The Indoor Environment. Bioaerosols Committee, ACGIH, Cincinnati, Ohio, ISBN: 0-936712-83-X.
4. Pike, R.M., 1976, "Laboratory-associated infections. Summary and analysis of 3,921 cases", Health Lab. Sci. 13: 105-114.
5. Etkin, D.S., 1994, Biocontaminants in Indoor Environments, Microbial Contaminants in Indoor Air. Cutter Information Corp., ISBN: 0-943779-87-1.
6. The National Institute for Occupational Safety and Health, 1987, Guidance for Indoor Air Quality Investigations, Hazards Evaluation and Technical Assistance Branch, Cincinnati, Ohio.
7. Stetzenbach, L.D., 1994, Microbiology of indoor environments. Proceedings of Assessing Microbiological Contamination of Indoor Environments. Fairfax, Virginia, USA. Mid-Atlantic Environmental Hygiene Resource Center, Philadelphia.
8. The National Institute for Occupational Safety and Health, 1989, Indoor Air Quality, Selected References, Division of Standards Development and Technology Transfer, Cincinnati, Ohio, September.
9. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1990, ANSI/ASHRAE Standard 62-1989, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, ASHRAE Publications, Atlanta, GA, ISSN 1041-2336.
10. Hines, A.L., Ghosh, T.K., Loyalka, S.K., and Warder, R.C., Jr., 1991, "Investigation of Co-Sorption of Gases and Vapors as a Means to Enhance Indoor Air Quality", Report No. GRI-90/0194, Gas Research Institute, Chicago, Illinois, NTIS Document No. PB91-178806.
11. Phillips, J.A. : Wagner, M.B., 1994, Antiseptic Effects Of Dessicant Based HVAC Systems. Lehigh University, Bioprocessing Institute, Lehigh, PA.
12. Schaberg, et al., 1991, "Major Trends in the Microbial Etiology of Nosocomial Infection", Proceedings of the third Decennial International Conference on Nosocomial Infection. The American Journal of Medicine, September 16, 1991, Vol. 91 (3B) pp. 725-755.
13. The American Industrial Hygiene Association, 1984, Biohazards, Reference Manual. Biohazards Committee of AIHA; Cincinnati, Ohio.
14. Hines, A.L., Ghosh, T.K., Loyalka, S.K., and Warder, R.C., Jr., 1992, "A Summary of Pollutant Removal Capacities of Solid

and Liquid Desiccants from Indoor Air”, GRI-92/0157.1, NTIS No. PB95-104683, Gas Research Institute, Chicago.

15. Hines, A.L., Ghosh, T.K., Loyalka, S.K., and Warder, R.C., Jr., 1992, “Removal of

Particulates and Airborne Micro-Organisms by Solid Adsorbants and Liquid Desiccants”, GRI-92/0157.5, NTIS No. PB95-104709, Gas Research Institute, Chicago.