

오염 띠 두른 서울하늘 : 맑게 갠 서울 하늘이 높은 곳은 파란 하늘을 보이고 있으나 낮은 곳에는 뿌연 오염 띠를 형성하고 있다.



연합포토

3 대기환경기술

맞춤형 기능성 물질로 '유해대기' 선택적 분해

글_ 김영성 KIST 대기자원연구센터 ysgchim@kist.re.kr

망은 오염현상들이 대기환경과 관련하여 거론되고 있다. 경제적으로 번영한 1960년대에는 높은 굴뚝에서 뿜어져 나오는 검은 연기에 환호하기도 하였다. 그러나 1970년대에는 열악한 산업현장을 중심으로 환경오염의 폐해들이 보고되기 시작하였고, 1980년대에는 옷깃을 검게 하고 코를 찌르는 매연에 눈살을 찌푸리기도 하였다. 1990년대에 들어서는 한 이름 낮지만 뜬금없이 나타났다 사라지는 오존을 걱정하게 되었다. 최근 몇 년간은 수 차례 대형 황사가 도래하면서 중국으로부터 오염물질 유입이 심심찮게 사회적 이슈가 되고 있다.

중국으로부터 오염물질 유입이 문제가 되는 것은 역설적이지만 우리의 대기환경이 상대적으로 깨끗해졌기 때문이다.

1980년대에는 우리 자신의 오염이 심각하였기 때문에 설사 외부로부터 얼마만큼 오염물질이 유입되었더라도 큰 이슈가 될 수 없었다. 오존은 질소산화물과 휘발성 유기화합물이 대기 중에서 반응하여 생성되는 2차 오염물질이다.

반면 아황산가스, 매연, 일산화탄소 등은 오염원으로부터 직접 배출되는 1차 오염물질이다. 오존이 노약자와 호흡기 환자에게 유해한 것은 사실이나 1차 오염물질과 같이 치명적이지는 않다. 1948년 미국 펜실베이니아주 도노라에서 주민 1만4천명 중 6천여 명이 호흡기 질환으로 병원을 찾은 것이나 1952년 런던에서 4천 명의 사망자가 발생한 것은 모두 오염원으로부터 직접 배출되는 1차 오염물질 때문이었다.

원인물질 줄어도 대기화학 반응으로 오염 증가

그럼에도 불구하고 오늘날 오존 등 2차 오염물질이 문제가 되는 것은 오염의 지속성과 광역성, 그리고 무엇보다도 관리가 어렵기 때문이다. 1차 오염물질은 주로 연료를 사용하는 과정에서 배출되므로 연료를 많이 사용하는 대형 사업장에서 오염물질이 배출될 때 인근에서 농도가 높았다. 그러나 오존 등 2차 오염물질은 차량 이용을 비롯하여 페인트, 인쇄, 드라이클리닝 등 생활 전영역에서 원인물질이 배출되며 이들이 대기 중에 존재하는 한 오존을 생성시킨다. 배출원이 다양한 만큼 오염 영역이 넓고 반응에 필요한 시간 때문에 수십, 수백 km 떨어진 곳에서도 오염도가 높아질 수 있다. 뿐만 아니라 2차 오염물질은 복잡한 화학 반응이 관여하기 때문에 원인물질을 줄더라도 비례하여 줄지 않을 뿐 아니라 경우에 따라서는 증가할 수도 있다.

1차 오염에서는 대기 중 농도가 오염물질의 배출에 비례하므로 배출원에서 오염물질을 얼마나 많이 줄일 수 있느냐가 기술개발의 핵심이었다. 그러나 2차 오염에서는 지역마다 오염현상이 다르기 때문에 오염 요인을 파악하기 위한 평가기술이 1차적으로 중요하다. 평가결과를 토대로 대책을 수립하며, 모델링이라 부르는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 대책의 효과를 확인한 후 시행하게 된다. 모델링은 오염의 메커니즘을 이해하기 위하여 평가단계부터 광범위하게 이용되며, 이를 점검하고 보완하기 위하여 반응의 원인물질과 중간물질, 최종 생성물을 다양하게 측정하고 분석한다.

지역별로 차이가 있으나 우리 나라는 대체로 1980년대 말부터 1990년대 초 사이에 1차 오염물질의 농도를 현저하게 낮출 수 있었다. 여러 가지 대책들이 시행되었으나 요약하면 값비싼 깨끗한 연료를 사용함으로써 오염물질 발생을 원천적으로 봉쇄한 까닭이다. 많은 요인들이 얽혀있어 1차 오염과 같이 만족스럽지는 않겠지만 2차 오염도 멀지 않은 시일내에 해결의 가닥을 찾을 수 있을 것으로 기대된다. 현재로는 2차 오염 해결이 가장 중요한 현안이나 1차 오염이 중요할 때 2차 오염이 이미 진행중이었던 2차 오염 이후의 대기환경문제들도 이미 주어져 있다.

2차 오염 이후 3세대 오염 현안은 크게 두 가지 측면에서 바라볼 수 있다. 한 가지는 물리적 규모의 확대이다. 2차 오염은 1차 오염만큼 단기간에 치명적이지는 않으나 훨씬 오랜 기간

넓은 지역에 피해를 주고 있다. 그러나 3세대 오염은 이와는 비교할 수 없을 만큼 규모가 크고 심대한 영향을 주며, 그것이 바로 기후변화이다. 두 번째는, 양은 적으나 독성은 훨씬 큰 미량독성 유해물질의 문제이다. 2차 오염에서도 대기화학반응이 관여하므로 원인물질부터 생성물까지 1차 오염보다 훨씬 다양한 물질들을 감시하여야 한다. 그러나 화학물질 사용이 늘어나면서 유해화학물질 수가 증대되고 다이옥신과 같이 의도하지 않은 반응에 의하여 맹독성의 물질이 생성되기도 한다. 지금까지는 아황산가스, 오존, 미세먼지 등 대기 중에 광범위하게 존재하는 물질들을 환경기준을 설정하여 대기 중 농도로서 관리하였으나, 수많은 유해물질을 이와 같이 관리할 수는 없다. 기후변화와 유해물질 문제를 미래의 대기환경문제로 보아 최근의 기술개발 동향과 앞으로의 전망을 살펴보자.

온난화 기체, 에어로솔이 지구 기후변화 일으켜

기후변화는 오염물질에 의하여 기상이 변하고 장기적으로는 기후가 변한다는 점에서 지금까지의 오염현상과는 기본적으로 다르다. 1, 2차 오염에서 기상 현상은 오염 현상에 일방적으로 영향을 미쳤다. 예를 들어, 1차 오염물질은 바람이 정제될 때 농도가 높고, 오존은 기온이 높을 때 농도가 상승하나 1차 오염물질과 오존에 의하여 기상이 변하는 것으로 생각하지는 않았다. 그러나 실제에 있어서는 오존이 이산화탄소, 메탄에 이어 가장 중요한 온난화 기체의 하나라는 사실에서 짐작할 수 있듯이 오염물질은 기후변화에 영향을 미치지 않는 것은 아니었다. 단지 고농도 오존의 위해성이 당장 중요하기 때문에 지표 부근 오존이 전체적으로 기후변화에 미치는 영향이 상대적으로 무시되었을 뿐이다.

이산화탄소, 메탄 등 온난화 기체에 의한 기온 상승은 최소한 50년, 100년의 시간을 두고 천천히 진행되지만 주변의 산림이 변하고 바다가 변하고 겨울과 여름이 변함으로써 우리 생활을 바꾸기 때문에 기존 오염과는 차원이 다르다. 더욱 중요한 것은 이와 같은 변화가 우리가 배출하는 오염물질에 의하여 진행되며, 그 변화의 규모가 너무 커서 결과를 정확히 짐작하기 어렵다는 점이다. 그럼에도 온난화 기체에 의한 기온 상승은 너무 천천히 전세계적으로 진행되기 때문에 즉각적인 조치를 강구하기는 쉽지 않다.

하지만 1990년대 후반 에어로솔에 의한 기후변화가 부각되

면서 상황이 바뀌었다. 에어로솔은 고체나 액체 상태로 대기 중에 떠있는 물질을 지칭하나 대부분은 미세 먼지이다. 에어로솔은 보통 황산염, 질산염과 같은 이온성분과 탄소성분 그리고 대부분 토양에서 비롯된 기타 성분으로 구성된다. 이 중 이온 성분은 지구를 냉각시키고, 탄소성분은 기온을 높이며, 에어로솔 전체로는 구름의 형성에 영향을 미쳐 온난화 기체에 의한 기온 상승을 약화시키거나 오히려 기온을 떨어뜨릴 수 있다.

에어로솔은 또한 온난화 기체와 달리 지역 편차가 커서 유럽과 아시아가 다르고, 중국과 한국이 다르다. 에어로솔의 이와 같은 지역 편차는 기온과 함께 강우 패턴에도 영향을 미쳐 근래에 계속되는 중국 북부의 가뭄과 남부의 호우는 에어로솔 중 탄소성분 변화가 원인이며 인도에서도 유사한 형태의 기후변화를 예상하고 있다. 즉, 에어로솔에 의한 기후변화는 환경오염에 의한 큰 변화가 먼 미래가 아닌 지금 당장의 위협으로 다가올 수 있음을 의미한다.

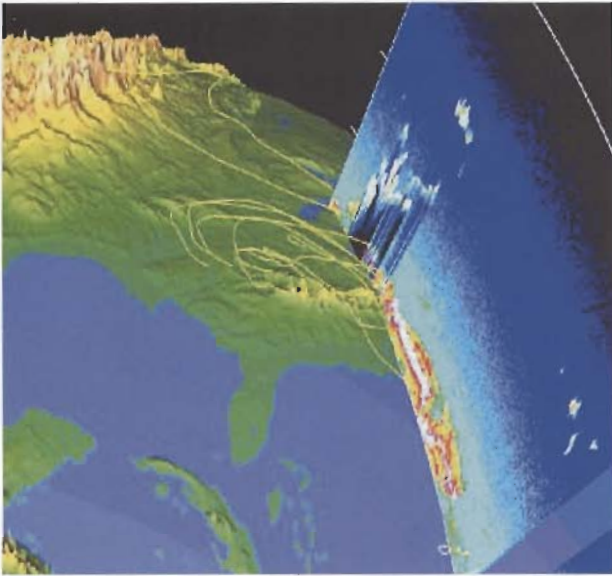
온난화 기체에 의한 것이든, 에어로솔에 의한 것이든 이들에 의하여 기후가 얼마만큼 변화할 것인가를 예측하는 것은 간단한 작업이 아니다. 2차 오염에서도 그러하였지만 이와 같은 작

업에는 모델링을 이용한다. 지난 10년간 지구규모의 모델링 기술이 많이 발전하였으나 지구상의 다양한 변화를 대부분 무시한다 하여도 50년, 100년 후를 예측하기는 쉽지 않고, 1년 후를 목표로 한다 하여도 한반도와 같이 일부 지역의 변화를 정확히 알기는 힘들다. 그러나 에어로솔에 의한 기후변화는 최소한 수년, 수십년 후의 변화를 상세히 알 것을 요구하고 있다.

미래의 변화를 상세히 알기 위하여서는 먼저 지금의 변화를 상세하고 정확하게 알아야 한다. 지난 10년간 지구규모 모델링 기술이 발전할 수 있었던 것은 항공기와 인공위성을 이용하여 지상 측정으로는 불가능한 넓은 지역의 오염물질 농도 변화를 알아볼 수 있게 되었기 때문이다. 특히 최근 3~4년 사이 위성관측 기술이 크게 발달하여 지구상의 에어로솔 크기와 주요 성분 변화를 실시간으로 보여주고 있다. 또한 지금까지는 수평 변화를 주로 보여주었으나 향후 2~3년 사이에 고도별 변화까지 보여줄 수 있을 것으로 예상하고 있다. 수년간의 상세한 관측자료가 확보되면 이를 이용함으로써 지구규모 모델링 기술은 더욱 빠르게 발전하며 그만큼 기후변화 예측도 정확하여 질 수 있다.



서울환경운동연합 생활환경실천단 지구택시 환경콜 회원들이 서울 인양천변 신정교 밑 운동장에서 연간 10조 원의 대기오염 피해를 줄이자는 의미로 차량을 이용, '10조'라는 글자를 만들고 캠페인을 벌이고 있다.



레이저를 이용하여 인공위성으로부터 에어로솔의 2차원 분포를 측정하는 모습을 상상한 그림. 미국 남동쪽에서 중서부 방향으로 위성이 이동하는 모습을 가정. 미국 NASA에서 시험중에 있으며 2~3년 사이에 실용화가 가능할 것으로 예상된다.

활성탄으로 유해물질 흡착시켜 제거

유해물질 문제는 수많은 화학물질을 어떻게 효율적으로 관리하고 저감하느냐의 문제이다. 2차 오염에서도 원인물질부터 생물물까지 다양한 물질들을 감시하여야 하며 주요 원인물질 중 하나인 휘발성 유기화합물에도 상당수의 유해물질이 포함되어 있다. 또한 미세먼지 중에는 미량이지만 크롬, 납, 카드뮴, 비소 등 유해한 중금속 성분이 포함되어 있다. 그러나 2차 오염에 관여하는 수많은 물질은 오존 농도를 위하여 관리되며, 미세먼지 역시 개별 성분과 무관하게 전체 질량농도로서 관리되기 때문에 개별 물질에 대한 구체적 정보는 필요하지 않다. 그러나 이들 중에 특별히 유해한 성분을 선택하여 감시하고자 한다면 상황은 달라진다.

유해물질의 경우도 이황산가스, 오존 등과 같이 기준을 재정의하여 농도로 관리하는 방안을 생각할 수 있다. 그러나 당연히 예상할 수 있지만, 개별 오염에 노출될 때와 두 개 이상의 오염물질이 농도가 높을 때 인체에 대한 위해성은 같을 수 없다. 실제 1차 오염의 경우도 이황산가스와 부유먼지가 함께 높을 때 위해성이 훨씬 높은 것으로 알려져 있다. 수많은 유해물질이 관여할 때에는 물질들 사이에 상승작용 뿐 아니라 억제, 촉진, 방해 등이 가능하기 때문에 문제는 더욱 복잡하다. 이에 따라

개별 물질에 대한 상세한 특성과 함께 혼합물에 노출될 때 어떠한 방식으로 위해성을 산정하여 합산할 것인가에 대한 연구가 활발하다.

개개 물질을 농도와 같은 물리적 양으로 관리할 수 없다면 당초의 목적에 충실하게 위해성을 토대로 관리하는 방안을 생각할 수 있다. 이와 같은 필요성은 많은 유해물질이 대기 중에만 존재하지 않기 때문에 더욱 그러하다. 물론 벤젠, 포르말린과 같이 휘발성이 강한 물질은 대기 중에 주로 존재한다. 그러나 다이옥신과 같은 물질의 경우 대기는 이동 수단일 뿐 대부분 토양이나 수중 침전물에 존재한다. 매체별 분포를 파악하여 노출 정도에 따라 위해성을 통합 평가하여야 실질적 관리가 가능하다.

미량의 유해물질이 다양하게 존재할 때 어떠한 방식으로 처리할 것인지도 중요한 과제다. 이황산가스나 질소산화물은 상대적으로 양이 많으므로 탈황, 탈질 등 개별적 처리가 가능하였다. 미세먼지에 포함된 중금속은 먼지를 포집함으로써 제거하고 휘발성 유기화합물 형태의 유해물질은 소각이나 흡착·흡수하여 처리하는 등 상당한 수의 유해물질은 유사한 불질을 함께 처리함으로써 효율을 높일 수 있다. 그러나 유해물질을 언제나 유사한 그룹으로 묶어 처리할 수 있는 것은 아니다.

현재 미량으로 존재하는 유해물질은 주로 활성탄으로 흡착시켜 제거하는 방법이 많이 이용되고 있다. 다이옥신도 활성탄에 흡착이 잘 되기 때문에 다이옥신 제거 설비에는 어떠한 방식이든 활성탄이 활용되고 있다. 그러나 이와 같은 처리에서는, 충분한 처리는 가능하지만 얼마나 효율적일지는 장담하기 쉽지 않다. 가장 이상적인 방법은 극미량이 존재하더라도 선택적으로 접근하여 분해하는 것이다. 최근에는 10° 정도의 나노 크기에 꼭 필요한 기능만을 부여하여 효율을 극대화하거나, 활성탄을 이용하는 기존의 방법 대신 나노크기의 탄소튜브를 이용하여 다이옥신을 효과적으로 제거하는 방법들이 제안되고 있다. 전자제어에 의한 스마트탄이 선택된 목표를 정확하게 공격하듯 맞춤형의 기능성 물질이 극미량의 맹독성 유해물질을 선택적으로 공격하여 분해하는 기술을 기대하여 본다. 57



김선연은 한국과학기술원에서 박사, 학위과정공학을 받은 후 한국에너지기술연구소를 거쳤다.