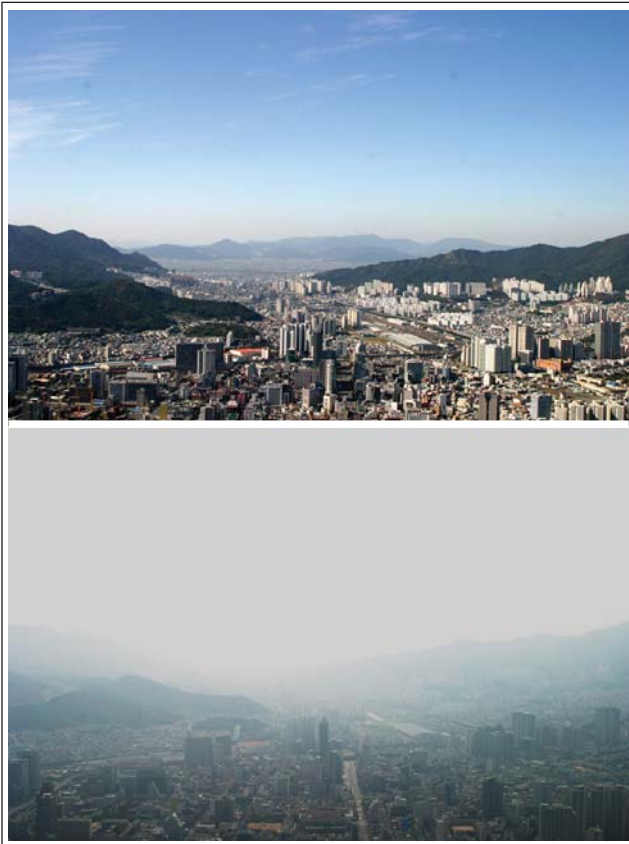


스모그

■ 스모그란 무엇인가?

스모그(Smog)란 **연기(Smoke)**와 **안개(Fog)**의 합성어이다. 스모그는 주로 도심지역에 황갈색 연무를 생성하는 가스상 및 입자상 물질의 화학적 혼합체이다. 스모그를 일으키는 물질은 지표면 오존, 질소산화물, 휘발성유기화합물, 이산화황, 산성 에어로졸 및 가스, 미세먼지 등을 포함한다. 스모그에는 런던형 스모



스모그가 발생하지 않은 맑은 날의 서울(위쪽)과 스모그가 발생한 서울(아래쪽)
(사진출처: 경주대학교 김경원 교수)

그와 로스앤젤레스형 스모그(LA형 스모그)가 있다. 과거 산업화 시대에는 런던형 스모그가 주로 발생하였지만 요즘은 대도시에서 LA형 스모그가 주로 발생한다.

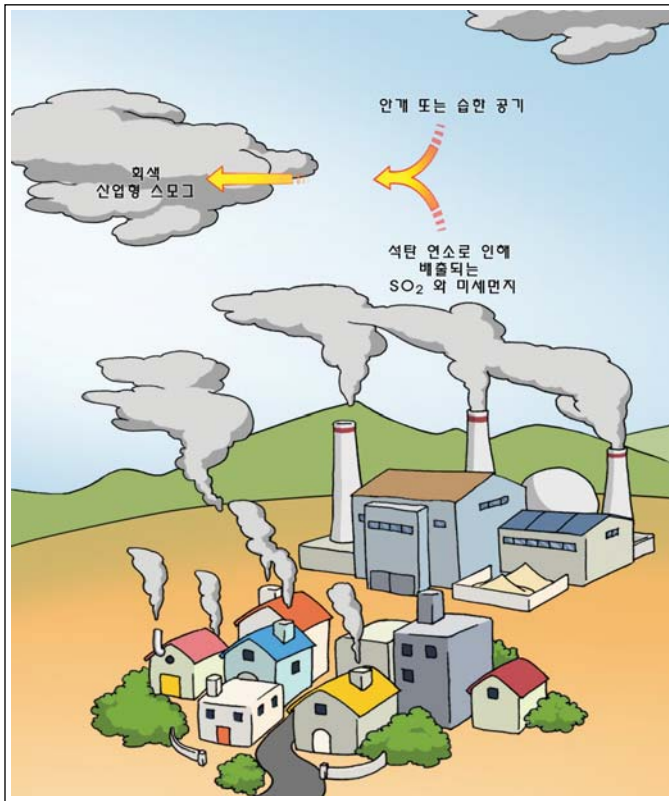
고전적인 스모그인 런던형 스모그는 공장의 매연, 가정 난방, 석탄의 연소를 통해서 대기로 유입되는 매연, 아황산가스 등이 안개와 합쳐지면서 만들어진다. 반면 1950년대에 새로운 형태의 스모그인 광화학 스모그가 처음으로 언급되었다. LA형 스모그를 흔히 광화학 스모그라고 하는데, 이 스모그는 보통 휘발성 유기화합물과 질소산화물이 태양이 있는 상태에서 광화학적으로 반응을 하여 오존, 알데히드, 팬(PAN; peroxyacetylnitrate) 등과 같은 여러 가지 산화성 물질(옥시단트)을 생성하여 맑은 날에도 안개가 낀 것과 같이 뿌옇게 보이는 스모그를 말한다. 이들 화학물질은 모두 매우 활발히 반응하고 산화력이 강하다. 이러한 이유로 광화학 스모그를 대표적인 인위적 대기오염으로 간주하고 있다. 광화학 스모그는 대부분 대도시에서 발생하지만 오염물질은 바람을 타고 장거리로 이동하기 때문에 바람의 하류지역(풍하지역)에도 영향을 줄 수 있다.

모든 스모그는 대기의 상하 혼합이 잘되지 않는 **대기 역전상태**에서 따뜻하고 햇살이 강한 기간에 더욱 빈번이 발생하며, 특히 산이나 언덕으로 둘러싸인 **분지지형에서 많이 발생**한다. 그러한 스모그는 서울뿐만 아니라 런던, 뉴욕, 로스앤젤레스, 멕시코시티, 휴스턴, 베이징, 동경, 홍콩과 같은 **초대형 도시지역**에 발생하여 장시간 지속되기도 하고 위험한 수준으로 농도가 높아지기도 한다.

■ 스모그는 어떻게 발생하나?: 스모그 사례 1 - 런던형 스모그

런던형 스모그는 공장 매연, 가정 난방, 석탄 연소를 통해서 대기로 유입되는 **매연, 아황산가스 등이 안개**와 합쳐지면서 만들어진다. 이 스모그의 경우는 바람이 적게 불고, 대기가 안정한 상태에서 바람 없이 계속 축적되어 농도가 증가할 때 용이하게 발생한다. 런던형 스모그는 주로 **겨울철**에 많이 발생한다.

런던에서는 스모그로 인한 사상자가 1948년에 300명이 나왔고 또 1959년과 1962년에도 스모그 피해가 발생하였지만, 우리가 흔히 일컫는 “런던 스모그” 사건은 1952년 겨울에 있었던 에피소드를 가리킨다. 1952년 12월 4일 목요일 아침 기온은 섭씨 4도 전후로 날씨도 쾌청하였다. 그러나 정오 무렵에는 아침부터 불어오던 따듯한 바람이 돌연 멈추었고, 수백 평방 마일에 이르는 템즈 계곡에 대륙에서 건너온 찬 기운이 자리 잡기 시작하면서 안개가 끼기 시작하였다. 해가 저서 찬기운이 심해지자 모든 가정에서 **난방을 위해 많은 양의 석탄**을 뚝 수 십만 개의 가정 굴뚝에서 배출된 **연기와 아황산가스가 안개와 섞여 스모그 현상이 발생**하게 되었다. 이 스모그 현상으로 12월 13일까지 사망자가 2,800명을 넘었으며 그 다음 주에는 1,200명 이상이 사망했다. 불과 4일간의 스모그로 4,000명의 시민이 목숨을 잃은 것이다. 그 뒤에도 사망자는 계속 늘어 다음 해 2월 중순까지 약 8,000명의 추가 사망자가 기록되는 대참사를 빚었다. 사망원인은 **기관지염**이 압도적으로 많았고, **폐렴, 인플루엔자 등 호흡기 질환**이 평상시의 다섯 배를 넘는 것으로 조사되었다. 이 사건을 계기로 대기오염 피해에 대한 심각성이 전 세계적으로 인식 되었고 오염물질 배출에 대한 규제가 나라마다 시작되었다.

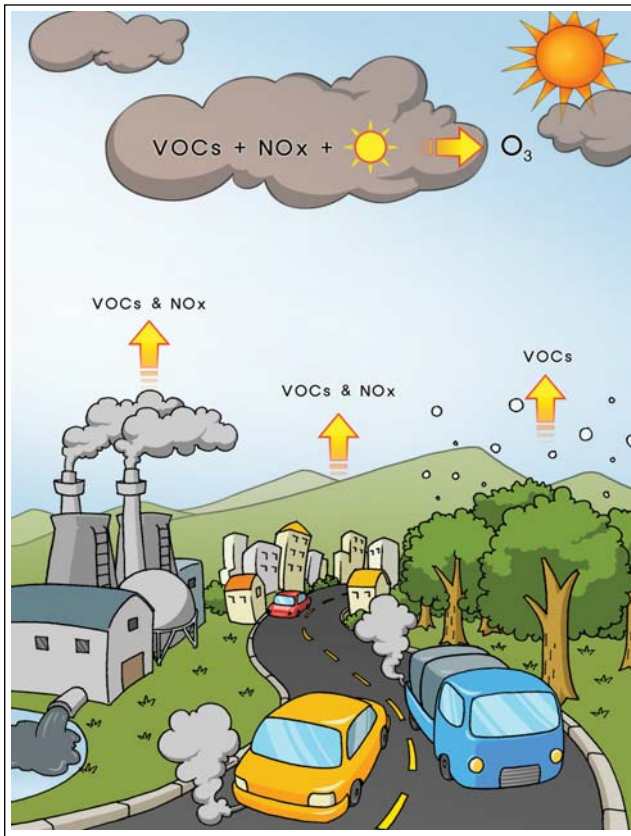


런던형 스모그

■ 스모그는 어떻게 발생하나?: 스모그 사례 2 - LA형 스모그

반면, **LA형 스모그**는 주로 바람이 적고 **태양광선이 강렬한 낮에 많이 발생**하며, 스모그를 만드는 오염 물질은 **자동차 배출가스, 발전소 배출가스, 용매** 등에서 방출된다. 도심지역에서는 주로 자동차, 버스, 그리고 트럭에서 발생하는데, 차량의 통행량, 높은 온도, 강한 햇빛 그리고 조용한 바람의 조건과 연관되어 있다. 날씨와 지형은 스모그의 위치와 강도에 커다란 영향을 준다.

LA 스모그를 발생시키는 **질소산화물**은 화석연료를 사용하는 자동차, 석탄을 사용하는 발전소 그리고 공단지역에서 주로 발생하는데, 연료가 연소할 때 공기 중의 질소와 산소가 높은 온도에서 결합하여 생성된다. 처음 방출될 때는 일산화질소(NO)가 대부분이고 이산화질소(NO₂)의 양은 적다. 이때 방출된 일산화질소(NO)는 태양광을 받아 비교적 빨리 산화하여 대부분 이산화질소(NO₂)로 되며, 다시 태양광선 중 자외선을 흡수한 이산화질소(NO₂)는 일산화질소(NO)와 산소원자(O)로 해리되는데, 이때 만들어진 산소



LA형 스모그(광화학 스모그)

원자의 대부분이 공기 중에 산소분자(O_2)와 결합하여 **오존(O_3)**이라는 **대표적 광화학 오염물질**을 만들게 된다. 이와 같이 복잡한 화학반응 과정을 거쳐 오존과 이산화질소와 같은 **2차 오염물질**이 만들어지며, 이때 질소 및 산소를 함유한 여러 가지 해로운 유기화합물도 함께 생성된다. 이외에도 산불이나 농작물의 생체량 연소에 의해서도 스모그의 원인이 되는 물질이 발생한다.

반면, 스모그의 또 다른 중요한 원인물질인 **탄화수소**는 용제의 휘발, 석유화학공장, 석유정제, 석유저장소, 자동차 등에서 주로 배출된다. 특히 휘발성 유기화합물은 인위적으로 휘발유 엔진, 페인트, 농약으로부터 발생되고 자연적으로는 소나무나 감귤류나무에서도 발생된다.

캘리포니아 남부의 사막기후 지대에 위치한 로스앤젤레스(LA)는 1900년대 초에 이미 대도시화되어 미국에서 세 번째로 큰 도시이다. LA에서는 1940년대 중반부터 희뿌옇고 때로는 황갈색을 띠면서 눈을 따

갑게 하고 눈물이 나게 하는 안개현상이 나타나기 시작했다. 그 정체를 처음에는 석탄과 유류를 태울 때 발생하는 이산화황으로 생각하고 연료전환을 위해 노력하였다. 마침내 1953년 캘리포니아공대(캘텍)의 하겐-슈미트 교수는 이 황갈색 스모그의 정체를 밝혀냈는데 **자동차에서 배출된 질소산화물과 탄화수소 등이 강렬한 태양빛을 받아서 이 스모그가 형성된다는 것**이다. 당시 하루 배출되는 탄화수소 2,500 톤 가운데 80%는 자동차에서 배출되었는데, 이 자동차의 배출가스를 규제하기까지는 오랜 기간이 걸렸다. 결국 캘리포니아에서는 1966년 신규차량에 배기조절장치를 부착하도록 법으로 규정하였으며, 이후 차량에 부착하는 촉매장치를 개발하여 어느 정도 성공은 거두었다. 하지만 자동차 배출가스 문제는 아직까지 완벽하게 해결하기 어려운 과제이다.

■ 스모그는 어떻게 발생하나?: 스모그 사례 3- 초대형 도시

일본 동경에서는 1967년부터 1970년 사이에 옥시단트 농도가 0.15ppm을 초과하는 날이 46일이나 되었다. 1970년 7월 18일부터 9월말 전 지역에 광화학 스모그가 발생하여 3개월 사이에 일반 여명의 시민이 피해를 호소하였다. 눈의 자극과 두통 및 구토증을 수반하고 심한 사람은 호흡곤란을 보이기도 하였다. 동경에서 발생했던 스모그는 단순히 런던형 스모그 또는 LA형 스모그로 분류하기보다는 이 두 가지의 원인이 복합적으로 나타난 사건이다.

멕시코시티는 높은 산들로 둘러 싼 계곡에 위치하여 공기순환이 어려운 지리적 특성을 지녔을 뿐 아니라, 인구 1,500만이 밀집되어 있기 때문에 대기오염에 항상 시달리고 있다. 특히 도시의 많은 차량 대수는 질소산화물과 탄화수소의 배출량을 크게 높여, 고농도의 오존발생이 큰 문제로 부각되고 있다. 1992년 3월에는 0.48ppm의 높은 오존농도가 기록되었고, 주간에는 거의 0.11ppm을 넘는 것으로 나타났다.

중국 북경의 경우에도 급속한 경제성장으로 스모그가 심각한 실정이다. 중국의 스모그는 석탄연소, 자동차 배출, 농작물 연소 등으로 인해 연중 발생하고 있다. 중국에서는 특히 겨울철에 스모그가 수일간 연속으로 발생하는데 심한 경우에는 가시거리가 수 미터밖에 되지 않으며, 호흡기 질환환자가 급증한다. 북경시는 2008년 북경 올림픽을 대비하여 정부차원에서 대기오염 저감을 위한 광범위하게 노력을 하였다. 즉, 시내에서의 석탄사용 금지와 제철소, 발전소, 석탄 연료를 사용하는 난방시설 등의 시외 이전 등과 같은 조치를 시행하였다.

■ 우리나라 현황

우리나라의 경우 석탄의 사용량이 줄어 런던형 스모그는 잘 나타나지 않지만 **대도시 지역에서는 자동차의 급속한 증가로 광화학 스모그가 많이 발생하고 있다**. 우리나라에서 광화학 스모그 현상은 수도권을 중심으로 발생되고 있으며, 고농도 오존과 시정감소 현상이 함께 나타나고 있다. 환경부에서는 95년 7월부터 광화학 스모그의 주요 구성물질인 오존에 대한 경보제를 시행하고 있다. 오존의 시간당 농도가 0.12ppm이 넘을 때 오존 주의보를 발령하는데, 주의보 발령횟수는 1995년부터 증가하다가 2001년을 기해 조금 감소하였고 2004년부터 다시 증가하고 있다. 2005년에 가장 많은 오존주의보가 발령되었는데 시간당 오존농도가 0.20ppm에 이를 때도 있었다. 최근 들어 정부는 문제의 심각성을 인식하고 스모그를 일

으키는 오염물질의 배출량을 규제하고 있다.

■ 인체 및 환경에 미치는 영향

스모그는 인간의 건강에 나쁜 영향을 준다. 스모그 현상이 일어나면 눈과 목의 점막이 자극을 받아 따가움을 느끼게 되고 심할 때는 **눈병**과 **호흡기 질환**을 일으킨다. 대도시 지표면 오존은 노인, 어린이 그리고 심장과 폐에 폐기중, 기관지염 그리고 천식이 있는 사람들에게 매우 유해하다. 단기간에 높은 오존 농도에 노출되면 폐 기능이 떨어지고 호흡이 줄어들며 깊게 숨을 쉴 경우 고통을 느낀다. 장기간 낮은 오존 농도에 노출되면 폐의 신축성을 떨어뜨리고 폐의 면역체계를 간섭하여 질병에 쉽게 감염되며 폐 수명이 단축된다. 오존의 농도가 높은 기간에는 병원의 입원환자와 호흡기 질환의 사망자가 증가한다.

식물의 경우 오존은 **잎의 조직을 손상**시켜 식물 성장에 악영향을 준다. 눈에 보이는 손상은 잎의 색깔이 변하고, 검거나 흰 점이 생기고, 잎이 종이처럼 얇아진다. 이러한 손상으로 인해 10~40%의 성장 저하가 나타날 수 있다. 또한 자동차 타이어 등 **고무제품도 부식**시켜 내구성을 떨어뜨리며, 먼, 나일론 등 **옷감 재료의 본래 모습을 훼손**한다.

■ 스모그를 어떻게 줄일 수 있을까?

런던형 스모그를 줄이기 위해서는 황 성분이 적은 연료를 대체 사용하고 **탈황설비**를 구축하여 황의 배출량을 줄여야 한다. 그리고 청정연료인 LNG사용을 일정규모 이상의 아파트 등 공동주택에 의무적으로 사용하도록 하여 아황산가스의 배출량을 줄일 수 있다. 한편, 산업체에서 배출되는 분진을 줄이기 위해서는 석탄과 같은 고체상 연료를 유류나 LNG 등 청정연료로 대체하고 소각시설에는 **고효율 집진기**를 설치하여 오염물질의 배출을 줄인다.

여름철에는 탄화수소와 질소산화물이 광화학적으로 반응하여 스모그를 발생시킬 가능성이 매우 크다. 질소산화물의 경우, 모든 연소시설에서 배출되며 특히 발전소, 제련소와 같은 대형 연소시설, LNG와 같은 청정연료의 연소시설, 자동차 등에서 배출되는 양이 많기 때문에 **고효율 질소산화물 저감장치**를 설치하여 제어하여야 한다. 한편, 탄화수소 배출량의 저감도 오존 생성을 줄이는 중요한 방안이다. 이를 위해 차량의 배출가스에 대한 규제 강화와 함께 석유정제 및 저장, 운반시설들에 대한 시설기준의 강화하여야 하며, 도장시설 및 용매 사용시설에 대해서도 규제가 필요하다.

대도시에서 스모그의 원인물질인 탄화수소와 질소산화물의 배출량을 포괄적으로 줄이기 위해서는 **천연가스버스 보급 확대, 하이브리드 자동차 등 저공해차 도입, 자동차 배출허용기준 강화, 자동차 공회전 방지** 등의 방안이 있다. 앞의 두 가지 방안은 국가 및 지자체에 큰 재정 부담을 줄 수 있기 때문에 반드시 환경효율성을 고려하여 신중하게 결정하여야 한다. 우리가 할 수 있는 공동체의 실행방안으로는 **승용차 함께 타기운동, 가까운 거리는 걷거나 자전거 타기, 대중교통수단 이용하기** 등의 방안이 있다.

미국에서는 대도시마다 마치 일기예보 하듯이 **대기오염예보**를 실시하여 대기오염 피해를 최소화하고 있다. 따라서 대기오염 경보제도와 같은 오존 경보제도 혹은 예보제도는 광화학 스모그의 피해와 사고를 최소화하고 방지하는 효율적인 대응방안이다.