기후변화와 미세먼지, 문제점과 과학기술적 대응

이덕환

서강대 화학/과학커뮤니케이션

(사)대한화학회 탄소문화원

에너지정책 합리화를 추구하는 교수협의회

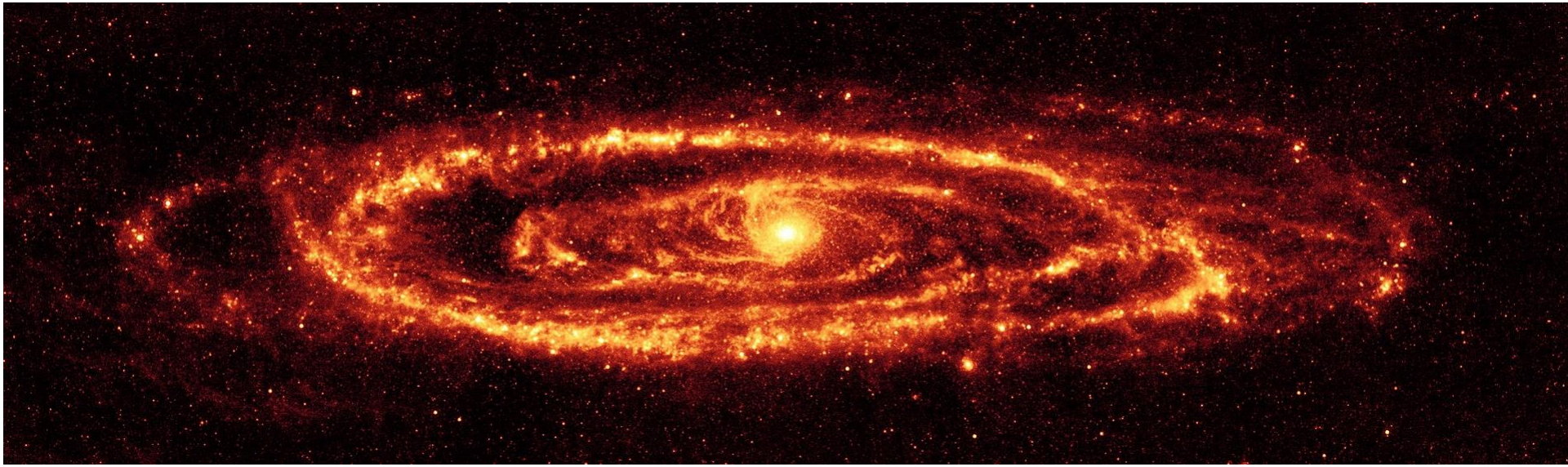
에교협(2018.3.23 창립)

- 에너지 정책 합리화를 위한 건강하고 전문적인 제언
  - 제8차 전력수급기본계획 분석
  - 신재생 2030 기본계획 분석
  - 제3차 국가에너지기본계확 관련 제언
  - 온실가스 및 미세먼지 대책 분석
  - 에너지 전환 정책 분석

- 58개 대학 217명 (이공계 ~140; 원자력 ~50; 인문사회 ~30)
- 독립성 유지

DUST

We are all made of stardust!



ubiquitous from the beginning of the world

매연과 스모그

- 매연
  - 매연방지책 추진, 상공부에서 지시 (1957.6.25)
  - '바퀴·소음·매연의 3중주 (1963.3.6)
  - 공해방지법발동 제1호로 감천화전에 매연집진기 설치 (1965.6.16)
- 스모그
  - 짙어지는 스모그 현상, 중앙관상대서 정밀 관측 시작 (1967.2.10)
  - 서울에 스모그 현상, 대기오염 심해 공해위험성도 (1969.12.20)

本社-KIST합동 大氣이동측정반「首都圈현장」

서울大氣오염 自動車배기가스가 主因

서울시내에서 대기오염이동측정반이 측정한 지점은 모두 4곳이었다. 공장지대가 많은 문래동, 고속도로통행의 영향을 많이 받는 반포, 그리고 세종문화회관앞과 미아5동 등이다.

전체적으로 볼때 서울시내 오염도는 측정반이 방문한 어느 도시보다 높았다고 할 수 있다. 차량통행이 많은 관계로 질소산화물(NOx)과 분진의 오염도가 전국 최고치를 기록했다. 아황산가스 오염도도 역시 높았으나 지역별로 많은 차이를 나타냈는데 이는 주택을 지은 햇수와 관계가 깊다.

서울시의 경우 측정으로 안잡히는 오염현상에 의해 視界가 극히 불량한 현상이 발생하고 있음이 확인됐다. 오염이 가장 적은때의 시계는 그렇지않은때보다 무려 12배 좋게 나타났다.

이밖에 수도권 주요도시의 경우 인천을 제외하고는 심각한 수치는 나타나지 않았다. 측정반은 인천-안양-성남을 측정했으나 예상보다는 적었고 단지 인천에서는 참기 어려운 악취가 나타났다.

美기준치의 4·5배

세종문화회관 이순신장군동상이 마주보이는 세종문화회관앞인도에서 측정한 대기오염도는 예상을 빗나가지 않고 모든 부분에서 높은 오염도를 나타냈다. 일요일인 15일 질소산화물은 시간평균 최고 2백78PPb(오후11시)를 나타냈다. 이는 보름동안 이동측정반이 측정한 어느 지점의 오염도보다 높은 것이었다.

질소산화물의 오염도는 오전6시까지만 해도 1백미만이었으나 오전 7시에 2백3으로 갑자기 뛰었으며, 이날낮 내내 2백 전후를 오가다가 오후6시에는 2백74로 올라갔다.

질소산화물은 일산화질소(NO)와 이산화질소(NO_2)를 통칭하는 것으로서 자동차 배기가스에서 주로 배출된다. 이 가스는 산성비가 원인으로 작용하고있다. 또 이가스는 농도가 75PPb이상일경우 순환기계통과 기관지에 영향을 미치고 5천PPb이상이면 병리적인 이상이 발생할수 있다.

이날 분진오염도도 하루평균 1백㎍/㎥, 최고치는 1백30(오후 10시)으로 비교적 높았으나 평균치에서는 같은날 측정한 반포의 절반수준이었다.

분진은 각종 먼지가 공기중에 떠다니는 것을 말하는데 이 먼지중에는 인체에 유해한 중금속가루가 묻어 다니는 것이 보통이다. 분진오염도는 연평균치가 1백이상이면 기관지염이 증가하고 하루평균치가 1백50이면 노약자의 사망률이 증가한다.

세종문화회관앞의 대기오염도는 16일로 들어서면서 급격히 늘었다. 오후6시까지 측정결과는 질소산화물 오염도가 평균 2백26PPb로 전날평균 1백71의 1백30%를 기록했다. 최고치 역시 기록적인 3백51PPb로 나타나 자동차배기가스에 의한 대기오염이 날로 심각함을 보여주고 있다.

그런데 질소산화물은 미국의 경우 연평균 기준치가 50PPb로서 17일 세종문화회관의 오염도는 미국 연평균 기준치의 무려 4·5배에 해당하는 것이다.

분진의 경우도 마찬가지로 16일 하루 평균치는 1백31㎍/㎥를 기록, 15일의 평균 1백보다 높았다.

이같이 각종 오염물질이 많은 상황이므로 도로변에 근무하는 사람들의 건강에도 많은 영향을 끼치게 마련. 세종문화회관에서 청원경찰을 하고있는 朴英春씨(40)은 『양치질하면서 코를 풀거나 가래를 뱉으면 시커먼 찌꺼기가 나온다』고 말했다. 10년전부터 이곳에서 근무한다는 朴씨는 『한달에 몇번씩은 까닭없이 머리가 띵하다』고 말했다.

주택가분진오염 심각

미아동 비교적 오래된 단독주택이 밀집한 미아동은 측정반이 방문했던 전국의 어느 지점보다 분진 오염도가 높게 나왔다. 미아5동사무소앞에서 15일오후부터 이튿날까지 측정한 결과 하루평균 분진오염도는 무려3백31㎍/㎥를 기록했다.

이같은 수치는 반포(2백2)보다 1·5배높은 오염도이며 안양(99)의 3·3배, 세종문화회관 앞의 2·5배에 해당하는 것이다.

이곳의 분진오염도가 이같이 높게나오는것은 미아동일대의 오염도가 서울시내 다른지역보다 높은데다가 측정지점주변 주택가의 포장상태가 불량한 때문으로 풀이된다. 또한 연료로 아직도 연탄을 사용하는주택이 상대적으로 많은것도 한이유로 꼽힌다.

미아동은 아황산가스 오염도도 하루평균 85PPb로 높은 편이었다. 가장 오염도가 높은 시간대는 16일 오전 7시로 1백41PPb로 나타났는데 이는 아침출근시간에 차량통행이 많아지면서 도로에서 많은 오염물질이 발생했기때문이다.

평일-휴일 4배차이

반포·문래동 고속도로터미널이 위치한 신반포에는 강변을 따라 88올림픽도로까지 자리잡아서 도로의 영향을 비교적 많이 받을수 있는 곳이다.

반포3동사무소에서 14일 측정한 결과 아황산가스오염도는 하루평균 22PPb로 매우 낮았다. 질소산화물도 평균 65PPb로 미국연평균기준치(50)보다는 조금 높았다. 단지 분진만이 하루평균 2백2㎍/㎥으로 높게 나타났다.

반포지역에 분진오염도가 높은 것은 교통량과 깊은 관계가 있는 것으로 보인다. 자동차가 주행하며 생긴 먼지가 도로에서1㎞이상 떨어진 측정지점까지 날아 들어온 것이다.

그러나 측정일이 일요일인데다 날씨가 쾌청했고 측정지점이 고층아파트로 둘러 싸인 점을 감안하면 실제 오염도는 훨씬 높았을 것으로 쉽게 판단할 수 있다.

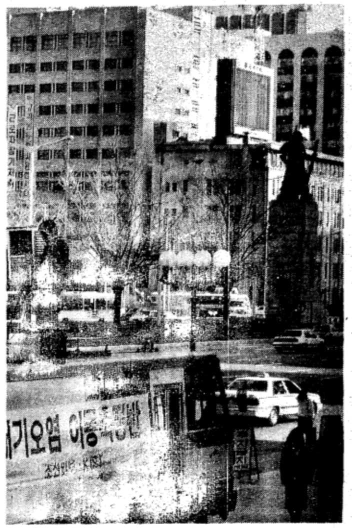
서울시내 대기오염의 하나의 기준으로 생각되던 문래동의 오염도 역시 휴일에 측정해서인지 예상보다 낮게 나왔다. 질소산화물은 14일 평균 63PPb였으며 분진오염도는 57㎍/㎥, 아황산가스 21PPb였다.

그러나 평일 환경처의 자동측정망에 잡힌 문래동의 오염도는 휴일의 4배정도를 기록했다. 17일 문래동의 오염도는 아황산가스가 평균 103PPb로 본사측정반이 휴일에 측정한수치의 4·9배로 뛰어올랐으며 분진 역시 2백6㎍/㎥로 3·6배로 뛰어올랐다.

평소視界 2.5km…비온후라야 30km로

緯度낮은 水原보다 2~3도 異常고온

세종로 먼지속엔 重금속 가루… 문닫고 일하는곳 늘어



◇세종회관 앞 측정 세종문화회관 앞에서 서울 도심지의 대기오염을 측정하고 있는 이동측정반. 서울은 대기오염도가 높은데다 원인이 정확히 규명되지않은 스모그현상도 나타나고 있다. <林賢燦기자>

視界 서울시내에는 17일부터 18일오전까지 모두27·8㎜의 비가 내렸다. 이 비가 내린 전을 중심으로 서울시내의 視界를 살펴보면 대기오염에 의한 피해를 간접적으로 알 수 있다.

비가 오기 전날인 16일 서울시내의 시계가 가장 나빴을 때는 오전9시로 불과 2·5㎞를 나타냈다. 그러나 비가 한차례 휩쓸고 지나간 18일의 경우 시계가 훨씬좋아져 오후 6시에는 30㎞를 기록했다. 구름 한점없이 새파란 하늘이 드러난 18일의 시계는 결국 대기오염이 가득했던 16일보다 12배 길었다는 얘기가된다.

10여일 전의 서울하늘을 자세히 살펴보면 비가내리는 것이 대기에 얼마나 많은 영향을 끼치는지 쉽게 알 수 있다. 16일은 구름 한점 없이 맑은 날이었지만 서울시 전역은 시커먼 오염물질이 뒤덮였으며, 시내 도심지는 희뿌연 안개같은 것으로 1㎞정도 떨어진 건물마저 흐릿하게 보이고 있었다.

원인 못밝힌 스모그

이같은 현상에 대해 국내과학계는 아직 정확한 원인을 파악하지 못하는 상황이다. 봄철에 나타난 이런 스모그는 단지 아황산가스에 의한 런던스모그로만 보기도 어렵고 그렇다고 LA형광화학스모그로 분류하기도 어렵다. LA형 광화학스모그는 기온이 30도를 오르내리는 여름철에 발생하는 것이며 오존오염도가 높게 나타난다.

이에비해 서울시내에 퍼지는 視界불량 현상은 기온도 평균 10도정도이고 오존오염도도 매우 낮았기 때문에 광화학스모그로 보기는 어렵다는 것.

이에 대해 한국과학기술연구원의 沈相圭박사는 몇가지 가설을 제시했다. 가장 가능성이 높은 것은 소위 열섬(Heat Island)효과. 주로 대도시에 나타나는 열섬효과는 역전층에 의해 도시의 기온이 주변보다 높기 때문에 위성할 경우 대도시 온도가 주변보다 높게 나타나는 원형의 공온지대를 형성하

仁川5工團 악취심해 구토

PH4·7 산성비 大邱의 10배 농도 부평

주택가 먼지오염 서울 數値에 육박 安養

인천 12일 새벽2시 측정반은 인천서구 제5공단에 도착하자마자 약속한듯 측정차량의 창문을 모두 닫았다.

간장냄새, 생선썩은 냄새등이 뒤섞인 악취로 헛구역질까지 하는 사람도 있었다. 스모그현상도 심해 자동차의 안개등을 켜도 별 도움이 안됐다. 밤이기도 했지만 시정거리 2㎞도 안돼보였다.

측정반은 새벽5시 공단한복판에 있는 한국수출산업공단 주차장에서 대기오염 측정을 시작했다.

그러나 오전 9시쯤부터 비가 내리기 시작하면서 오염도는 급격히 변해 아황산가스 오염도는 17PPb로 떨어졌다.

이같이 대기오염도는 좋아졌으나 반대로 산성비가 내렸음이 확인됐다. 이날 인천 부평동에서 측정한 산성비는 PH(수소이온농도지수) 4·7로 비가 내린 부산의 3·7보다는 낮았으나 서울의 5·6, 대구 6·0, 광주 5·0, 울산 5·9, 대전 5·4 등과 비교하면 10배이상 높은수치였다. 난방연료, 공장매연, 자동차배기가스등에서 배출되는 아황산가스와 질소산화물이비에 녹아 내리는 산성비는 PH4·5이하일 경우 대부분의 물고기 개구리등의 생식기가 마비될 정도로 심각한 것이다.

인근 주민들은 한결같이 악취와공해피해를 호소했다. 남부파출소 張根燮경감(42)은 『오토바이로 공단순찰을 나가면 눈이 따가워 운전을 못할 정도』라고 말하고 『새벽2~3시쯤이 악취가 제일 심하며 여름에도 문을 열지못할 상황』이라고 호소하고 주변에 있던 한 주민도 『비오는 날만 제외하곤 매일 낮이 부옜다』고 말했다.

사실 악취는 엄연한 대기오염인데도 측정이 까다롭워 기준치를 설정하여규제하기가 어렵다. 현재까지 국제적으로 공인된 악취측정법은 인간이 직접 냄새를맡고 감각적으로 판단하는「감각법」이 고작이다. 감각법에의해 6단계로 나누고 있는 이 측정법은 아직 국내에서는 본격 도입한적은 드물다.

하지만 주민들이 악취공

미세먼지와 초미세먼지

- 미세먼지
  - 미세먼지: pm10 (1995.3.11)
  - (수도권) 대기질 개선 사업: 매년 2천억 이상 투자!!!
  - 경유차에서 배출되는 매연과 미세먼지 (1996.4.2)

- 초미세먼지
  - 초미세먼지(PM2.5), 환경부 첫 조사 (2005.1.27)
  - 중부지역 뒤덮은 유독성 초미세먼지 (2005.4.8)
  - 中 오염물질 한반도 공습 (2007.1.18)

미세먼지 대책

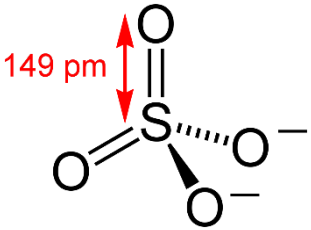
- ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’ (국회 계류 중)
  - ‘환경통계’ 전면 재검토

- 용어의 혼란
  - ‘매연’ 방지책 추진(1957.6.25)
  - 서울에 ‘스모그’ (1969.12)
  - ‘미세먼지’(PM10) (1995.3): 수도권 대기질 개선(년2천억)
  - ‘초미세먼지’(PM2.5) (2005.1)
  - ‘중국발 미세먼지’ (2007.1)
  - ‘황사’

중국발 미세먼지

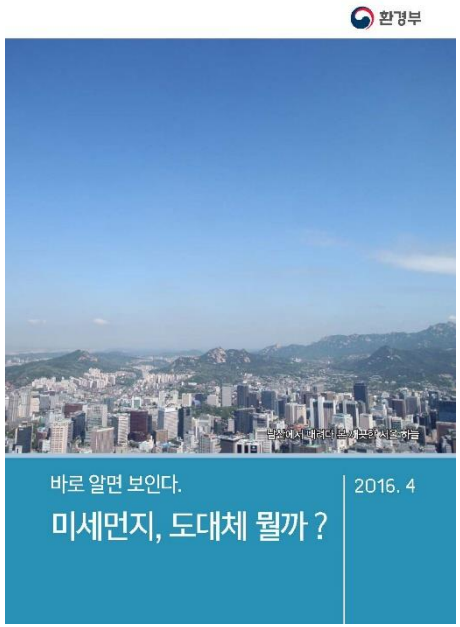
경유차

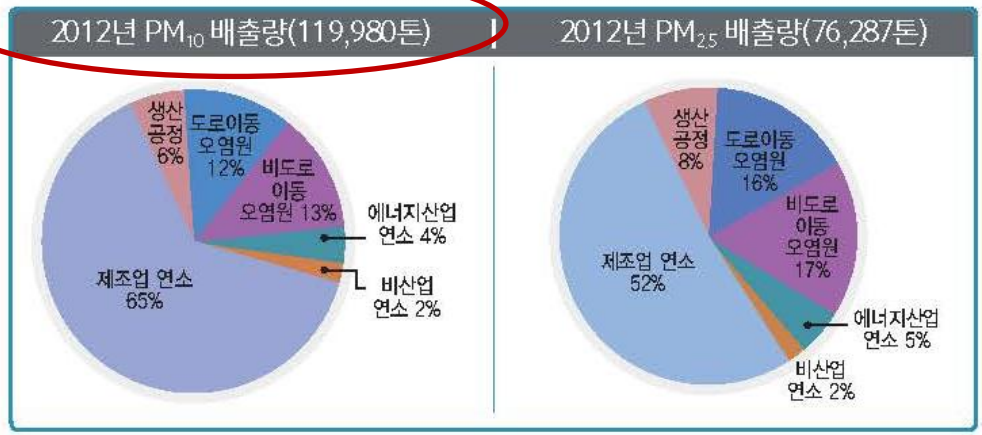
미세먼지에 대한 오해



- 작아서 문제다? 작을수록 더 독하다?
  - PM10, PM2.5, PM1.0, 나노먼지, …
  - 분자(molecule): ~0.3 nm (PM2.5의 1만 분의 1)
- 2차 생성 미세먼지(secondary particulate matter)
  - 가스상 오염물질(NOx, SOx, 암모니아 등)이 미세먼지로 변한 것?
- LEZ(청정운행구역)은 경유차 진입금지 구역?
  - 유로 3(2000) 이전 자동차(휘발유 포함) 진입 금지
- 경유차가 주범이다?
  - 수도권 대기질 개선 사업: 4조원 투자
  - 영세민에게 책임 전가?

날림먼지





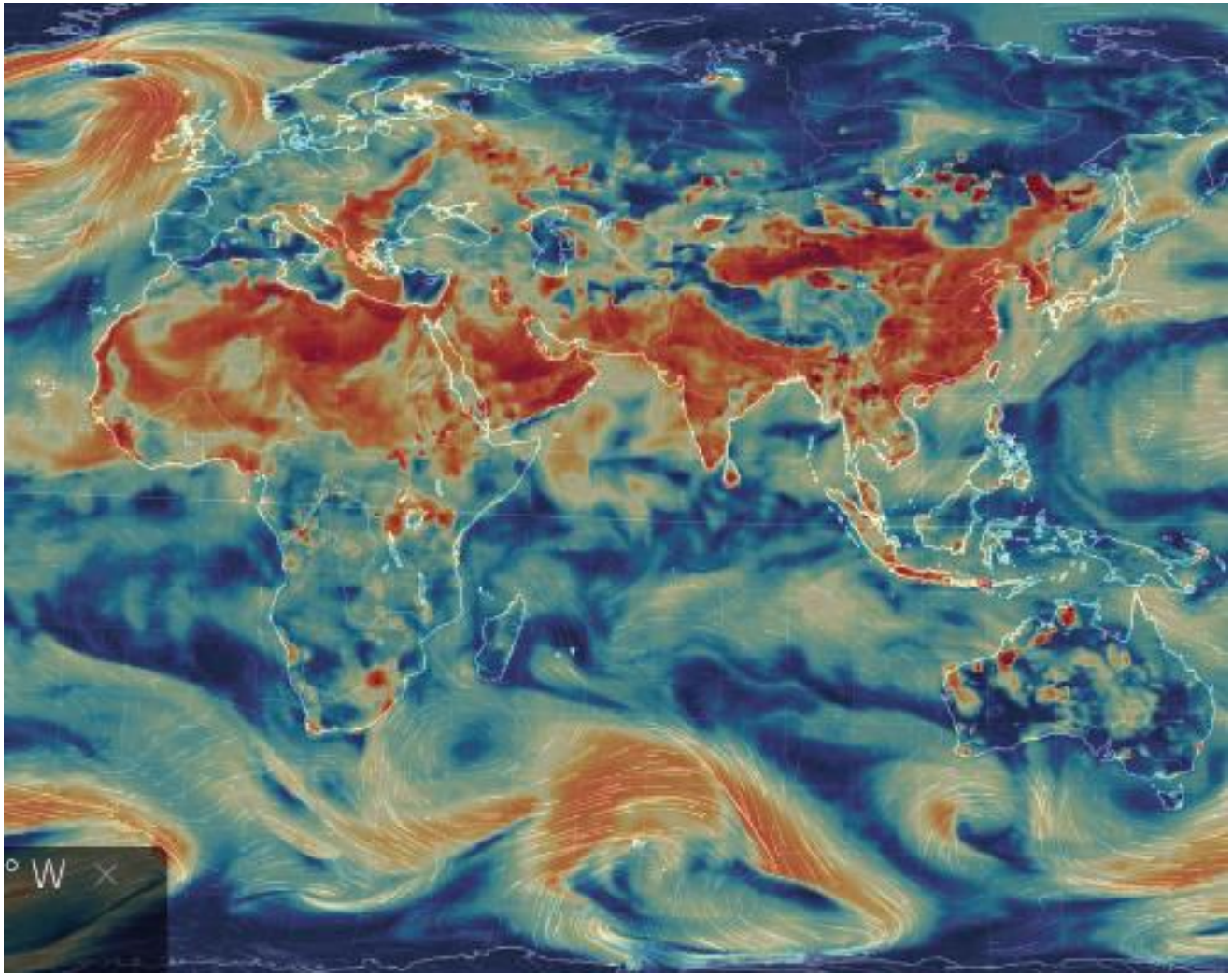
이동오염원에서 나오는 미세먼지는 대부분이 $PM_{2.5}$로 그 비중이 92%에 이른다. 도로이동오염원의 경우 화물차와 RV차량[2]에서 미세먼지 대부분이 배출되며, 비(非)도로이동오염원의 경우 선박과 건설장비 등에서 미세먼지가 많이 나온다.

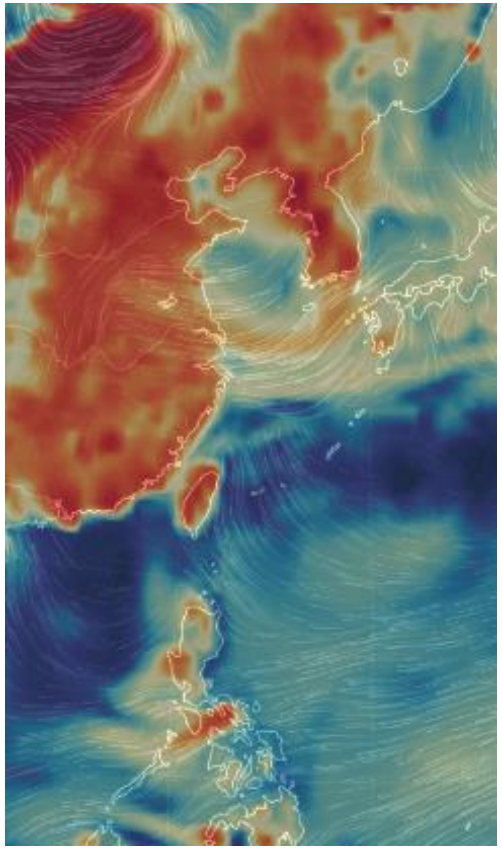
이들 통계에 포함되어 있지 않은 것으로 날림먼지가 있다. 날림먼지는 일정한 배출구 없이 대기로 흩날리는 미세먼지를 말한다. 날림먼지로 인한 미세먼지 발생량은 매우 많은 것으로 추정되고 있으며, 2012년 전국의 날림먼지 배출량은 PM_{10} 115,121톤, $PM_{2.5}$ 18,168톤에 달한다.

모래폭풍(sand dust)

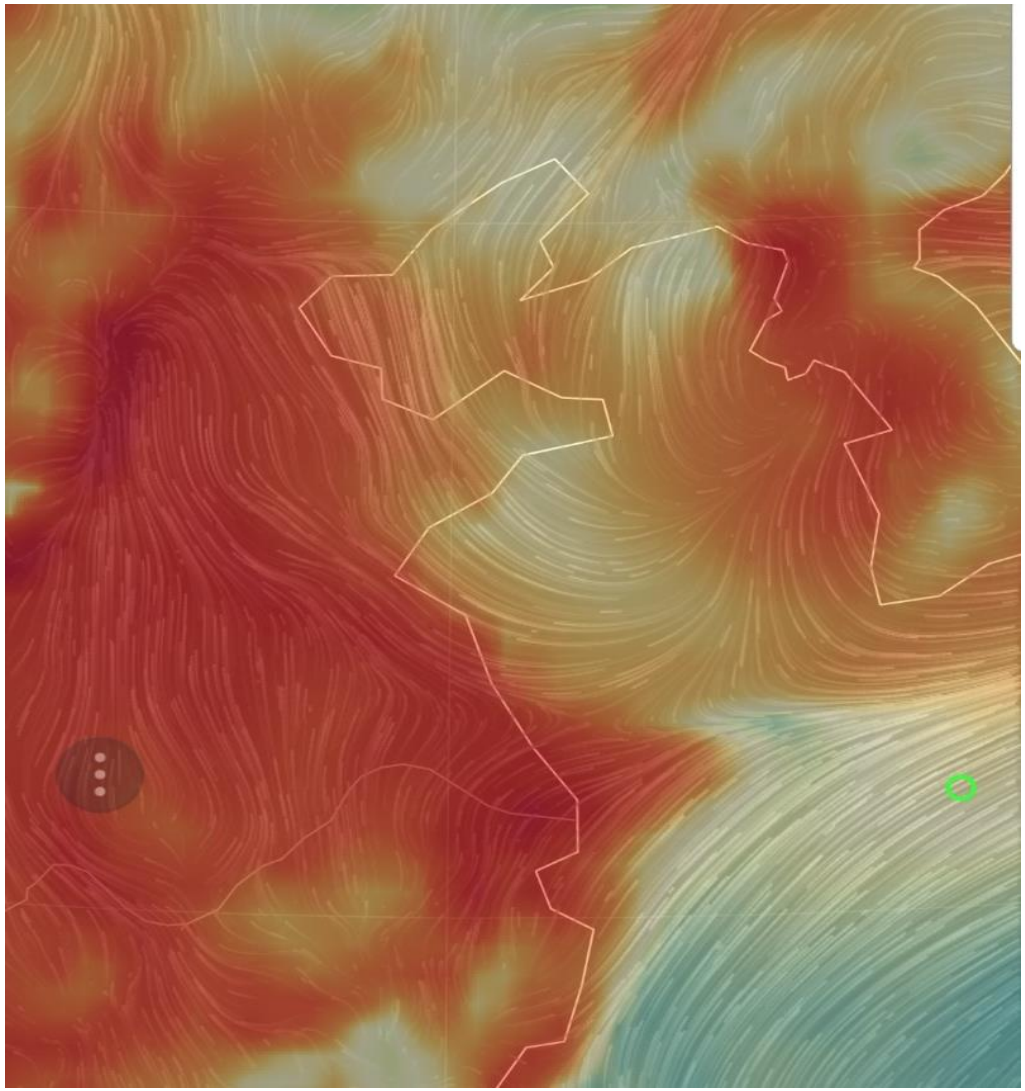
- 황사(沙塵暴)
  - 중국 서부 건조지대(180만년 전): 타클라마칸, 고비, 내몽고
  - 동서 6,400km, 남북 600km, 초속 8m 이상의 강풍
  - 1~10μm : 대류권 상층부(10km)
  - 신라의 기록: 土雨(174), 赤雨(644)
  - 조선 왕조실록(150여 회), 중국(기원전 1150년)
- 사하라의 모래폭풍
  - 미스트랄, 캄심, 하부브, 시로코, 시문
- Great Dust Bowl

미세먼지는 중국에서 온다?





한국발 중국행 미세먼지



건강한 상식에 맞는 전문성

- 먼지의 상황은 시시각각으로 바뀐다!
- 먼지의 크기와 구성은 일정하지 않다!
- 우리도 엄청난 양의 먼지를 발생시킨다!
- 모든 것이 뭉쳐지는 것은 아니다!
- 황사도 먼지다!
- 바람이 불면, 먼지는 흩어진다!
- 먼지 없는 세상은 없다!

자발적 온실가스 감축 약속?

- 코펜하겐기후변화회의(2009.12)
  - 2020년까지 BAU 대비 30% 감축
- 파리기후변화회의(2015.12)
  - 2030년까지 BAU 대비 37% 감축
  - 국내 배출량 감축 25.7% + 국제탄소배출권 시장 11.3%
- 탄소배출권 거래제도(2015)의 정착 가능성?
  - 유상할당: 3%(2018), 10%(2021)
- LNG 발전 폭증(2018)
  - 원전 10기 및 노후석탄화력 10기 가동 중단
  - 태양광·풍력의 간헐성 보완 수단

태양광·풍력의 친환경성?

- 낮은 가동률(< 15%)과 짧은 수명
  - 정격용량 58.5GW →실효용량 8.8GW
- LNG 백업 설비 필수
- 전력망 구축 및 전력품질 유지의 어려움
- 수익의 재투자 불가능
- 지자체가 기피하는 시설!
  - 자연·생활 환경 파괴, 농지 훼손

공론화(Deliberative Polling)

- James Fishkin(1988)
  - 20여개 국 70여 회 활용된 '여론조사 방식'
  - '함부로 쓰지 말아라' (한규섭 서울대 언론정보학과)
- 민주주의 ≡ 절차적 정당성
- 국무총리 훈령 제690호
  - '신고리5·6호기공론화위원회 구성 및 운영'
  - 헌법-법률-시행령-대통령령-국무총리훈령-고시
- 법과 절차를 무시한 위험하고 무모한 반민주적 시도

시급한 당면 과제들

1. **원전 수출**: 영국·사우디아라비아·체코, …
   - 원전 기술력·인력·산업기반 유지 방안
2. **온실가스 감축**: 국제적 약속
   - 국제적 약속: BAU 대비 37% 감축
3. **미세먼지 해결**: 국내 문제
   - 날림먼지(농축산·도로) 외면, 과도한 중국 탓
   - 경유차·석탄화력 중심의 환경부 정책의 실패
4. **무의미한 사회적 낭비 해소**
   - 원전 8기, 노후 석탄화력 10기 가동 중지
   - 가정용·산업용 전기요금 갈등 해소 및 **전기요금 현실화 설득**
   - 불합리한 시장 개입: 과도하고 불합리한 유류세, 알뜰주유소, 전자상거래
5. 에너지 전환에 대한 **사회적 합의**
   - 탈원전 유지 13.3% (2017 공론화위원회)
   - 독일의 경험: 7년간 6,600억 유로(870조) 투입
   - 통일 대비

유연한 리더쉽: 바라카 + 미래 대비(신재생·원전)

- 제8차 전력수급계획 수정
  - 수요전망 복원
  - 2030년 (정격)설비예비율 수정: 37.3%→ 72.8%
  - 현실적인 수요감축 방안 마련
- 법치의 실천
  - 전문가 참여가 보장된 공론화 → 법률에 따른 제도화
  - 제3차 국가에너지기본계획 수립에 전문가 참여 강화
- 온실가스·미세먼지 대책의 전문성 강화
  - 기술 개발 사업의 개혁 + '개방적 기초연구'

과학기술적 해결?

- 파편화된 전문성?
  - 화학과 기상학
- 윤리성?
  - Conflic of interests