

공무국외출장 결과보고서

1. 출장개요

- 1) 출장기간 : 2025. 5. 21 (수) ~ 2024. 5. 29 (목) / 7박 9일
- 2) 출장국 : 독일, 스위스
- 3) 출장인원 : 총 16명 (도 1, 시·군 13명, 충남연구원 2)
- 4) 목 적 :
 - 유럽 및 독일, 스위스의 환경관련 관리 동향 파악
 - 대륙(유럽), 국가, 주정부, 기초지자체 차원의 대기질 관리 정책 사례 조사
 - VOCs 등 유해화학물질에 대한 관리 현황 조사
 - 충청남도의 미래 유해대기물질 관리 방향성 검토
- 5) 방문기관

방문기관	목적	면담자
노르트라인 베스트팔렌주 환경보호청	주 차원의 환경관리 정책 동향 파악 및 대기질 모니터링 사이트 견학	Johannes Bachteler, Steffen Freitag 등
독일연방환경청	독일 및 유럽의 대기질(VOCs 포함) 관리 정책 동향 조사	Robin Lunze, Annette Rauterberg-Wulff 등
취히리 시청 대기환경부서	광역도시 차원의 대기질 관리 정책 동향 및 추진 사례 조사	Rahel Gessler, Corinne Hörger 등
보니겐 게마인데 대기환경부서	기초지자체 차원의 대기질 관리 정책 동향 파악	Ueli Michel 등

2. 출장일정 및 참석자 명단

1) 출장 세부일정

일자	장소	주요내용
5. 21 (수)	인천, 프랑크푸르트	출국
5. 22 (목)	프랑크푸르트, 에센	노르트라인 베스트팔렌주 환경보호청 방문
5. 23 (금)	에센, 베를린	독일연방환경청 방문
5. 24 (토)	베를린, 뉘른베르크	이동 및 현지문화 탐방
5. 25 (일)	뉘른베르크, 뮌헨	이동 및 휴식
5. 26 (월)	뮌헨, 취리히	취리히 시청 대기환경부서 방문
5. 27 (화)	취리히, 보니겐, 취리히	보니겐 게마인데 대기환경부서 부서 방문
5. 28 (수)	취리히, 뮌헨	스위스 → 독일 → 한국 이동
5. 29 (목)	인천, 홍성	해산

2) 출장자 명단 (16명)

연번	소 속	직 급 (직 위)	성 명
1	충청남도	팀장(환경 5)	
2	아산시	과장(환경 5)	
3	금산군	과장(환경 5)	
4	보령시	팀장(환경 6)	
5	서산시	팀장(환경 6)	
6	당진시	환경 7	
7	공주시	행정 7	
8	논산시	환경 8	
9	천안시	환경 8	
10	부여군	환경 8	
11	서천군	환경 8	
12	홍성군	환경 8	
13	예산군	환경 8	
14	청양군	시설 8	
15	충남연구원	책임연구원	
16	충남연구원	연구원	

3. 출장지별 세부 내역

1) 노르트라인 베스트팔렌 주 환경자연보호청 방문

- 방문일시 : 2025. 5. 22.(목) 14:00~17:00
- 주요 내용 : 주 차원의 환경관련 관리동향 및 대기질 모니터링 현황, 사이트 현장 견학

○ Johannes Bachteler의 세부 발표 내용 : 환경관리 전반에 관한 사항

- 노르트라인 베스트팔렌 주는 면적 34,084 km², 인구 18,139천 명인 지역으로 충청남도의 4.1배의 면적에 8.5배의 인구가 살고 있음(독일 내 주 정부 중 인구밀도 5위) → 인구밀도가 높은 지역으로 오염된 대기오염물질 노출시 건강피해가 크게 발생할 수 있어 지역 내 대기질에 대한 관심이 높음.
- 주내 주요 도시로는 쾰른, 뒤셀도르프, 도르트문트, 에센 등이 있으며, 본 방문 기관은 에센에 위치하고 있음.
- 주요산업: 150년 이상 산업도시로 활동함, 지난 40년 동안 건강 관련 문제점이 많이 발견됨. 물, 공기, 토양을 산업화 이전으로 정상화하기 위한 작업을 시작함.
- 자연보호를 위한 많은 시도를 하고 있음(동물보호구역 설정 등). 법제화를 통해 동식물(멸종위기 포함) 보호를 많이 추진함. 이 주의 50% 이상은 농경지임. 공장폐수 등을 해방해서 동식물을 유지하고 자연을 회복하기 위해 채집하여 분석하고 정기적으로 테스트함. 여러 정보를 수집하는 것에 중요성을 두고 있으며, 그 이후 정부에 건의하여 정책을 수립함. 수집된 자료들은 공유하고 오픈하여 누구든 볼 수 있게함.
- 해당지역을 환경보호 및 자연보호의 요충지로 정부에서 지정·운영 중에 있으며, 다양한 분야의 전문가가 고용되어 협업하는 시스템을 구축함.
- 중앙정부와 주정부와 협업해서 함께 일을 하고 있음. 협업하는 과정에서 문제 발생시 다른 주정부가 참고할 수 있도록 밀접히 관련됨.
- 세부적으로 수질센터, 자연센터 등이 주에 여러개 위치하며, 1,200명의 직원, 80개의 전문분야로 구분.
- 토양 : 다시 자연상태로 돌려놓는 것이 주요 쟁점임. 앞으로 어떤식으로 활용할

지도 논의되고 있음.

- 물 : 가장 중요하게 생각하는 부분임. 지속적으로 모니터링하고 기록함. 라인강의 물을 식수로 사용하기 위한 연구도 수행함. 최대한 강변에 위치한 연구소도 있음.
- 환경분석 : 전문 기계나 현대적인 시스템을 도입해 환경보호를 위해 노력함.
- 건강 : 회사운영도 친환경적으로 하기 위해 노력함. 자연친화적으로 아이들을 키우기 위한 연구도 진행함. 환경보호를 위한 다양한 식물들을 채집하여 연구에 사용함.
- 대기분야는 추후 전문가가 설명 예정
- 소방 : 불이 나면 그 지역에 가서 발암물질 등을 연구
- 전체적인 모니터링을 하는 관측소도 운영. 제일 쟁점은 환경 친화적인 방법으로 연구를 수행 하려고 노력함.
- 폐기물처리 과정에서 환경오염을 줄이고 효율적으로 처리하기 위한 연구도 수행함.
- 자체적으로 내부 환경 보호 아카데미를 운영하고, 취업연계 과정도 있음.
- 기후 : 독일도 기온이 많이 상승하였음. 기후에 정보를 기록하고, 열에너지를 이용하여 에너지전환에 대한 연구도 진행함. 어디에 설치했을 때 가장 효율이 있을지 연구함.
- 국립공원의 관리도 겸하며, 자연은 자연 그대로 뒤야 한다가 모토임. 방문객들도 자연보호에 동참하기 위해 쓰레기를 가져가거나 다양한 활동을 함.
- www.lanuk.nrw.de 링크를 통해 다양한 문서의 정보를 자세히 확인할 수 있음.
- 독일을 비롯한 유럽 내 국가의 국민들은 환경에 대한 관심이 높고, 환경시설에 대한 거부감이 적음. 이는 어릴적 부터 교육받은 환경에 대한 교육에 의한 것으로 판단됨.
- 주거형태 역시 대규모 아파트보다는 단독주택이나 다세대주택이 많고, 최근에는 태양광 발전 등 친환경설비를 개인 가정집이나 사무실에 설치·운영하는 사례를 많이 볼 수 있음
- 유럽은 개인정보보호에 대해서는 굉장히 엄격하지만, 공공 데이터에 대한 활용에 대해서는 관대한 편임. 이러한 공공자료들은 정책이나 관련계획 수립에 활용되고 있음

- 수집된 공공자료는 기초지자체를 비롯하여 주정보, 국가, 유럽연합 내 모든 국가에서 공동으로 활용됨.

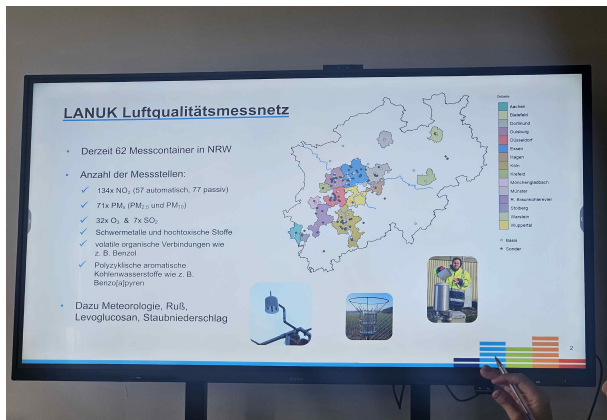
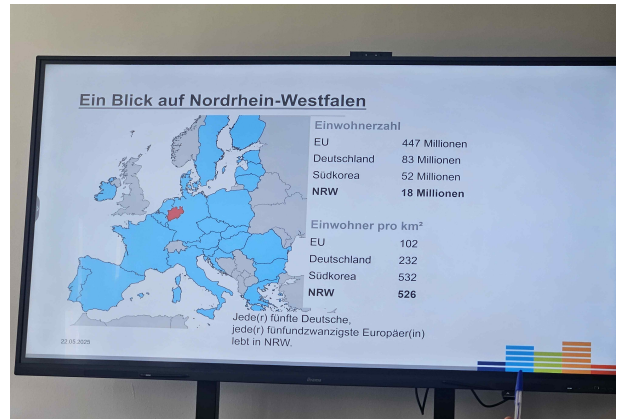


그림 1. 노르트라인 베스트팔렌주의 환경관련 정책 동향 소개 모습

○ Steffen Freitag의 세부 발표 내용 : 대기환경 모니터링 및 관리

- 주 내에 62개의 관측 컨테이너가 있으며, 측정소 설치는 인구수 기준으로 인구 밀도가 높은 지역을 우선적으로 선정
- 대기질 모니터링은 실시간 측정장비와 패시브 측정장비를 동시에 활용
- NO₂ 134개(자동측정 57개소, 패시브 방식 77 개), PM(PM₁₀ 및 PM_{2.5}) 71개소, O₃ 32개소, SO₂ 7개소 → SO₂는 매우 낮은 수준으로 점차 관측 필요성이 낮아지고 있음. 화석연료 사용 감소와 화석연료 내 황 함유량 규제, 친환경자동차로의 전환이 원인으로 작용한 결과로 판단됨. 또한 패시브 샘플러는 정확한 농도값 보다는 넓은 공간에 대한 분포특성 파악을 목적으로 주로 사용되는데, NO₂의 경우 이러한 목적으로 패시브 방식이 같이 활용되고 있었음
- 2020년부터 기존의 중량농도법을 활용한 입자상 오염물질 외 입자 개수농도 기

반의 UFP(ultra fine particle)의 측정도 수행하고 있음.

- 교통량이 많은 지역은 대기측정망을 도로변에 설치·운영하고 있으며, 일부는 숲속에도 측정소를 설치하여 측정함 → 산업배출, 생활, 도심지역에 대해 상이한 환경조건에 따른 노출 농도 분석을 목적으로 하는 것 같음
- 표준시료채취 방법에 따라 현재 운영 중인 자료들은 정도관리를 진행하고 있음.
- 고정측정망 외에 이동측정차량을 활용한 모니터링 연구도 수행 중 → 특이한 점은 국내와 같이 대기질 모니터링 외에 화학물질 누출이나 사고발생시 이를 대응하기 위한 이동차량도 같이 운영 중이었음
- 고정측정망의 경우 크기를 분할할 수 있는 큐빅 상태의 박스를 현장 여건에 맞게 설치·활용하고 있음
- 이동측정차량은 운영 과정에서 측정에 간접으로 작용할 수 있는 화석연료의 영향을 막기 위해 전기차량을 활용
- 국내의 경우 UFP를 측정하기 위한 SMPS, APS 장비외에 최근에는 개별 입자의 화학조성까지 파악할 수 있는 AMS나 ACSM 등의 첨단장비들이 연구에 활용되고 있으나 주정부 차원에서는 아직 이러한 움직임은 보이지 않는 것으로 보임



그림 2. 대기 모니터링을 위한 이동측정차량과 고정측정망 견학 모습

2) 독일연방 환경청 방문

- 방문일시 : 2025. 5. 23.(금) 13:00~16:00
- 주요 내용 : 독일 및 유럽의 대기질(VOCs 포함) 관리 정책 동향 조사

○ Robin Lunze의 발표 내용 : 베를린의 대기질 관리 정책

- 베를린은 독일의 수도로 면적과 인구면에서 최대 도시임. 인구는 370만 명으로 유럽연합 내 가장 인구가 많은 인구 밀집지역으로 금융, 보건 등이 주요 산업이나 일부 기계, 제품, 화학공업이 공존하고 있음
- 독일 최대 도시답게 도심 내 교통혼잡과 여기서 기인한 도로배출이 베를린의 주요 배출원으로 나타나고 있음
- 그림 3과 4는 독일의 NMVOCs의 배출기여도와 유럽의 NMVOCs의 공간분포를 나타낼 것임. 도로부문에서 34%로 가장 높은 배출기여도를 보이며, 유기용제 사용 및 생산 28%, 공정배출 10%, 광산 9% 등 상위 4개 부문에서 전체 배출

의 81%를 차지함(TNO, 2005)

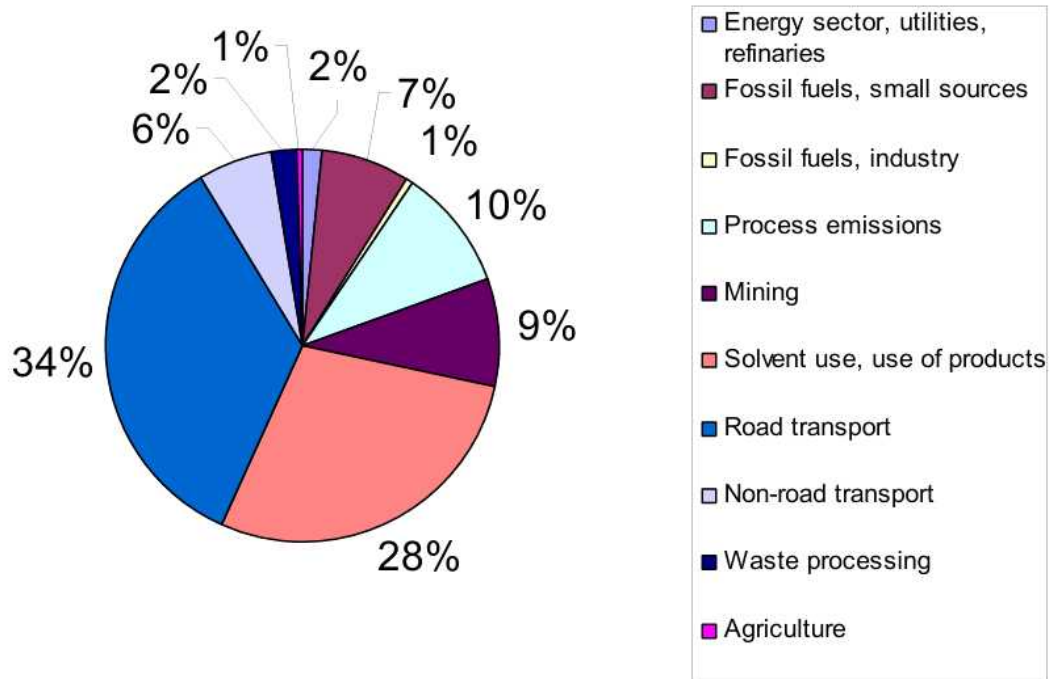


그림 3. 독일의 NMVOCs 배출기여도 (2000년 기준)

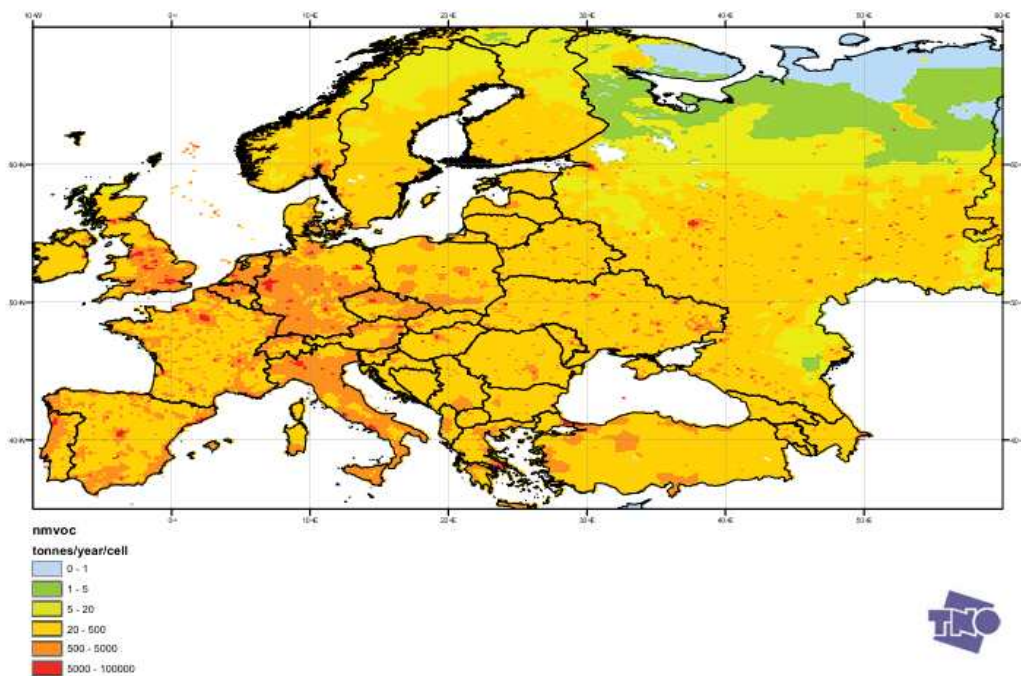


그림 4. 유럽의 NMVOCs 공간분포(항만배출 제외, 2000년 기준)

- 표 1은 2024년 기준 베를린의 주요 오염물질 농도와 주요 관리기준을 제시한 것임. 모든 오염물질이 현재 EU의 기준을 만족하고 있으나 2030년 이후 강화될 EU 기준과 현재 WHO 기준에는 못 미치고 있어 앞으로 추가적인 개선 노력이 필요한 것으로 나타남.
- 아래 4개 물질 외 SO₂, CO, 벤젠, 납 등의 기준도 운영 중임

표 1. 베를린의 주요 오염물질 농도 현황과 EU & WHO의 관리 기준

기준물질	현재 농도(2024년)	EU 기준 (현재)	EU 기준 (2030년 이후)	WHO 현재기준
PM ₁₀ (연평균)	22	40	20	15
PM _{2.5} (연평균)	13	25	10	5
NO ₂ (연평균)	27	40	20	10
O ₃ (8시간)	70	120	120	60

- VOCs의 경우 우리나라와 마찬가지로 전체 물질보다는 벤젠만을 기준으로 선정하여 운영 중임
- 도로변에서 측정된 NO₂의 경우 지역 내 도로 배출에 의한 요인이 48%로 가장 높은 비중을 차지하며, 외부 도로 배출 26%, 지역 배경 14%, 기타 16%로 확인되고 있음
- 전반적인 농도는 2010년부터 2024년까지 감소 추세에 있음. 다만 지역 배경농도가 WHO 기준 이하인 반면 도시 배경농도와 교통 혼잡지역의 농도는 기준치를 상회하는 것으로 나타남
- 도로변에서 측정된 PM₁₀에 대한 기여도는 베를린 외부로부터의 유입이 63%로 가장 높은 비율을 보였고, 도로오염원의 마모 및 재비산 17%, 베를린 내부의 다른 배출원의 영향 10%로 나타남
- PM₁₀의 전반적인 농도 역시 NO₂와 마찬가지로 감소추세에 있음. 다만 NO₂의 경우 완만한 곡선형태의 감소추세를 보이는 반면, PM₁₀은 증감을 반복하고 있어 이에 대한 원인분석이 필요함
- 베를린 도로변 NO₂의 경우 주로 디젤엔진에 의한 배출로 판단되며, PM₁₀은 도시 외각으로 부터의 유입이 가장 큰 영향으로 확인됨

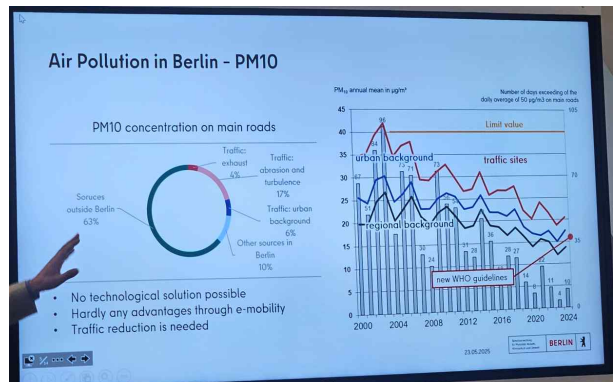
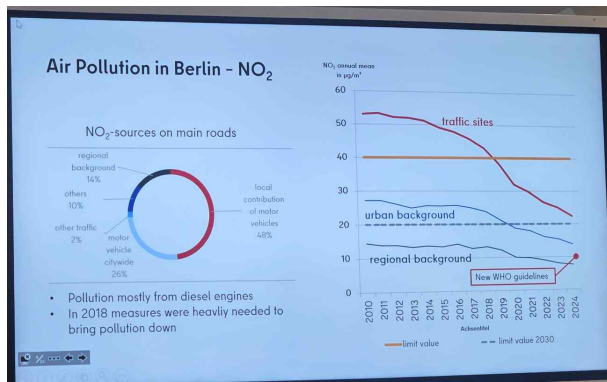


그림 5. 베를린의 NO_2 와 PM_{10} 에 대한 기여율

- 대기질 관리를 위해서는 배출원 인벤토리 구축 → 배출 분석 → 대기질 관리 정책 수립 & 추진 → 정책효과 분석 → 정책이행 → 개선효과 분석(대기질 모니터링 및 모델링 수행)이 순환적으로 진행되어야 함



그림 8. 대기질 개선정책 추진 체계

- 도로변 대기질 개선 정책 추진 사례 : 2018년 117개 도로 section에서 NO_2 관리를 위한 Berlin Air Quality Plan을 시행
 - ※ 30 km/h 이하 운행 속도제한 구역 운영 → 정책 추진 전후 농도평가 결과 지역 내 $\text{PM}_{2.5}$ 농도 5%(2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 개선
 - ※ 자동차 수요관리를 위한 자전거 도로 운영 → Bike line 운영 뒤 운영 지역

내 NO₂ 농도 22% 개선

※ 교통량 감소를 위한 공공 교통시스템 개편, 주차장 주차비용 증가

※ 지역 내 LEZ 설정 및 운영

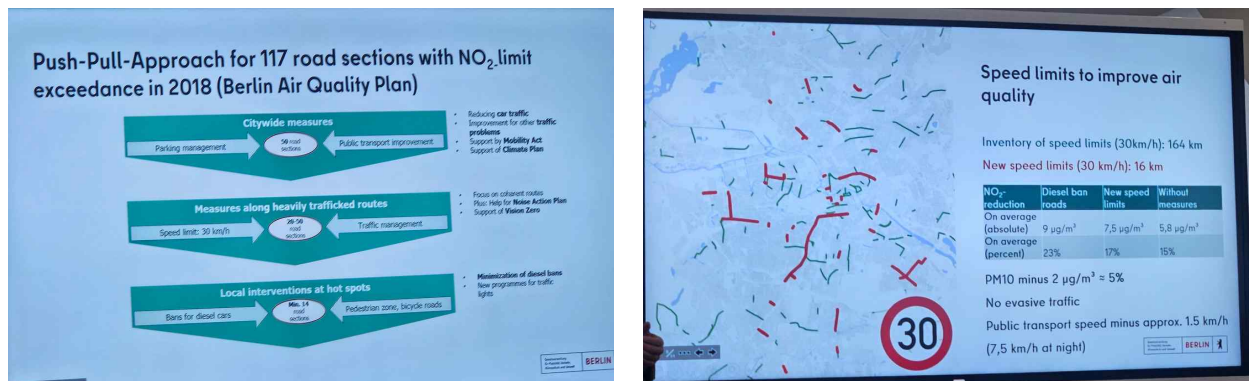


그림 9. 베를린의 도로변 대기질 관리정책 수진 사례

○ Annette Rauterberg-Wulff의 세부 발표 내용 : 베를린의 대기환경 모니터링

- 대기질 모니터링의 수행 목적은 대기질 기준 설정을 위한 기초자료 확보, 데이터를 통한 대기관리 계획 수립, 대기 확산 모델 보정 활용임
- AQ 모니터링 네트워크 구축 : 패시브 샘플러를 활용하여 NO₂/NO_x, OC/EC, 벤젠 측정 → 어느 한 지점에 대한 정확한 농도 관측보다는 전반적인 배출농도 수준 파악이 중요
- VOCs의 경우 인위적인 배출원보다는 자연배출원(biogenic VOC) 모니터링 수행
- LEZ 운영 효과 분석 및 디젤차량의 영향 검토를 위해 BC 측정
- 기존에는 필터 샘플링을 통해 OC/EC를 분석하였으나 비용과 시간의 문제로 최근에는 BC를 실시간으로 측정할 수 있는 장비로 대체 중
- NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂, CO, PM₁₀에 대해 모니터링을 수행하고 있으며, 측정자료는 관계 사이트로 전송되어 실시간 모니터링 가능 → 정책활용 및 지역 주민 정보 제공에 활용(PM_{2.5} 측정 안함)



그림 10. 베를린의 대기질 모니터링 현황 및 홍보 영상

- 측정된 농도를 6등급으로 환산하여 시간단위로 가독성 있는 정보 제공
- 측정망은 배경농도(Hintergrund)와 교외지역(Stadttrand), 도로변(Verkehr)로 구분하여 총 15개 측정망 운영 중 (배경농도 3개소, 교외지역 5개, 도로변 7개소)
- 사이트 : <https://luftdaten.berlin.de/lqi>
- 빅데이터를 활용한 AI 머신러닝으로 Daily forecast 운영 중이며, 격자 해상도는 50x50m grid 임
- 이외에도 최근 목재난방 보일러에 대한 관리규정 개정 → 현재 벽난로가 겨울철 난방기구로 다수 사용되고 있으며, 독일에서는 고체연료 사용이 합법적임
- 대한민국에서는 입자상 오염물질 배출규제를 위해 목재난방난로에 대한 수도권을 중심으로 고체연료 사용이 제한되고 있음 → 독일의 경우 친환경적인 목재난로 사용을 대기질 관리나 기후변화 측면에서도 일부 허용하고 있음
- VOCs의 경우 현재 환경기준 측정물질은 아니며 3년에 1회 HC 형태로 측정, 분석이 진행되고 있음



그림 11. 독일연방 환경청 방문 기념 사진촬영

○ 독일의 VOCs 관리 동향

- 독일은 철강, 화학, 자동차 등 VOCs를 다량 배출하는 산업이 주를 이루었으며, 이러한 배경으로 유럽 내 VOCs 규제를 선도적으로 추진한 국가임
- 독일은 예보테리 의정서(Gothenburg protocol)에 따라 NMVOC 배출량을 국가 배출한도인 995 kt을 초과하지 않는 것을 목표로 하고 있음. 2005년 기준으로 감축 목표를 설정하여 2020년 13%, 2030년 28% 감축을 의무화 함
- 그림 3은 1990년부터 2020년까지 독일에서 배출된 NMVOC의 배출량 변화 임. 독일의 NMVOC 주요배출원은 연료 연소이고, 1990년 대비 2020년 배출량은 92% 감축한 것으로 나타남(UB, 2024)

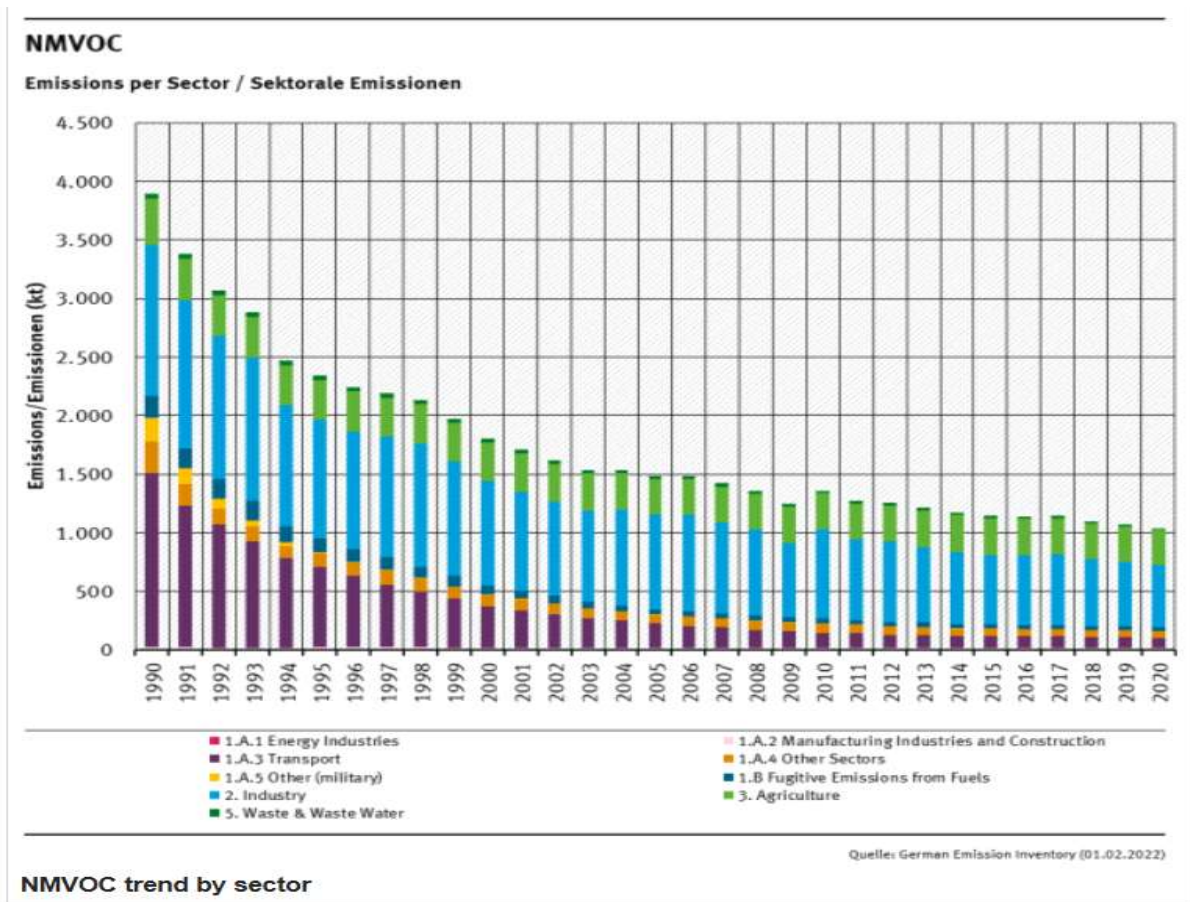


그림 12. 독일의 NMVOC 배출량 변화 추이(자료 : 독일환경청, 2024)

- 부문별로는 1990년의 경우 연료연소 중 도로운송이 연소 배출량의 70% 이상을 배출하며, 그 중 승용차가 거의 대부분을 차지함. 하지만 지난 30년간 94%가 감축된 것으로 나타나며, 이는 엄격해진 배출관리 정책의 효과로 판단됨

- 강력해진 유럽 자동차배출허용 기준 적용과 촉매변환장치 부착, 유류 저장창고 및 주유소의 유증기 회수시설 적용(Directive 1994/63/EC), 대기질 관리에 대한 기술지침 시행(TA-Luft 2002), 연방오염방지법(BImSchV) 시행에 따라 제20, 21차 조례 운영, 전반적인 화석연료 사용 감축 정책을 진행하였음
- 비에너지제품에서 1990년 기준 전체 배출량의 31%를 배출하는 것으로 나타났으나, 관리정책을 통해 2020년에는 1990년 대비 59% 감축된 것으로 확인됨
- 2008년부터 LEZ을 지정하여 차량 통행 관리 시작. 2021년에는 70개 이상의 도시에 58개 LEZ 구역을 지정하여 차량 배출원 관리 → LEZ에서는 2단계 녹색 스티커를 발급받은 차량 혹은 EURO6 기준을 충족하는 차량만 운행이 가능하며, 위반시 24시간 운행제한, 과태료 부과 등의 페널티가 주어짐(송민영, 2022)
- 이외에도 VOCs를 발암성 여부에 따라 3개의 그룹으로 나누어 각기 다른 기준을 적용하여 규제를 추진 중에 있으며, 주요 배출원으로 분류되는 도장시설의 경우 유기용제 배출량을 제품의 단위면적당 중량으로 관리하고 있어 배출업체로부터 VOCs에 대한 대기 중 배출 관리와 함유량 적은 물질로의 전환을 유도하고 있음(김승도, 1997)

○ 유럽의 VOCs 관리 동향

- 1999년 VOCs 관리를 위해 유럽연합에서는 VOCs 배출에 따른 환경 및 인간 건강에 미치는 영향을 방지하거나 감소시키기 위해 1999/13/EC를 지정 → 화학물질의 배출한도를 설정하고, 유기용제 사용 시설에 대해 운영 조건을 규정(EU, 2025)
- 관련 지침은 Annex I에 명시된 특정 활동 및 시설에서 발생하는 VOCs 배출 억제를 목적으로 수립됨
- 초기 VOCs 배출규제 목적은 VOCs 물질에 대한 영향 방지보다는 유럽 전역에 광역적으로 영향을 미치는 오존에 대한 관리를 목적으로 법규와 지침 마련
- EU 회원국 내 기존 시설들은 지침에 따라 관련 규정에 맞게 등록 또는 허가를 취득해야 하며, 신규시설은 지침의 규정을 준수하도록 필요한 조치를 취해야 함.
- VOCs 배출저감 정책
 - ※ 용매 함량이 높은 기존 제품에 대해 함량이 낮거나 없는 제품으로 대체

- ※ 회원국은 Annex I 에 명시된 활동 및 산업시설에서 발생하는 배출량 감축을 위한 국가 계획 수립 및 추진 필요
- ※ 위원회 운영을 통해 회원국간 관련 활동 공유 및 정보교환 지원
- ※ 유기물질이 환경 및 인체에 미치는 잠재적인 영향 파악 및 최소화하기 위한 기술 개발
- ※ 배출량 모니터링 및 인벤토리 구축
- ※ 회원국은 지침 이행에 대해 보고서를 위원회에 3년마다 제출
- ※ 최적가용기술(BAT) 시행 장려
- ※ EU 전역에 특정대기오염물질에 대해 더욱 엄격한 배출허용기준 적용
- ※ 배출시설 인허가에 대한 강화
- ※ 사업장의 용제소비량, 배출가스 및 비산배출에 대한 기준 설정
- ※ 기준 달성을 위한 배출저감 장치 설치(Directive 1999/13/EC)
- ※ VOCs 관리 지침 중 도료사용에 대한 제한 구체화 및 강화 → 적용시설 : 인쇄, 표면세정, 자동차 도장, 드라이클리닝, 신발 제조, 의약산업 등
- ※ 페인트, 광택제, 자동차 도장에 대한 VOCs 총량관리를 위한 Directive 2004/42/CE를 2004년 신설하였고, 페인트와 광택제에 대한 VOC 함량은 Phase 1(2007년), 2(2010년)로 구분하여 단계적 강화를 진행(최유진, 2012)
- ※ 최근 유럽의 대기환경관리 정책은 SO₂, NO_x, NH₃와 같은 1차 직접 배출원 관리에서 O₃과 PM_{2.5} 및 그 전구물질, 즉 2차 생성오염물질 관리로 전환되고 있음(외교부, 2021)

표 2. 그 밖의 EU 주요 나라의 VOCs 관리 동향

국가	주요 내용
오스트리아	- 코팅을 위해 사용되는 바니쉬의 VOCs 함울량을 법적으로 제한 - 일부 화장품에 대해서도 판매 제한
프랑스	- 페인트와 안료에 대해 환경인증제도 운영 (NF Environment) - LEZ 지정 및 운영(6단계 배지 도입)
스페인	- 페인트와 안료에 대해 환경인증제도 운영 (AENOR medio ambiente)
네덜란드	- VOCs 함량이 높은 페인트에 대한 사용 규제
덴마크	- 소비자용 페인트에 대한 VOCs 함량 제한 - MAL-code 라벨링 제도 운영

3) 취리히 시청 대기환경과 방문

- 방문일시 : 2025. 5. 26.(월) 13:00~16:00
- 주요 내용 : 광역도시 차원의 대기질 관리 정책 동향 및 추진 사례 조사

○ Rahel Gessler의 세부 발표 내용 : 취리히 시청의 환경분야 업무 소개

- 취리히 시청 환경관리부서는 시의 환경 전략을 수립·추진하는 부서로 4가지 큰 주제로 환경관련 업무를 수행하고 있음
- 탄소중립 : 2020년 이후 강력한 탄소중립 계획을 수립하여 추진하고 있음
 - ※ 2022년 시민투표를 통해 2040년까지 탄소중립 달성에 75%의 주민 찬성 의견을 받았고, 이를 기반으로 강력한 달성 계획 시나리오를 구성하여 진행
 - ※ 1990년 대비 2040년까지 온실가스 배출 30% 감축을 목표로 수립
 - ※ 취리히시는 국가 목표는 2040년보다 빠른 2035년까지 Net-zero 달성을 목표로 설정
 - ※ 취리히시의 온실가스 발생현황을 보면 시 내부에서 직접 발생이 15%이고, 나머지 대부분(85%)는 외부로부터 유입되는 것으로 확인됨
 - ※ 지속적인 환경관리 정책으로 온실가스 배출량 꾸준히 감소추세에 있음
 - ※ 온실가스 배출기여도 : 자동차 > 음식물 > 소비 > 건물 > 폐기물처리
- 지역환경 관리 및 건강보호 : 대기, 소음, 폐기물 등 일반적인 환경업무
- 자연환경 보호(산림관리 등)
- 지속가능한 발전 추진
 - ※ 지속가능한 발전을 위해 국가 및 주변 지자체와의 협력활동 추진



그림 13. 취리히시 환경관련 계획과 온실가스 배출기여도 현황

○ Corinne Hörger의 세부 발표 내용 : 취리히의 대기질 관리 동향

- 취리히시의 환경업무 부서 구조 및 역할 설명 : 7개 분야 주요 업무 진행

- ※ 해충예방 및 관리
- ※ 균류 관리
- ※ 소음
- ※ 동물복지와 축산관리
- ※ 공기질
- ※ 빗공해
- ※ 곰팡이

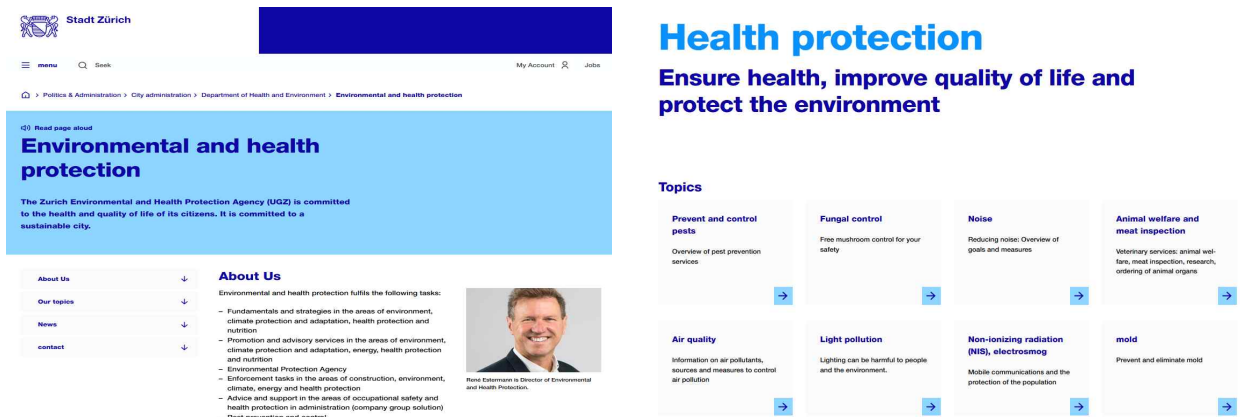
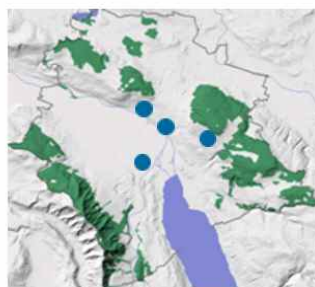
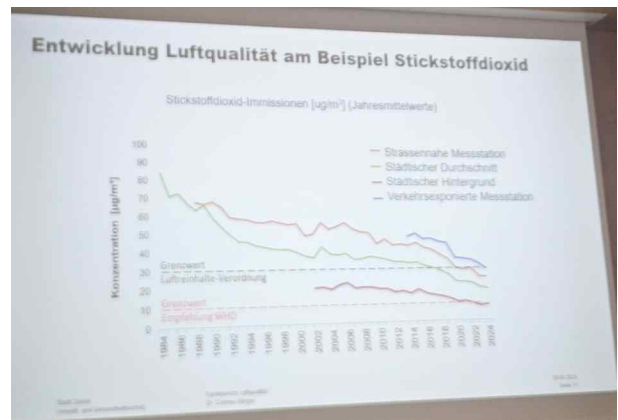
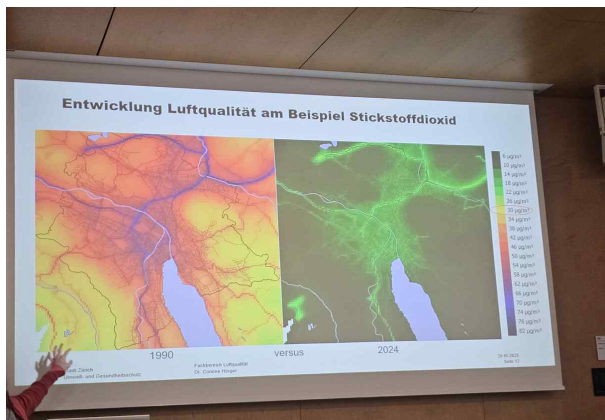


그림 14. 취리히시 환경국 홈페이지 모습

- 지역 내 대기오염관리를 위한 관리물질 선정
 - ※ NO₂, PM₁₀, O₃, CO, SO₂, 중금속, 벤젠, BC, PAHs, 스모그(여름, 겨울)
- 주로부터 환경관련 관리 권한을 위임받아 2016년부터 시 자체 시행계획을 수립하여 추진 중이며, 가장 최근에는 2020년에 관련 계획이 수립되어 진행 중
- 지속적인 모니터링 결과 도시 주요 도로에서 발생하는 NO₂와 PM의 농도는 여전히 높은 수준으로 나타나고 있음
- 목재, 석유 및 가스의 연소뿐만 아니라 건설현장, 발전소 등에서 배출되는 오염물질의 배출관리를 위해 고정측정망 운영
- 특히 유해성이 큰 VOCs의 경우 2000년부터 VOCs가 함유된 제품에 대해 환경세를 부과함으로써 유해제품에 대한 소비 감소를 유도하고 있음
- 스위스는 지리적으로 유라 산맥과 알프스 산맥이 위아래로 위치해 있고, 그 사

- 이 평지에 위치 → 내부발생원이 외부로 빠져나가기 어려운 구조
- 대기질 관리를 위해 4개의 측정망 운영 중 (1984년부터 모니터링 진행)
 - ※ 측정항목 : NO_2 , O_3 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, PN, EC, 기상현황
 - ※ SO_2 와 CO의 경우 지역 내 농도가 너무 낮아 측정하지 않고 있음
 - ※ 측정망 구성 : 도로변 2개, 주거 1개, 교외 1개
 - ※ VOCs의 경우 월1회 간헐적 측정 수행
 - ※ 시의 기준은 2022년 이후 만족하고 있지만 더욱 강력한 WHO의 기준은 아직 달성하지 못하고 있음
 - ※ 실시간 정보전달 사이트 운영 : <https://zueriluft.ch/airmo/frontend/home.php>



Aktuelle Messwerte

	Feinstaub PM10 [µg/m³]	Stickstoff- dioxid NO2 [µg/m³]	Ozon O3 [µg/m³]	Kurzzeit- belastung
Stampfenbachstrasse	5	4	48	sehr gering
Schimmelstrasse	5	4	47	sehr gering
Heubeeribühl	4	1	59	
Rosengartenstrasse	6	22	31	sehr gering

① Stundenmittelwerte vom 3. Juni 2025, 05:00 Uhr.
Weitere Informationen zum Kurzzeit-Belastungs-Index.

그림 15. 취리히시 대기측정망 운영결과 및 실시간 정보제공 사이트 모습

○ Daniela Diener의 세부 발표 내용 : 환경정책 추진을 위한 지역 협력 사례

- 환경관련 의사소통 협력업무를 수행
- 환경관련업무는 법률로 해결할 수 없거나 지역 주민들과의 대화와 협력이 필요한 부분이 있는데 이러한 문제에 대해 해결하기 위해 진행
- 연구결과들은 관련 보고서를 발간하여 지역 주민이나 관계자에게 배포하고, 홈페이지에 게시하여 활용성을 높이하고자 하고 있음
- 현재는 전 세계적으로 관심이 높은 Net-zero 달성을 위한 협력 연구를 수행하고 있음
- 취리히시 시내 CO₂ 배출 기여도 → 건물관련 감축 노력 필요. 현재 친환경 주택건설관련 상담업무도 진행 중
 - ※ 건물 54%
 - ※ 자동차 31%
 - ※ 생활폐기물 15%
 - ※ 취리히시는 주거밀집 도시로 상업이나 일부 생산설비도 건물로 포함
 - ※ 신축이나 리빌딩시 친환경건축 설비 도입시 시에서 재정적 지원

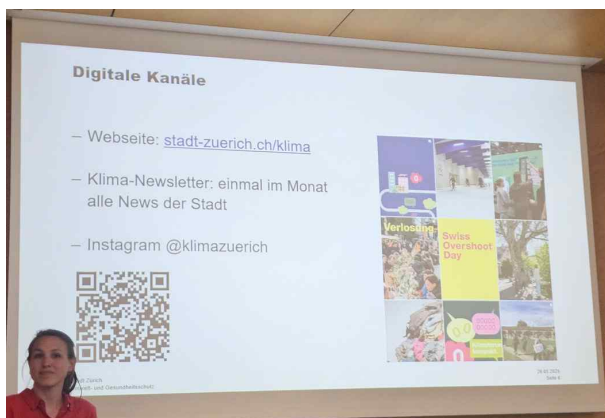


그림 16. 의사소통을 통한 지역 환경문제 해결사례 소개 모습

- 취리히시 외곽 CO₂ 배출 기여도
 - ※ 건물 20%
 - ※ 자동차 38%
 - ※ 식음료 21%
 - ※ 제품생산 21%

- 길거리에 팝업스토어를 설치하여 찾아가는 지원 서비스 사업 진행
- 현재 취리히 시내 5천개 이상의 식당이 운영중에 있는데 이들 식당에 대해 2022년부터 친환경 기후 운영 유도
 - ※ 기후메뉴 출시, 음식물 쓰레기 줄이기 운동
 - ※ 상대적으로 온실가스 배출이 높은 육류보다는 야채위주 메뉴 운영
 - ※ 식당 1개소 당 최소한 1개 이상의 기후메뉴 운영하도록 유도
- 지역 주민의 호응과 적극적 협조를 위해 on/offline 홍보 진행 중
- 이와 더불어 제품생산에서 배출되는 CO₂ 감축이 어려운만큼 제품의 사용기한 증대, 물품 오래쓰기 운동 추진 중
 - ※ 고쳐쓰기, 나눠쓰기, 중고물품 판매 및 사용 유도
- 스위스는 도로부문 온실가스 감축을 위해 친환경 전기트램, 버스 등을 운영 중
에 있으며, 초등학교 입학시 경찰관이 찾아와 자전거 타기 교육 실시



그림 17. 취리히 시청 환경관리과 방문활동 모습

4) 보니겐 게마인데 대기환경부서 방문

- 방문일시 : 2025. 5. 27.(화) 10:00~12:00
- 주요 내용 : 기초지자체 차원의 대기질 관리 정책 동향 파악

○ Ueli Michel의 세부 발표 내용 : 보니겐 지역에 대한 소개 및 환경관리 현황

- 베른주 산하의 400개 지자체 중 산하 기관
- 만년설이 녹아 이루어진 2개 큰 호수가에 위치하고 있으며, 우리나라에는 “사랑의 불시착” 촬영지로도 유명함
- 주민 수는 해마다 증가하고 있으며, 현재는 약 2,500명 거주 중
- 모든 주요 사안을 주민총회에서 결정하고 있으며, 연 2회 주요 안건에 대해 투표로 결정
- 지자체 관계자들은 각자 고유의 직업을 가지고 있으며, 지자체장이나 지역 의원들은 봉사직으로 활동
- 보니겐의 환경관련 업무는 주 내 상위기관인 베른주에서 주로 진행
- 수질관리
 - ※ 상수도 : 빙하 녹은물을 정수하여 지역주민에게 제공
 - ※ 하수도 : 주변 16개 기초지자체에서 발생한 오수는 인터라켄 지역에 모아 통합 정수 후 방류
 - ※ 병원, 경찰서, 소방서 등 공공설비들은 대부분 인터라켄에 위치 → 지역 규모가 적어 직업 소방인과 자원봉사자로 구성
- 대기질 : 산업설비가 없어 공기질은 매우 깨끗한 편임
- 주요 에너지원으로 원자력 발전과 수력 발전을 활용하고 있으며, 화력 발전은 사용하지 않음
- 최근 원자력 발전도 태양열과 지역 난방으로 전환되고 있는 추세임
- 최근 환경보호를 위해 보니겐 지역에서 새로운 집을 건설할 때, 석탄 및 기름을 활용한 보일러를 사용하는 집은 허가가 불가함
- 지역 내에서 2년에 한번씩 지역 주민들의 집을 대상으로 기준치를 확인하기 위해 측정을 실시하고 있으며 보수작업도 함께 진행함

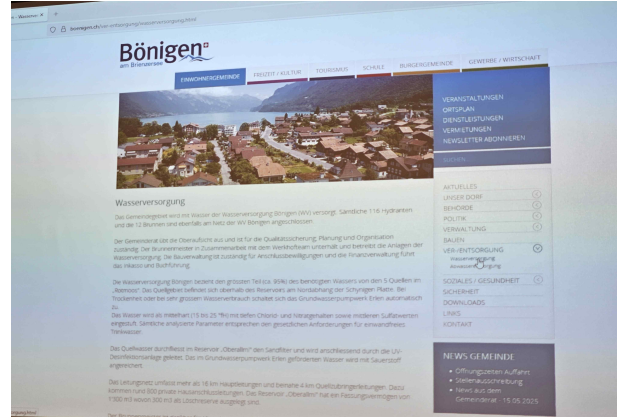


그림 18. 보니겐 환경부서 방문 활동 사진

○ 취리히시의 환경관리 계획 주요 내용

- 상당한 개선에도 불구하고 취리히의 PM₁₀, NO₂, O₃의 농도는 높은 수준이고, 여전히 WHO 등 다양한 환경기준을 초과하고 있음
- 주요 배출원은 도로이동오염원과 연소, 상업 및 산업시설로 확인됨
- 2018년 실시간 연구에 따르면 2015년 취리히시에서 PM₁₀에 의한 건강피해비용은 약 3억 3천 스위스 프랑으로 추산됨
- 현재까지 진행된 대기오염물질 배출규제로 대기환경기준을 만족시키기에는 어려움이 있어 추가적인 조치가 요구되는 상황이며, 특히 도로오염원에 대한 효과적인 정책 수립과 추진이 필요함
- NO_x에 대한 주요 배출원 (2015년 기준)
 - ※ 운송(도로, 철도, 선박) 45%, 난방(가정, 상업, 서비스) 26%, 산업(폐기물 소각 시설 포함) 18%, 건설 10%, 가정, 취미, 원예(농업 및 임업 포함) 1%
- PM₁₀에 대한 주요 배출원 (2015년 기준)
 - ※ 운송(도로, 철도, 선박) 43%, 건설 33%, 산업(폐기물 소각시설 포함) 13%, 가정, 취미, 원예(농업 및 임업 포함) 8%, 난방(가정, 상업, 서비스) 3%,

Stadt Zürich
Umwelt- und Gesundheitsschutz



10 ÜBERSICHT DER ÄNDERUNGEN IM MASSNAHMENPLAN

		un- verändert weiter- führen	geändert weiter- führen	realisiert	neu in überge- ordneten Recht	neu
Feuerungen						
FE1	Periodische Emissionskontrollen an Holzheizkesseln bis 70 kW				X	
FE2	Anforderungen an die Auslegung neuer Holzheizkessel				X	
FE3	Verkürzung der Sanierungsfristen für Holzfeuerungen über 500 kW			X		
FE4	Veränderung Faktorstoffgrenzwert für Holzfeuerungen über 70 bis 500 kW		X			
FE5	Verbrennung von Restholz und unbehandeltem Altholz		X			
FE6	Stationäre Verbrennungs- motoren und Gasturbinen	FE6a	NO _x -Emissionen	X		
		FE6b	Staubförmige Emissionen	X		
		FE6c	Kälte- und Biotgasanlagen	X		
		FE6d	Temporär betriebene Anlagen	X		
FE7	Verbot Feuerungsanlagen für Heizöl-„Mittel- und -Schwer-“		X			
FE8	Sanierungsvorschriften für Feuerungsanlagen mit Öl oder Gas	FE8a	Sanierungsschritt für Anlagen vor 1. Juli 1992	X		
		FE8b	Sanierungsschritt für Anlagen nach 30. Juni 1992	X		
FE9	Emissionsvorschriften für An- lagen zur Holzstromezeugung	FE9a	Staubförmige Emissionen	X		
		FE9b	NO _x -Emissionen	X		
		FE9c	CO-Emissionen			X
		FE9d	Dieseltreibstoff			X
FE10	Lokale und diffuse Schad- stoffquellen	FE10a	Verbrennung von Wald-, Fei- und Gartenabfällen im Freien in Wohngebieten		X	
		FE10b	Schutz der Bevölkerung vor Immissionen aus lokalen diffusen Quellen	X		
FE11	Sanierungsfristen für Holzfeuerungen bis 70 kW		X			
Industrie und Gewerbe						
IG1	Maschinen und Geräte der stationären Verwaltung und von Orten bei stationären Aufträgen	IG1a	Dieseltreibende Maschinen und Geräte auf Baustellen unter stationärer Bauherr- schaft	X		
		IG1b	Dieseltreibende Maschinen und Geräte für Unterhalt- arbeiten, Grünraumpflege sowie Land- und Forstwirt- schaftsarbeiten	X		
		IG1c	Geräteabgase	X		
		IG1d	Zentrale Tankstelle für Geräteabgase		X	
		IG1e	Elektrisch betriebene Maschinen und Geräte	X		

그림 19. 취리히시의 환경관리 계획

- 폐지 정책

- ※ 500 kW이상 목재 보일러에 대한 점검기한 단축
- ※ 70 kW 이상 목재 보일러에 대한 배출규제 진행
- ※ 신규 목재 보일러에 대한 설계규정 강화
- ※ 주거 인근 지역의 산림, 밭, 정원에 대한 폐기물 야외소각 금지

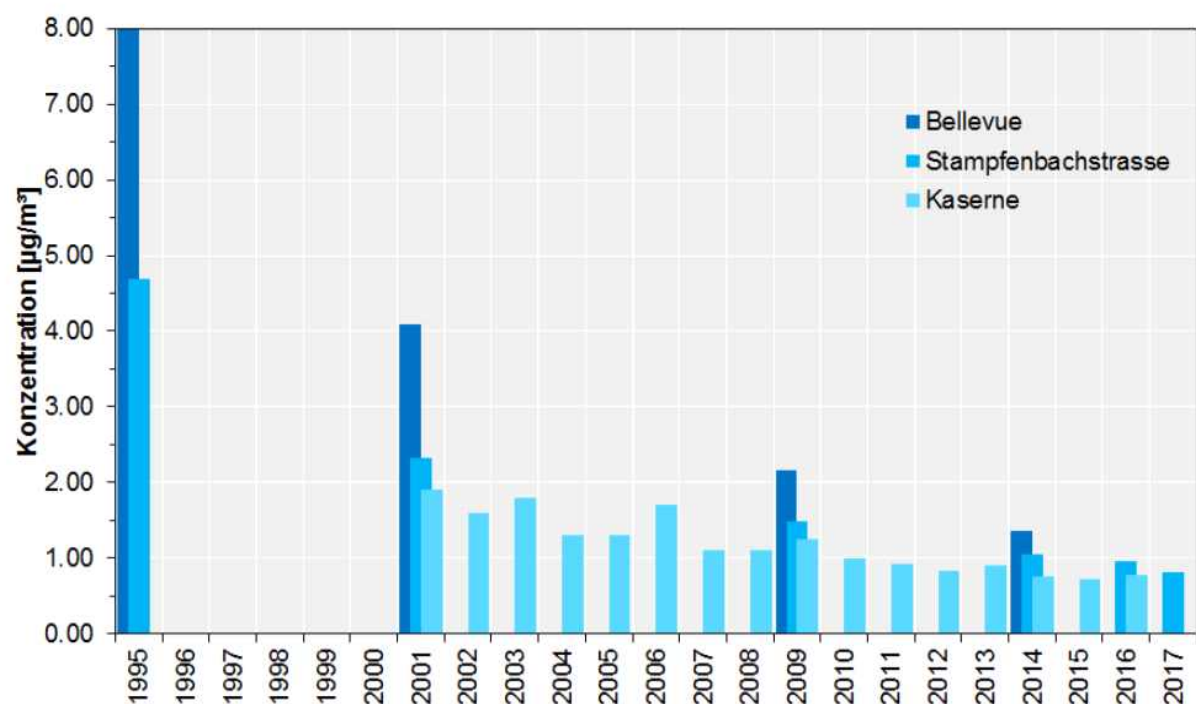
- 지속되는 정책

- ※ 고정식 가스터빈에 대한 PM 배출허용 기준 적용 : 5 mg/m³
- ※ 고정식 가스터빈에 대한 CO 배출허용 기준 적용 : 900 mg/m³
- ※ 석유 또는 가스연소시설에 대한 개보수 : 1992년 7월 1일 이전에 설치되고, 배출한도를 초과하는 설비에 대해 2년 이내 시설개선 필요
- ※ 석유 또는 가스 발전시설에 대한 개보수 : 1992년 6월 30일 이후에 설치되고, 배출한도를 초과하는 설비에 대해 2년 이내 시설개선 필요
- ※ 예비 발전시설의 연간운전시간 및 NOx 배출 제한
- ※ 지역 내 주요 배출원으로부터 주민 건강보호 → 불법배출원 관리 강화
- ※ 70 kW 이상 목재 보일러에 대한 배출허용기준 준수를 위한 시설 개선
- ※ 친환경차량 보급 확대
- ※ 70~500 kW 이상 목재 보일러에 대한 고체 연료 배출관리 강화
- ※ 농업잔재물과 폐목재에 대한 연소 관리 → 페인트, 코팅, 접착제가 도포되거나 기타 오염된 잔여 목재 연소 금지
- ※ 고정식 가스터빈 NOx 배출 제한
- ※ 취리히 시내 건설현장에서 운영하는 차량의 경우 배출허용기준을 만족하는 차량 활용 또는 배출저감장치(DPF) 부착 필요
- ※ 취리히 시내 건설현장에서 운영하는 차량의 경우 운송 재료 m³당 NOx 배출량이 5 g을 초과하지 않도록 설계 필요
- ※ 취리히 시내 건설현장에서 운영하는 건설기계의; 경우 LRV에 명시된 고체입자 개수농도 제한을 초과하지 않아야 함
- ※ 신규 버스 구매시 친환경버스(전기) 또는 현재 최고배출저감 기술을 갖춘 차량 구매
- ※ 배달 직원에게는 에코 드라이브 교육 참여
- ※ 화물운송시 배출량이 높은 철도보다 선박활용

- ※ 도로 청소시 PM₁₀ 재비산 방지방안 마련
- ※ 도심지역 운행 속도 제한 → 대기오염물질과 소음 감소 효과 기대
- 새로이 적용되는 정책
 - ※ 예비발전시설에 대한 배출규제 : CO 배출량 650 mg/m³으로 제한되며, 연간 시험운전 시간 또한 25시간을 초과할 수 없음. 또한 연료로서 디젤만 사용할 수 있음
 - ※ 지역간 운송수단 이동정보 관리
 - ※ 주차관리를 위한 주변 지자체와의 협력 강화
 - ※ 시와 계약한 농업 업자는 분뇨 살포시 저오염물질 배출기술 적용
- 도시교통 2025 프로그램 : 환경친화적 교통수요 관리와 목표, 목표 달성을 위한 전략과 시행계획을 제시
 - ※ 대중교통, 도보, 자전거의 수송분담률 증대 및 우선 이용 방안 모색
 - ※ 대중에 대한 인식제고를 위한 교육
 - ※ 대중교통, 도보, 자전거 이용률 증대를 위한 교통 인프라 구축
 - ※ 자가용 이동량 감소를 위한 정책 수립 및 혼잡지역 우회방안 모색
 - ※ 자가용에 대한 제한적 주차 정책 도입
 - ※ 주요 도심지역 저속 교통지역 운영
 - ※ 도로오염원으로부터 시민 보호방안 마련
- 일정 규모 이상의 도시 행사 진행시 교통으로 인한 배출가스 저감 방안제시 및 시행 → 관계부서는 이를 확인하고 승인
 - ※ 대중교통 지원 및 자가용 이용 억제 방안 제시
 - ※ 주차공간 확보 및 운영방안 제시
- 도로에서 발생하는 대기오염물질에 대한 모니터링 및 정보 제공
 - ※ 대기오염과 교통에 대한 연관성을 대중에 인식 시킬 수 있는 교육 실시
 - ※ 현재 도로변 오염도 정보를 제공할 수 있는 웹사이트 운영
 - ※ 4년마다 관련 보고서 발간 : Air Balance
- 공기질 관리의 권한이 있는 연방 및 주정부와 유기적인 소통과 적극적인 참여
 - ※ 지역 내 환경이슈에 대해 연방 및 주정부에 직접 의견을 제시
 - ※ 도시협회(학회)와 같은 플랫폼을 활용한 의견제시 및 공론화

○ 스위스의 VOCs 관리 정책

- 대기오염방지 조례(air pollution control ordinance, LRV)에서는 발암물질의 허용기준을 정하고 있지는 않는데 이는 이들 물질이 확실한 발암물질로 농도가 높을수록 건강위해를 초래하기 때문임
- 스위스에서는 VOCs 중 벤젠에 대해 1990년대 중반부터 배출관리를 해오고 있으며, 최근 조사에서 1990년대 대비 약 80% 이상이 감소된 것으로 보고됨



Annual average VOC (benzene)

그림 20. 스위스의 연도별 VOCs (벤젠) 농도

- 2000년대 EU에서는 벤젠의 대기환경기준으로 연평균 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정하였고, 회원국은 2010년부터 이를 준수하여야 했음. 스위스 역시 EU 가입국은 아니지만 이 기준을 채용하여 관리를 시작
- 스위스 정부차원의 벤젠 조사 및 연구를 통해 현황파악을 시작하였고, 그 결과 현재 수준의 정책 추진으로는 벤젠에 대한 효과적인 관리가 어렵다는 결론에 도달하여 새로운 개선 전략 수립
- 2000년 약 1,400톤의 벤젠이 대기 중으로 배출되었으며, 배출량의 약 75%는 자

동차 배기가스에서 기인한 것으로 확인됨

- 스위스에서는 매년 2명이 벤젠 노출로 백혈병이 발생하는 것으로 조사됨
- 주유소에서 배출되는 유증기를 회수하기 위해 유증기 회수시설을 운영하고 있지만 조사결과 약 20%의 시설에서 유증기 회수시설이 전혀 작동하지 않고 있으며, 15~30%는 제대로 작동하지 못하고 있는 것으로 확인됨. 이로 인해 주유소 주변지역의 오염도가 매우 높은 것으로 보고되고 있음
- 스위스는 벤젠 노출로부터 국민 건강호보를 위해 대기오염방지조례(LRV 1985)를 지정하여 운영하고 있음. 여기에서 배출허용기준을 고시하지는 않았지만 벤젠에 대한 노출농도를 최소화 하도록 제안하고 있음
- 스위스 연방대기위생위원회(EKL)에서는 대기 중 벤젠 관리를 위해 다음과 같이 제안

※ 벤젠 배출원 파악

※ 스위스 내 벤젠 오염 및 주민에 대한 위험 정량화

※ 추가 벤젠 측정 필요성 파악

※ 노출 저감을 위한 전략 및 세부 사업 발굴



2 Quellen der Benzol-Emissionen

Die Emissionen von Benzol in die Atmosphäre stammen vor allem aus anthropogenen Quellen. Die Hauptquellen sind Verbrennungsprozesse zur Energiegewinnung. Insgesamt wurden im Jahr 2000 in der Schweiz ca. 1370 bis 1430 Tonnen Benzol emittiert. Ca. 75% stammen vom motorisierten Strassenverkehr, der grösste Teil davon Fahrzeugen mit Benzinmotoren. Im Einzelnen gliedern sich die Emissionen wie folgt:

Durch den **motorisierten Strassenverkehr** wurden im Jahr 2000 ca. 1040 Tonnen Benzol emittiert (Auspuffemissionen der Benzin- und in geringerem Mass auch der Dieselfahrzeuge). Zwischen 1985 und 2000 sind die Benzol-Emissionen des motorisierten Strassenverkehrs um rund 80% gesunken.

70 bis 100 Tonnen Benzol wurden beim **Umschlag** und der **Lagerung** von Benzin und Dieselöl an den 3600 Tankstellen, in den diversen Tanklagern und den 2 Raffinerien in der Schweiz emittiert. Davon etwa 30 Tonnen beim Betanken der Autos an den Tankstellen.

Im **Offroad-Bereich** (Geräte Land/Forstwirtschaft sowie Gartenpflege und Hobby, Schifffahrt, Industrielle Fahrzeuge, Baumaschinen, Luftfahrt, Heizölumschlag usw.) wurden ca. 60 bis 90 Tonnen Benzol ausgestossen. Die Auspuff-, Lagerungs- und Umschlags-Emissionen sind zusammengerechnet.

Durch die **Feuerungen** bei den Haushalten (HH), der Industrie (Ind.), dem Gewerbe, der Landwirtschaft und den Dienstleistungen (GLD) wurden ca. 200 Tonnen Benzol emittiert. Der grösste Teil davon (ca. 140 Tonnen) stammt aus den Holzfeuerungen.

Tabelle 1: Benzol-Emissionen in der Schweiz 2000 und 2010

Quelle	Emissionen 2000		Emissionen 2010	
	t/a	%	t/a	%
Auspuff Benzin PW, LI	840	60.0	240	34.3
Auspuff Benzin MR, Mofa	120	8.6	105	15.0
Auspuff Diesel SNF, LI, PW, Bus	80	5.7	50	7.2
Umschlag/Lagerung Benzin, Diesel	70-100	6.1	35-65	5.6
Auspuff/Lagerung/Umschlag von Benzin/Kerosin/Diesel/ Heizöl im Offroad-Bereich, Geräte, Schiffe, Maschinen usw.	60-90	5.3	30-60	6.4
Holzfeuerungen HH, GLD, Ind.	140	10.0	155	22.2
Öl-/Gasfeuerungen HH, GLD, Ind.	60	4.3	65	9.3
Total	1370-1430	100	680-740	100

그림 21. 스위스의 벤젠관련 연구 보고서

- 스위스의 벤젠 배출량(2000년 기준) : 1,370~1,430톤
 - ※ 자동차 : 1,040톤 (주로 휘발유차량에서 발생) → 배출규제로 2010년 400톤으로 감소
 - ※ 스위스 내 3,600개 주유소, 저장시설 : 70~100톤 배출 (이 중 약 30톤이 주유소에서 차량 연료공급과정에서 배출) → 주유소 및 저장시설에 대한 유증기 회수설비 운영, 보관기술 발전으로 2000년대 2010년에는 30% 이상 감소
 - ※ 농업, 임업, 해운, 산업용 차량, 건설기계, 항공 등 : 60~90톤 → 배출량 관리 부문에서 가장 어려우나 기술 발전 등으로 40% 정도 감소 예상
 - ※ 가정, 산업, 상업, 농업, 서비스업 : 200톤 (목재난로 연소에서 약 140톤)
- 벤젠 측정방법으로 현재 국내 공정시험방법으로 사용되고 있는 고체흡착관법을 제시
- 실측정보와 모델링을 활용하여 스위스의 벤젠농도 분포지도 작성

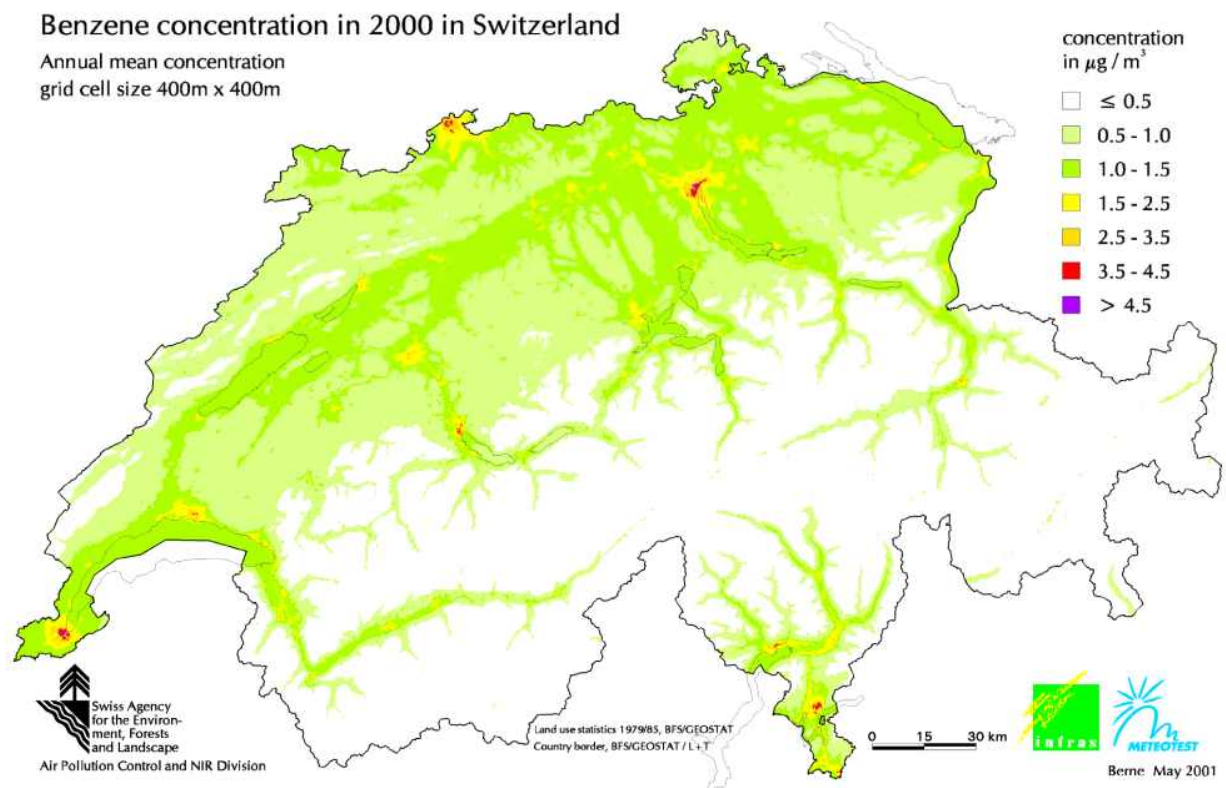


그림 22. 2000년 스위스의 벤젠 농도 분포

- 스위스 인구의 1%는 연평균 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 지역에 거주하고 있으며, 약 1%는 $3\sim5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 지역에 위치. 그 외 85%의 인구는 연평균 $1\sim3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 구간에 거주하는 것으로 나타남
- 모델링과 실측 결과 기반 스위스 전역의 연평균 벤젠농도는 $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준으로 확인됨
- 다양한 감축 시나리오 추진에 따라 개선효과를 적용하면 2010년 벤젠 농도는 2000년 대비 절반 수준에 도달할 것으로 나타났으며, 대기 중 평균 벤젠농도는 $0.5\sim1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 예측됨

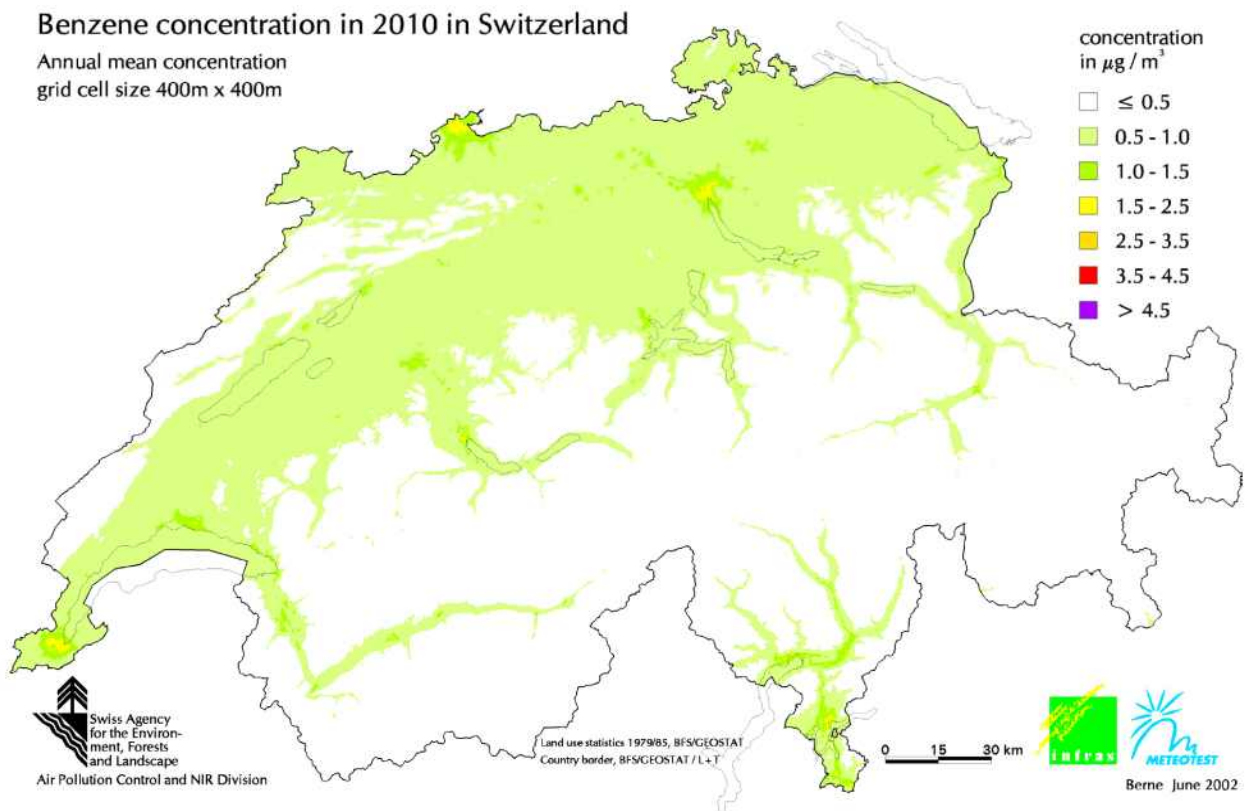


그림 23. 2010년 스위스의 벤젠 농도 분포

- 벤젠의 주요 배출원
 - ※ 가솔린 승용차, 스쿠터, 소형 오토바이
 - ※ 가솔린 저장 및 취급시설
 - ※ 난방유, 경유, 등유 취급시설
 - ※ 주차장

- 저감대책

- ※ 자동차에 대한 강화된 배기가스 저감 정책 추진 : HC와 벤젠 함량을 감소시킬 수 있는 기술개발과 적용
- ※ 가솔린의 벤젠 함유량 감소 (벤젠 함유량 1% 미만 유지)
- ※ 목재난로 연소 조절 : 목재 난로 연소시 발생하는 CO 농도가 1,000 mg/m³ 초과시 벤젠이 발생하는 것으로 알려져 있어 소형 목재난로에 대한 연소 조건 관리 및 규격화 필요
- ※ 효과적인 유증기 회수시설 운영 : 현재 운영 중인 유증기 회수시설에 대한 현장 점검과 효율 평가, 엄격한 승인 규격 개발이 요구됨. 또한 유증기 회수시설에 대해 적정 운영 여부를 확인할 수 있는 모니터링 시스템 구축과 운영 필요
- ※ 주요 배출시설에 대한 벤젠 배출허용 기준 강화
- ※ 대규모 실내 주차시설에 배기가스 포집장치 설치 및 운영 → 실내 대형 마트나 운동시설에 배기가스 포집장치 설치 및 운영을 통해 재실자의 벤젠노출 최소화
- ※ 단거리 주행에 대한 교통수요 대체 : 냉간 운전은 벤젠 배출량을 증가시킬 수 있어 1~3 km 미만의 이동은 도보, 자전거, 킥보드, 인라인스케이트 등 대체 교통수단 이용
- ※ 교통수단에 대한 친환경 전환 : 자가용을 비롯하여 대중교통 수단을 전기, 수소 등의 차량으로 전환 유도
- ※ 적정 운전속도 유지 : 과속시 과도한 벤젠을 배출할 수 있어 지정된 구역에 맞는 적정운전 습관 유지 → 운전자 교육 및 홍보 필요
- ※ 2엔진 소형 엔진(오토바이 등) 사용 지양 및 전기스쿠터로 전환 → 전환이 어려운 경우 4행정 엔진 사용, 저감장치 부착, 방향족 무첨가 가솔린 사용 등으로 대체
- ※ 벤젠 함유량이 적은 가솔린 사용 : 알킬레이트 가솔린이나 벤젠 함유량 0.1% 미만의 가솔린 사용. 취미활동, 원예, 임업 등 활동시 배기가스 배출이 없는 가전제품 사용
- ※ 흡연에서 벤젠 발생 → 실내나 환기가 잘 되지 않는 공간에서 흡연 자제
- ※ 실내 주차시설 국소배기장치 및 배기가스 저감장치 설치 & 운영

4. 충청남도의 VOCs 배출 특징

○ 충청남도의 VOCs 배출 현황

- 가장 최근인 2022년 기준 충청남도의 대기오염물질 배출량은 383,375 톤으로 그 중 VOCs는 70,589톤으로 전체 배출량의 18.4%를 차지. 이는 CO(32.3%), NOx (20.2%) 다음으로 높은 기여도임
- 시군별로는 대산석유화학단지가 위치해 있는 서산이 29.3%로 가장 높은 기여도를 보이고, 천안 20.1%, 당진 14.7%, 아산 14.1% 등 충남 서북부 4개 시군에서 전체 배출량의 78.2%를 배출
- 부문별로는 유기용제 사용이 42.3%로 압도적으로 높은 기여율을 보이고, 그 뒤를 이어 생산공정 29.0%로 두 개 부문에서 71.3%를 차지함
- 충청남도의 VOCs 관리를 위해서는 충남 서북부 4개시를 대상으로 유기용제 사용과 생산공정에 대한 개선정책 추진이 필요

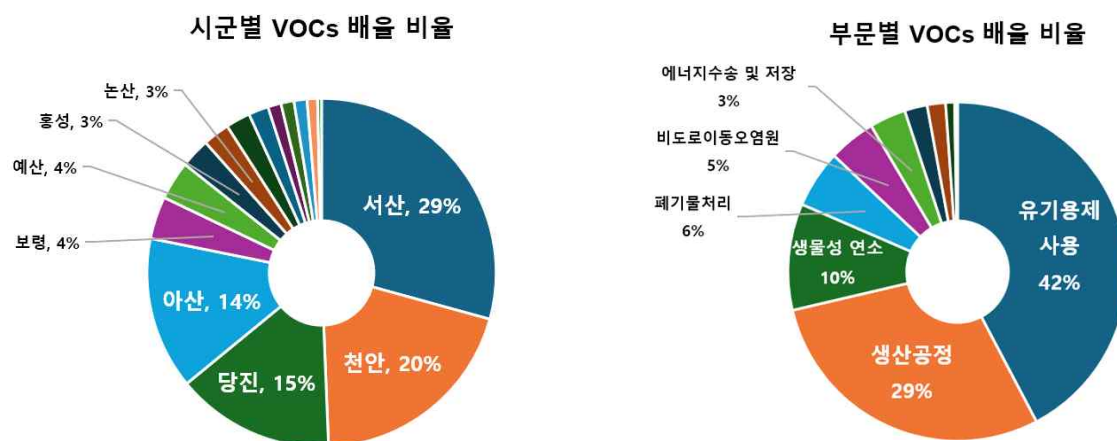


그림 24. 충청남도의 시군별, 부문별 VOCs 배출 현황 (CAPSS, 2022)

- 그림 25는 VOCs의 주요 배출원인 유기용제 사용과 생산공정에 대해 소분류까지 구분하여 나타낸 것임
 - ※ 유기용제 사용은 도장시설이 65.3%로 가장 높은 비율을 보이며, 기타 유기용제 사용 22.5%, 세정시설 9.5%, 세탁시설 2.7%로 나타남
 - ※ 생산공정은 유기화학제품 제조업 59.7%, 제철제강업 27.7%, 석유제품산업 11.4%로 확인됨

5. 시사점 및 정책 제언

○ 산업시설에 대한 관리 방안

- 배출공정에 대한 정밀 조사 및 개선 사업 추진

- ※ 시군별 VOCs 배출 특성을 감안했을 때 서산의 대산석유화학단지와 당진의 제철소의 배출 기여도가 높은 것으로 확인됨
- ※ VOCs의 경우 현재 정확한 농도파악이 어렵고 관련 정보가 많이 부족한 상황임 → 기존의 공정시험법으로 측정된 자료는 그 지역의 측정 당시의 정확한 농도값을 확인할 수 있으나 사용 시간대별, 공정별, 배출 후 대기 중 강한 휘발성으로 인해 VOCs에 대한 대표성을 띄긴 어려움
- ※ 최근 이러한 점을 보완하여 실시간으로 측정할 수 있는 장비들이 개발되어 활용되고 있음 → 그 중 충남보건환경연구원에서 보유하고 있는 SIFT-MS는 준실시간으로 수십종의 개별 VOC를 모니터링 할 수 있음
- ※ 석유화학단지나 제철소 주변을 대상으로 이동관측 후 고농도지역(hot-spot)을 선정하고 이 지점에서 고정측정을 통해 관리 필요물질 선정
- ※ 선정된 물질을 대상으로 주변 배출원에 대한 공정 조사를 통해 의심되는 사업설비의 공정개선을 유도하고, 이후 개선 효과 분석 필요

- VOCs 관리 규제 발굴

- ※ 스위스는 VOCs 포함 제품에 대해 환경세를 부과하고 있으며, EU에서는 VOCs 농도가 높거나 우선 관리지역을 대상으로 좀 더 엄격한 배출허용 기준을 적용하여 관리하도록 권고하고 있음
- ※ 국내에서는 2020년 신설된 대기관리권역법에 따라 대기오염물질 지역 총량관리제도가 진행되고 있지만 대상물질이 SOx, NOx, TSP로 제한되어 VOCs에 대한 배출업체의 저감 노력이 미비한 상태임
- ※ CAPSS 배출량을 기준으로 지난 수년간 감축효과를 봤을 때 총량관리제도에 귀속되는 TSP와 NOx, SOx의 배출량이 크게 감소하였고, 특히 대형 배출시설의 배출저감이 눈에 띄게 크게 나타남. 하지만 이러한 높은 감소 가운데에서도 VOCs의 저감효과는 미미한 것으로 확인되고 있는데 이는

VOCs에 대한 규제가 기존 기준물질 대비 없어 상대적으로 사업체들의 저감 노력이 미비했던 결과로 풀이될 수 있음

- ※ 효과적인 배출저감을 위해서는 VOCs에 대한 배출저감 규제 강화 또는 환경세 부과 등 정책적 뒷받침이 필요할 것으로 판단됨
- ※ 하지만 이러한 부분은 시장상황과 경제여건을 고려해야 하는 만큼 중앙 정부의 환경부와 산업통상자원부 등과의 유기적인 협력과 논의가 필요함

- 소규모 배출시설 배출관리

- ※ 2020년부터 미세먼지특별법에 따라 진행되어온 소규모 배출시설 지원사업은 대부분 자동차 도장시설의 흡착에 의한 시설에 대한 시설교체로 진행되어 왔음. 도장시설의 경우 시설의 교체보다 적정 운영 여부 확인이 더 중요하지만 아직 이러한 부분까지는 관리가 이루어지지 않고 있음
- ※ 도장시설 중 높은 배출기여도를 보이고 있는 건축 및 건물, 코일 코팅, 산업용 도장공정에 대한 상세 조사와 이들에 대한 개선사업 추진이 필요
- ※ 또한 사업 역시 기존의 일회성 시설교체 지원에 머무르지 말고 소모품에 대한 교체주기를 기반으로한 적정 관리현황 관리도 동시에 이루어져야 할 것임

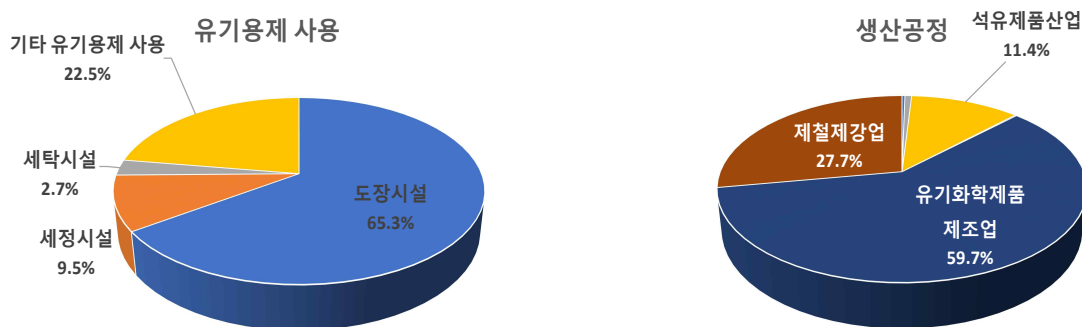


그림 25. 유기용제 사용과 생산공정의 세부 배출원 구분

- 유해화학물질에 대한 대체물질 개발 & 정보 제공

- ※ 유해성이 큰 물질을 덜 유해한 물질로 대체할 수 있는 물질 개발
- ※ 사업주들이 관련 정보를 활용할 수 있도록 정보 제공 사이트 운영

○ 교통수요 관리

- 자가용에 대한 이동 제한 및 친환경 교통 인프라 구축

- ※ 가솔린 자동차에 의한 벤젠 기여도가 높은 것으로 나타나면서 가솔린에 대한 벤젠 함유량 감소와 자가용에 대한 이동 관리, 주차장 사용 억제 등 관련 정책이 수립되어 추진되고 있음. 또한 냉각 운전과 과속 운전시 벤젠 배출량이 증가하므로 단거리 이동 관리 및 적정 운전속도 유지가 VOCs 배출저감 사업으로 추진될 수 있음
- ※ 하지만 이러한 자가용 이동 억제 정책은 반대로 이를 대체할 수 있는 인프라가 기반 되어야만 진행될 수 있음
- ※ 충청남도의 경우 인프라가 어느정도 확보된 천안, 아산을 중심으로 관련 대책을 수립하여 추진해 나갈 필요가 있음
- ※ 인구 밀집지역을 대상으로 LEZ을 운영하고, 교통 혼잡지역을 중심으로 교통수요 분산, 대중교통 친환경차량 우선 전환, 도보, 자전거, 킥보드 등 무동력 교통수단 활용을 유도

- 불법 주정차 관리 강화, 공회전 금지 구역 확대

- ※ 불법 주정차시 교통혼잡을 야기하고, 공회전 과정에서 대기오염물질 배출이 증가하게 됨. 일부 아산 등의 지역에서는 공회전 금지지역을 선정하고 민간환경감시원을 대상으로 계도, 이동 하도록 진행하고 있음
- ※ 친환경 차량에 대한 우선 주차구역 및 충전 인프라 확대 정책 추진 필요
- ※ 또한 교통이동 정보를 확보하여 단거리 이동이 이루어지는 지역에 대해 대체 운송수단을 제공

○ 과학적 정보기반 마련

- 광화학측정망 설치 및 운영

- ※ 최근 대기오염물질 관리 동향이 PM₁₀, SO₂, NO_x 등 1차 배출물질에서 PM_{2.5}, O₃과 같은 2차 생성물질로 전환되고 있음
- ※ 충남도 역시 지난 수십여년간 O₃의 농도가 꾸준히 증가하고 있으며, 특히 VOCs 배출량이 큰 저감효과 없이 유지되고 있어 VOCs에 대한 직접적인 배출관리 뿐만 아니라 O₃관리를 위해서라도 관련 배출특성 조사가 요구됨
- ※ 하지만 이러한 기초자료를 생산할 수 있는 광화학측정망이 충남도 내 단 1개도 운영되지 않고 있어 이에 대한 설치와 자료 생산이 요구됨
- ※ 광화학측정망의 경우 <대기환경측정망 설치·운영지침>에 따라 국가측정망으로 분류되어 국립환경과학원이나 환경공단에서 설치·운영하고 있지만 서울의 경우 필요에 의해 자체 설치·운영하고 있는 사례가 있음
- ※ 전국적으로 O₃과 VOCs관리 필요성이 증대되고 있는 만큼 광화학측정망의 설치 운영에 대한 고민이 필요한 것으로 판단됨

- 주유소 유증기 회수시설에 대한 현황 파악 및 장기 모니터링 방안 마련

- ※ 앞서 유럽에서 선도적으로 추진되었던 유증기 회수시설의 운영 결과 50% 가까운 지역에서 관련 시설의 운전이 안되거나 미비한 것으로 조사되었음
- ※ 국내 역시 대기관리권역 내 주유소에 해당 설비가 설치되었지만 최근 이에 대한 실효성 문제가 대두되고 있어 현황파악이 필요함
- ※ 주유소에 설치·운영되고 있는 유증기 회수시설에 대한 실효성 조사와 현장 검증, 개선방안 마련이 요구되며, 장기적으로 이 시설에 대한 효과를 확인할 수 있도록 모니터링 시스템 구축이 필요함

6. 참고자료

- TNO (2005) Gridded European anthropogenic emission data for NO_x, SO₂, NMVOC, NH₃, CO, PM₁₀, PM_{2.5} and CH₄ for the year 2000
- Umwelt Bundesamt (2024) German Informative Inventory Report (URL : https://iir.umweltbundesamt.de/2022/general/trends/emission_trends_non_methane_volatile_organic_compounds)
- EU (2025) Reducing the emissions of volatile organic compounds (VOCs), (URL : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=legissum:l28029b>)
- 김승도 (1997) 휘발성유기화합물 관리의 개선 방안
- 최유진 (2012) 서울시 휘발성유기화합물 주요배출원 분석 및 관리방안
- 외교부 (2021) EU 분야별 공동정책
- 송민영, 전해준 (2022) 서울시 오존생성 VOCs 배출시설의 특성 및 오존 저감 방안 연구
- 취리히시 홈페이지 (2025) (URL : <https://www.stadt-zuerich.ch/de/gesundheit/gesundheitsschutz/luftqualitaet.html>)
- 스위스 환경보호국 대기질 모니터링 사이트 (2025) (URL : <https://www.iqair.com/profile/health-and-environment-department-city-of-zurich?srsId=AfmBOopbPUZUthpvQsALVy3jifi8iKHhCX3vanvzHmDvqa54pM6cX63G>)
- Stadt Zurich (2019) 취리히시 대기질 개선 계획
- 스위스 연방환경산림청 (2003) 스위스의 벤젠