

KISTEP 미래예측 브리프 2020-02

미래 환경이슈: 대기 오존의 현재와 미래

박노언

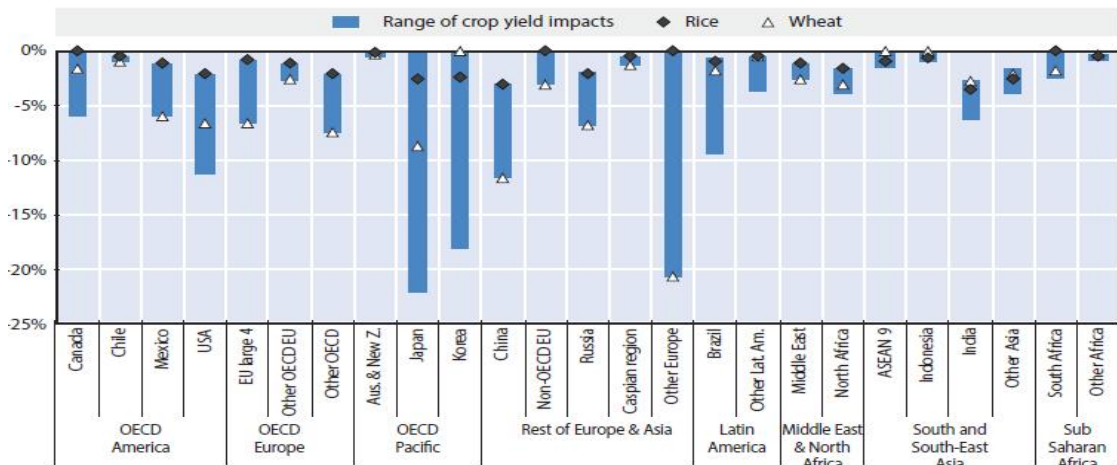


목 차

1. 연구 배경.....	1
2. 연구 방법.....	4
3. 우리나라 현주소.....	6
4. 미래사회 시나리오.....	12
5. 결론 및 향후과제.....	30
참고문헌.....	32
[붙임1] 대기 오존 농도 분석 대상 측정소.....	34
[붙임2] 자문위원 명단.....	35
[붙임3] 대기 오존의 위해성.....	36

1 연구 배경

- 오존은 높은 산화력을 가진 가스상 물질로 국민의 삶에 직접적 영향을 미치는 대기환경오염물질
 - 오존(O₃)은 기체상 물질로 성층권 오존은 자외선을 막아주는 이로운 역할을 하지만, 지표 부근의 대기 오존은 산화력에 의해 건강을 위협하고 생산성을 저하
 - 질소산화물(NO_x), 탄화수소(HC) 등 대기오염물질과 광화학 반응을 일으켜 생성되는 2차 오염물질
 - 대기 오존은 가스상 물질이므로 입자상 물질인 미세먼지와 달리 호흡기를 통해 인체 내로 유입되는 것을 막을 수 없음
- 대기 오존은 미세먼지와 함께 미래 한국사회 주요 환경오염물질로 국내 총생산 저하, 인체와 생태계 파괴 등 초래
 - 2060년 우리나라는 대기환경오염물질인 미세먼지 및 오존으로 인해 국내총생산(GDP)이 약 0.6~0.7% 감소될 전망(OECD, 2016)
 - 오존 산화로 인해 작물의 성장에 부정적 영향을 주며, 특히 한국은 일본 및 유럽과 함께 오존의 영향력이 큼(OECD, 2016)



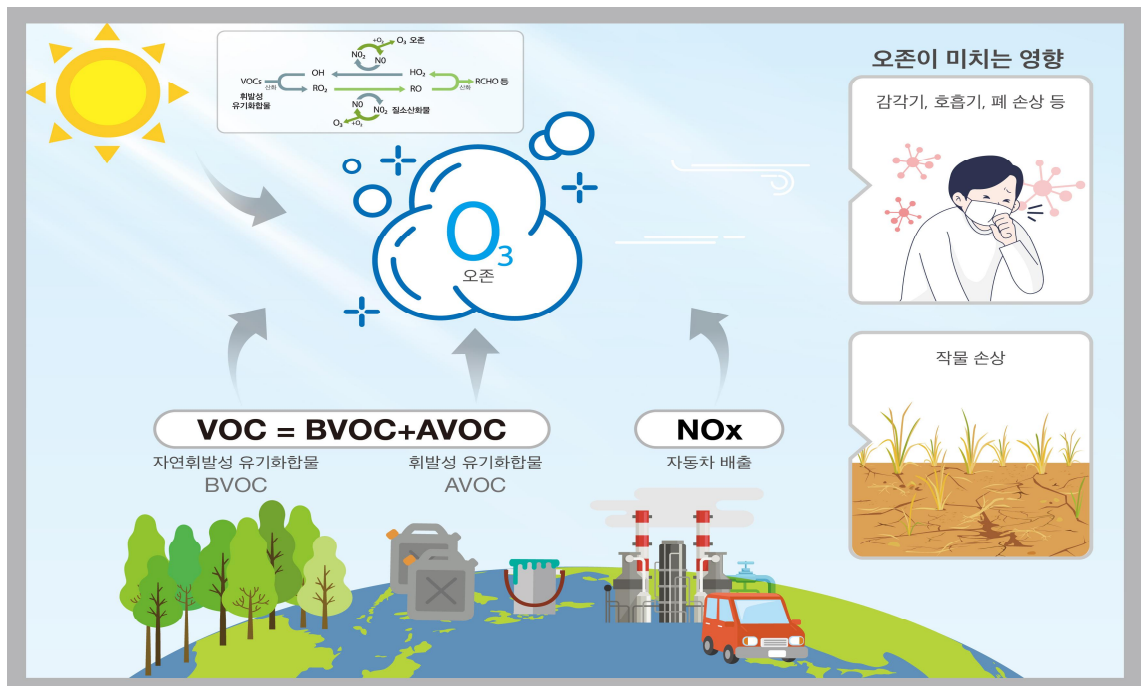
[그림 1] 2060년 오존의 작물 수확량 변화 전망

●○○ 미래 환경이슈 : 대기 오존의 현재와 미래

- 오존 농도 10ppb 증가 시 일별 사망위험은 0.79~1.12% 증가하며, 특히 고령자에 더욱 위험(KEI, 2011)
- 건축재료에 따라 오존 부식 정도가 상이하며, 문화 유산 건축물에 영향을 줄 수 있음(Screpanti et al., 2009)
- 중국은 미세먼지 문제가 점차적으로 해결되는 반면, 오존 문제가 새롭게 부상 (National Science Review, 2020)


○ 본 연구에서는 미래 환경이슈로 부상할 수 있는 대기 오존에 대한 우리나라 현주소와 향후 미래이슈에 대해 살펴보고 정책적 대응방안 마련

- 오존은 미세먼지와 함께 우리나라에 영향을 미치는 주요 환경오염물질로 중국 사례를 비취볼 때 향후 미래이슈로 부상될 가능성 상존
- 한국은 미세먼지 관리 정책에 집중되어 있으며, 중국, EU 등과 같이 대기 오존 저감을 위한 구체적이며 중장기적 목표가 부재



[그림 2] 대기 오존 발생기작과 피해


(참고) 주요국 대기 오존 정책동향

가 중국 

- 「푸른하늘 보위전 완승 3년 행동계획」을 통해 대기오염 관리지역의 확대, VOCs 배출 저감 및 오존 대응 강화 등 추진
- 기존의 PM_{2.5} 저감 계절관리제에 이어 지속적으로 증가 추세인 대기 오존 농도를 저감하기 위해 ‘VOCs 중심의 하절기 오존 저감 계절관리제’ 시행

나 유럽연합(EU) 

- 유럽 대기질과 청정공기에 대한 지침(Ambient Air Quality Directives)을 수립하여 대기질 관리를 법제화하고 있음
- 2030년까지 PM 및 오존에 의한 조기사망을 2005년 대비 52% 줄이기 위해 청정 대기프로그램(Clean Air Programme for Europe) 추진

다 미국 

- 환경보호청(EPA)는 대기오염방지법 근거 및 미국 내 각 주와 협의하여 대기 오존 등 대기환경오염원들을 저감하고 배출한도를 관리하기 위해 허가제 시행
- 대기 오존의 전구물질인 VOCs와 NO_x 관리를 위해 차량 제조업체 등에 친환경 연료 사용 확대 및 배기가스 감소 등 추진

라 한국 

- 미세먼지 대책에 기반하여 대기 오존(VOCs 배출사업장 특별점검 등)을 관리 중이며, 오존 예·경보제* 시행

* 예보등급(ppb) : 좋음(0~31), 보통(31~90), 나쁨(91~150), 매우나쁨(151 이상)

예보경보(ppb) : 주의보(120 이상), 경보(300 이상), 중대경보(500 이상)

※ 한국환경정책평가연구원(2020), The European Environment State and Outlook 2020(2020), EPA(2020).

2 연구 방법

대기 오존 분야 국내 농도 분석

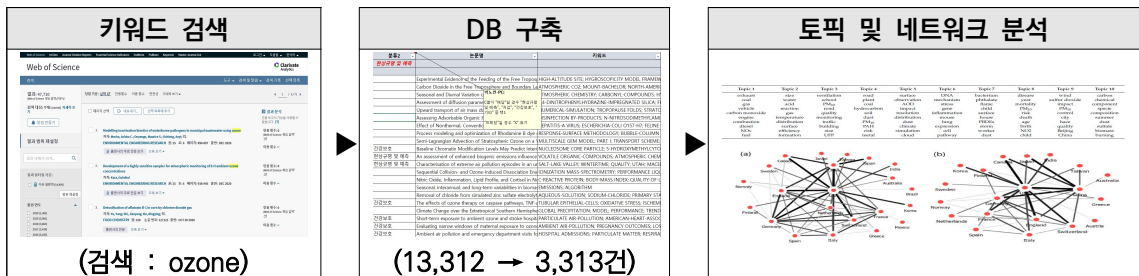
○ 서울, 경기, 부산 등 총 9개 시·도 중 2009년부터 측정자료를 보유하고 있으며, 상대적으로 농도가 높은 51개 측정소를 선정하여 연도별 오존 농도 분석

대기 오존 분야 SCI 논문 분석

- 최근 4년(2016~2019) 간 Web of Science에 발표된 SCI 논문을 대상으로 연도, 국가, 토픽, 연구네트워크 등 분석
- 키워드(Ozone) 검색을 통해 1차 SCI논문 후보군을 DB화 한 후 기술전문가 및 KISTEP 내부연구진을 중심으로 논문 재검토 및 최종 확정
- 대기 오존 분야 기술분류체계는 총 4단계로 구성하였으며, 넷마이너 프로그램(주 사이람)을 활용하여 연구토픽 및 연구네트워크 분석

〈표 1〉 대기 오존 R&D 분류체계

	주요 내용
현상규명 및 예측 저감	대기 오존의 원인규명, 측정·조사, 대기질 모델링 등 대기 오존의 배출 저감
영향평가(인체)	대기 오존 발생으로 인한 인체 위해성 평가 및 역학조사
영향평가(생태계) 기타	대기 오존 발생으로 인한 농업, 산림 등 생태계 위해성 평가 달리 분류되지 않는 대기 오존



〈그림 3〉 대기 오존 분야 SCI 논문 분석 절차

❖ 대기 오존 분야 미래 시나리오 분석

- 시나리오 플래닝 기법을 활용하여 향후 10년(~2030) 내 예상되는 미래사회 변화모습과 갭 분석을 통해 정책적 시사점 마련
 - 시나리오는 미래에 일어날 수 있는 여러 가지 상황을 예상하여 ‘스토리’ 형식으로 전달하는 방법으로 불확실성이 높고 복잡한 요인들로 얽혀 있는 이슈에 다양한 미래 모습을 제안(KISTEP, 2011)
 - 본 연구에서 수행된 미래 시나리오 작성 단계는 다음과 같음

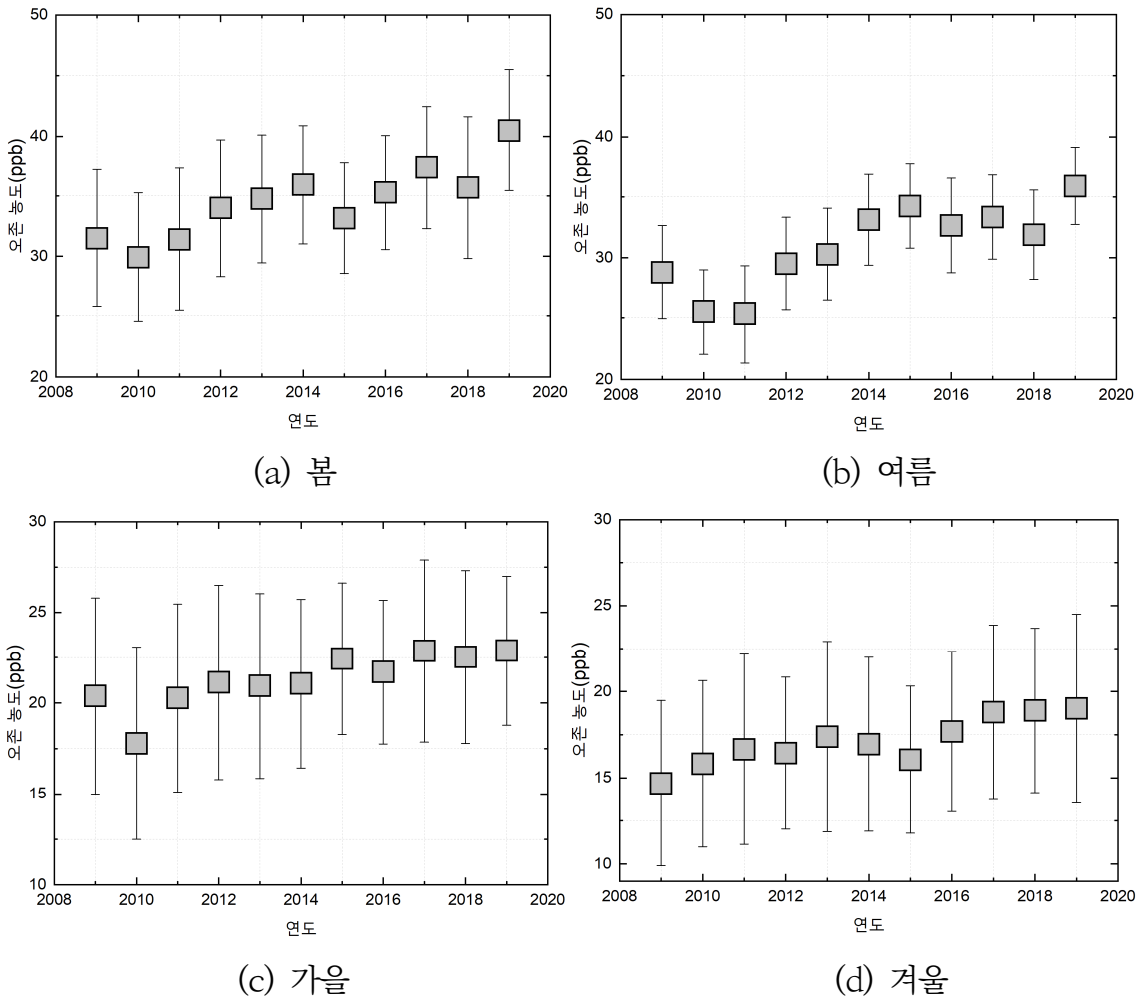
〈표 2〉 시나리오 플래닝 분석 절차

구분	주요 내용
핵심주제 선정 ▼	• 의사결정 범위, 예측 시점, 국가 등 설정
핵심의사결정요소 도출 ▼	• 의사결정에 영향을 주는 요소 결정
변화동인 분석 ▼	• 핵심주제에 영향을 미치는 동인 발굴 및 핵심동인 해석
미래 시나리오 설정 ▼	• 핵심불확실성동인 간 관계 분석, 시나리오 후보군 도출 및 평가, 미래 시나리오 작성 등
정책적 시사점 도출	• 미래시나리오 갭 분석을 통해 회피 및 대응 정책 방안 마련

3 우리나라 현주소

◆ 대기 오존 농도 추이

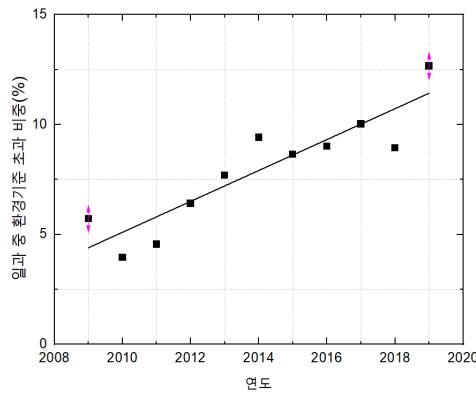
- 지난 11년 간 대기 오존 농도¹⁾는 증가 추세이며, 봄과 여름철 오존 농도가 높음
 - 봄과 여름의 평균 농도(8시간 기준)는 2009년 각각 31.5ppb 및 28.8ppb에서 2019년 40.5ppb 및 35.9ppb로 증가



[그림 4] 계절별 대기 오존 농도 추이(2009~2019)

1) 서울, 부산, 대구, 인천, 울산, 경기, 강원, 충북, 충남 등 9개 시·도 고농도 51개 측정소 자료(2009~2019)

- 국내 모든 측정소는 대기 오존 환경기준(60ppb, 8시간, 1년 전체 기준)을 최소 1번 이상을 초과하고 있으며, 환경기준 초과 비중은 점진적 증가
 - 봄과 여름철의 경우 대기환경 기준인 60ppb 이상(8시간 기준)을 넘는 비중은 2009년 5.7%에서 2019년 12.7%로 증가
 - 현 추세로 대기 오존 농도가 증가 시 2030년 봄과 여름철의 환경기준 초과 비중은 14.5%이며, 낮 시간만 고려할 때 대상기간의 25.3%가 60ppb 이상
 - 지난 11년 간 대기 오존 농도(8시간 기준) 최대값은 2019년 5월 경기도 의정부에서 162ppb 관측됨



[그림 5] 일과 중 대기오존 환경기준 초과 비중(봄 및 여름철 합계 기준)

- 서울 고농도 발생 7개 지점의 오존주의보(120ppb, 1시간 기준) 발령횟수는 2018년 110회로 가장 높음. 반면 2015년은 엘니뇨 현상 등으로 발령회수 없음

<표 3> 오존주의보 발령회수

측정지점	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
도봉구	8			1	7	4		7	6	17	8
동대문구	7			2	4	10			5	31	12
서대문구	4	2				7		5	1	8	10
성동구	5	5	1		3	1		2	6	1	20
송파구	8	18	3			5		2	8	11	8
중구	3	4			2	4		2	9	33	13
중랑구	5	2				17		1	2	9	8
합계	40	31	4	3	16	48	0	19	37	110	79

◆ 대기 오존 분야 연구동향

- 2018년도 대기 오존 분야 정부 R&D 투자규모는 3.14억원으로 대기환경 및 미세먼지 R&D 투자의 0.27% 및 0.47% 및 차지(www.safernd.kr)
- 과기정통부를 중심으로 대기 오존 R&D과제가 수행 중이며, 현상규명 및 예측 연구가 대부분

〈표 4〉 대기 오존 R&D투자 추이

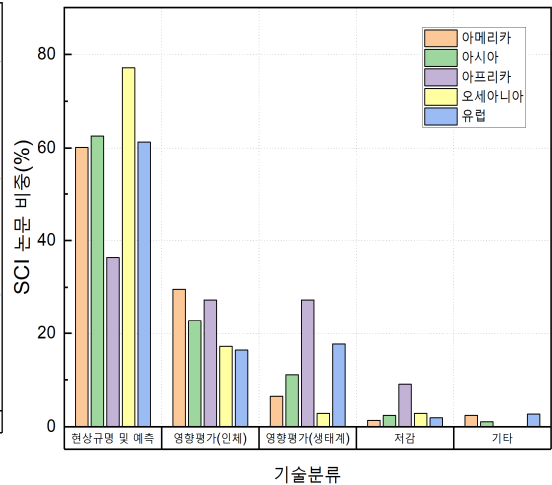
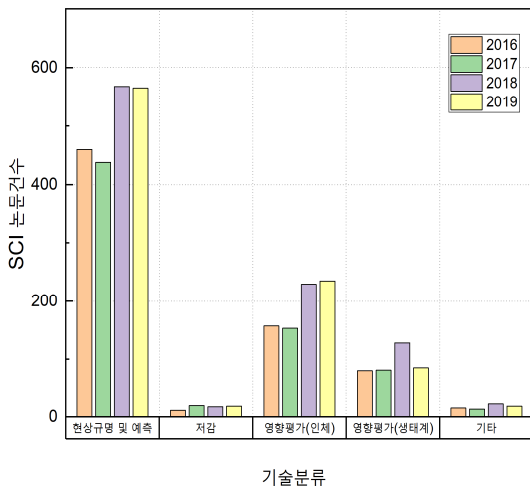
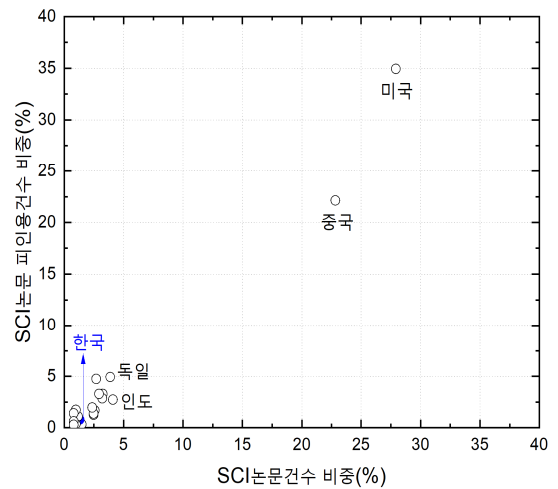
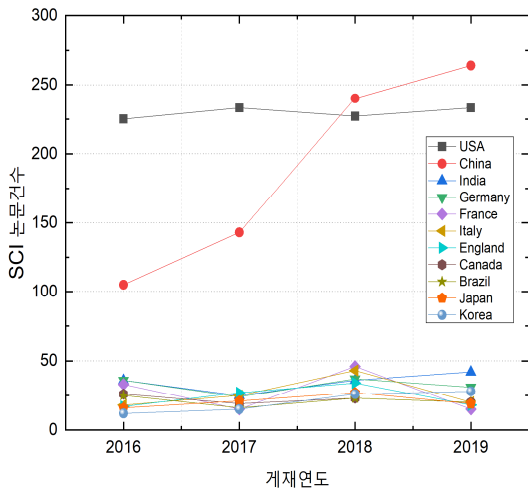
(백만원, %)

	2016년	2017년	2018년	연평균 증가율
오존	144	266	314	47.7
미세먼지	43,915	57,485	67,021	23.5
대기환경	84,937	104,891	116,718	17.2

연구과제 목록(2018)	<ul style="list-style-type: none"> • 동북아시아 오존의 급격한 농도 증가 원인 파악을 위한 HONO 배출 및 생성기작 규명(과기정통부, 100백만원) • GPS 위성 차폐자료를 활용한 전지구 대류권-성층권 물질 교환 연구(과기정통부, 114백만원) • 에어로졸과 오존의 연직분포 변동에 따른 직접 복사강제 효과의 민감도(과기정통부, 50백만원) • OMPS 위성자료를 이용한 오존 프로파일 알고리즘 연구(교육부, 50백만원)
---------------	---

- 최근 4년(2016~2019) 간 대기 오존 분야에 총 73개 국가 및 3,313편의 SCI 논문이 발표됨
- 대기 오존 분야 SCI논문은 아시아(36.5%), 아메리카(35.2%), 유럽(26.9%) 등의 순으로 발표
- 미국(27.7%)과 중국(22.7%)이 총 논문의 50.4%를 차지하고 있으며, 우리나라는 세계 11위 차지(총 논문의 2.44% 차지)
- 특히, 중국의 대기 오존 분야 논문 발표 증가가 두드러지며, 미국 및 유럽은 정체 수준이며 우리나라는 소폭 증가
- 미국과 중국의 피인용건수가 세계 1,2위를 차지하고 있으며, 한국은 피인용건수 세계 13위 차지

- 미국과 독일 등 선진국은 논문건수 대비 피인용건수 비중이 상대적으로 높은 반면 중국, 인도, 한국 등 아시아 국가는 논문건수 대비 피인용건수 비중이 낮음
- 대기 오존 현상규명 및 예측 분야의 논문수가 많으며, 그 다음으로 영향평가(인체) 및 영향평가(생태계) 등의 순
- 대기 오존의 인체위해성 분야는 아메리카 대륙이 타 지역에 비해 상대적으로 비중이 높으며, 작물 영향평가는 유럽의 비중이 상대적으로 높음

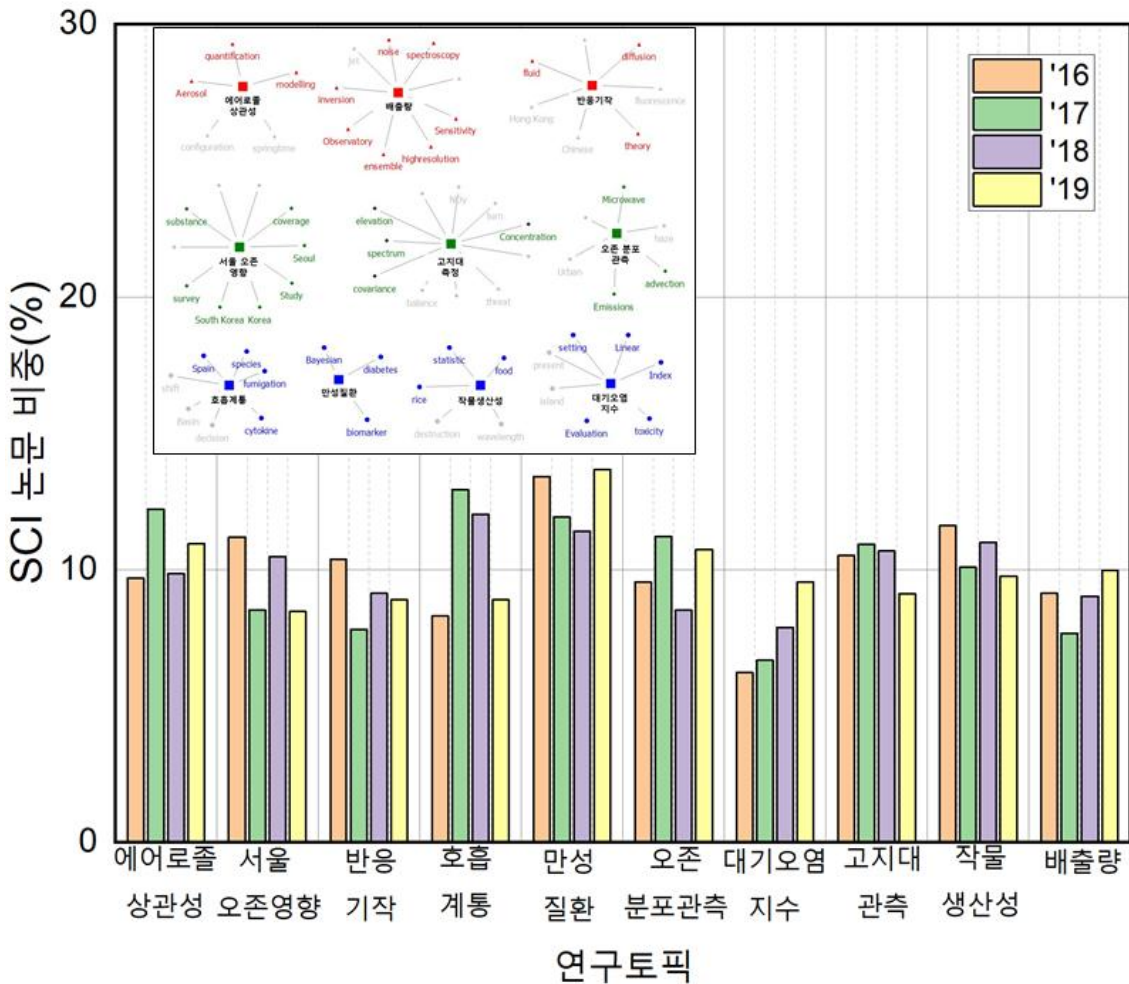


[그림 6] 대기 오존 분야 SCI 논문 게재건수(좌)연도, (우)기술분류

●○○ 미래 환경이슈 : 대기 오존의 현재와 미래

○ 오존, 미세먼지 등 대기오염지수 및 오존 배출량 산정 연구가 확대되고 있으며, 오존의 인체위해성 연구는 호흡계통에서 당뇨, 알츠하이머 등 만성질환 분야로 점진적 확대 추세

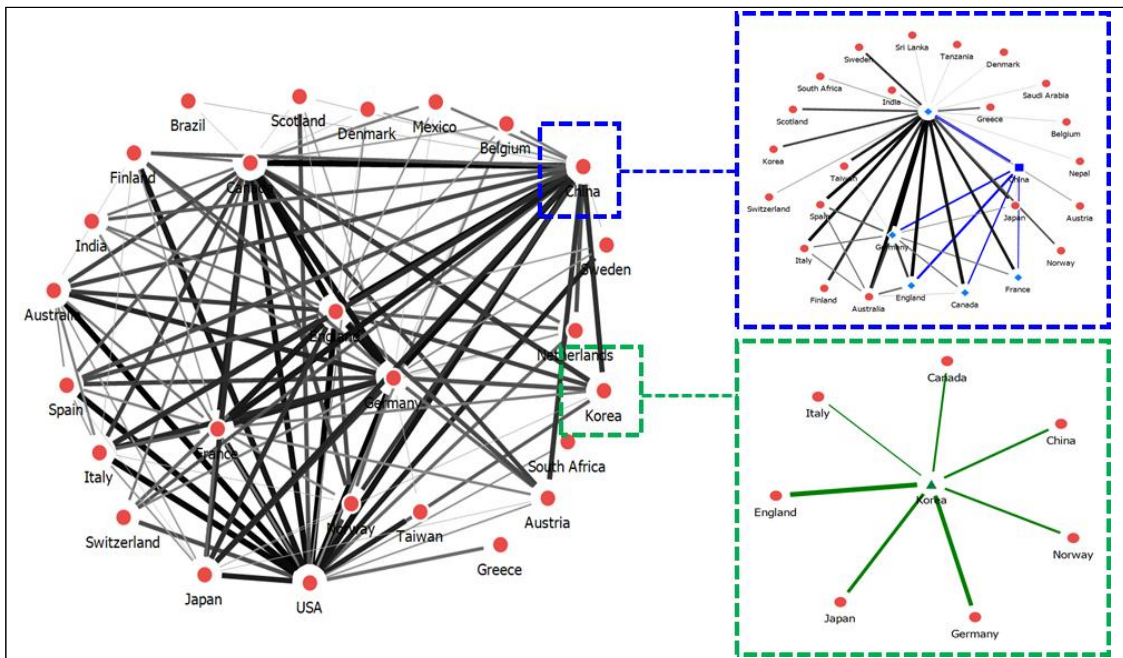
- 대기오염지수 및 오존 배출량 산정 연구 비중은 2017년 6.7% 및 7.7%에서 2019년 9.5% 및 10.0%로 증가
- 오존의 호흡계통 인체위해성 연구는 2017년 12.9%에서 2019년 8.9%로 감소한 반면, 만성질환 분야는 2017년 11.9%에서 2019년 13.7%로 증가



[그림 기] 대기 오존 분야 주요 연구토픽

○ 프랑스, 독일, 미국, 중국 등을 중심으로 대기 오존 분야 연구네트워크가 강하게 형성되어 있음

- 중국은 미국, 독일, 캐나다, 영국, 프랑스 등 유럽 및 북미 등의 다양한 국가들과 연구네트워크 형성
- 반면 우리나라는 영국과 독일과의 연구네트워크가 상대적으로 높은 반면 중국 및 일본 등 인접 국가들과는 연구네트워크가 상대적으로 약함



[그림 8] 대기 오존 분야 연구 네트워크(상위 5% 기준)

<표 5> 연결중심성 (상위 10개국 기준)

순위	국가	순위	국가
1위	프랑스	6위	이탈리아
2위	독일	7위	네덜란드
3위	미국	8위	영국
4위	중국	9위	덴마크
5위	스위스	10위	캐나다

※ 연결중심성 : 네트워크를 구성하는 노드(국가)와, 이 노드와 직접적으로 연결된 다른 노드(국가)들과의 연결 정도를 측정하여, 각 노드(국가)가 네트워크에서 얼마나 중심에 위치하는지 나타내는 지표로, 하나의 노드(국가)가 많은 연결고리를 가질수록 중심성이 높게 나타남(Kim et al(2019))

4 미래사회 시나리오

◆ 핵심주제 및 핵심의사결정 요소 정의

- 본 연구에서는 현재 지속적으로 증가 추세인 우리나라 대기 오존 농도가 향후 2030년까지 우리 삶에 어떻게 영향을 미치는지 예측
 - (예측 시점) 2020~2030년 (10년)
 - (예측 지역) 국내
 - (대상 영역) 대기 오존 (성층권 오존 제외)
- 핵심주제를 결정하기 위한 핵심의사결정요소를 STEEP(Social, Technology, Environment, Economy, Politics) 프레임으로 설정

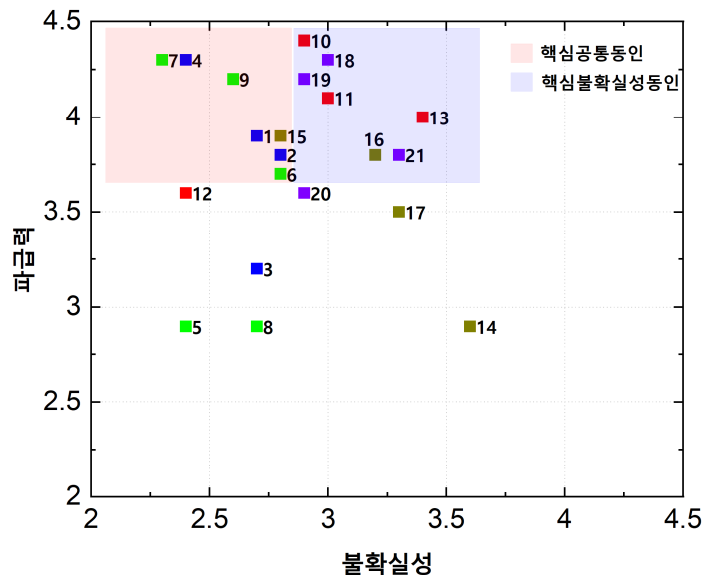
〈표 6〉 핵심의사결정요소 설정

	주요 내용
(S) 사회	국민의 인식 변화
(T) 기술	제품·기술 개발 정도
(E) 환경	대기 오존 관련 환경 규제 및 정책
(E) 경제	대기 오존 전구물질 배출 산업의 성장성
(P) 정치	국제 협력

◆ 미래사회 변화동인 도출

- 문헌조사 및 전문가 의견수렴 등을 통해 도출된 핵심의사결정요소에 영향을 미치는 미래환경 변화동인은 총 21개이며, 해당 동인의 미래 변화방향은 다음과 같음
 - (사회_4개) 국민의 오존 문제 인식 변화, 생활양식의 변화로 인한 석유화학제품 수요 변화, 자연환경 보호에 대한 국민 인식 변화, 인구구조 변화에 따른 오존 문제의 피해 정도

- (기술_5개) 헬스케어 기술개발 정도, 석유대체 소재 기술개발 정도, 친환경자동차 기술개발 정도, 작물 연구개발 정도, 오존 농도 예측 및 정보전달 기술개발 정도
 - (환경_4개) 기후변화, 미세먼지 농도 변화, 오존층 회복 정도, 수도권 풍향 변화
 - (경제_4개) 국제유가 상승 정도, 국내 에너지산업 변화 정도, 글로벌 경제성장 변화, 대기 분야 민간기업 참여 정도
 - (정치_4개) 정부 오존 정책 변화, 지자체 오존 정책 변화, 에너지전환 정책 추진 정도, 국제 공조 변화
- 각 변화동인이 핵심의사결정요소에 미치는 파급력과 불확실성을 평가한 결과 핵심공통동인과 핵심불확실성동인을 도출
- 핵심공통동인은 불확실성은 낮지만 높은 파급력을 가진 동인으로 (7)친환경자동차 기술개발 정도, (4)인구구조 변화에 따른 오존 문제의 피해 정도, (9)오존 농도 예측 및 정보전달 기술개발 정도 등 선정
 - 핵심불확실성동인은 불확실성과 파급력이 높은 동인으로 (10)기후변화, (18)정부 오존 정책 변화, (19)지자체 오존 정책 변화 등 선정



[그림 9] 변화동인별 불확실성과 파급력

〈표 7〉 동인별 변화방향과 평가 결과 집계표

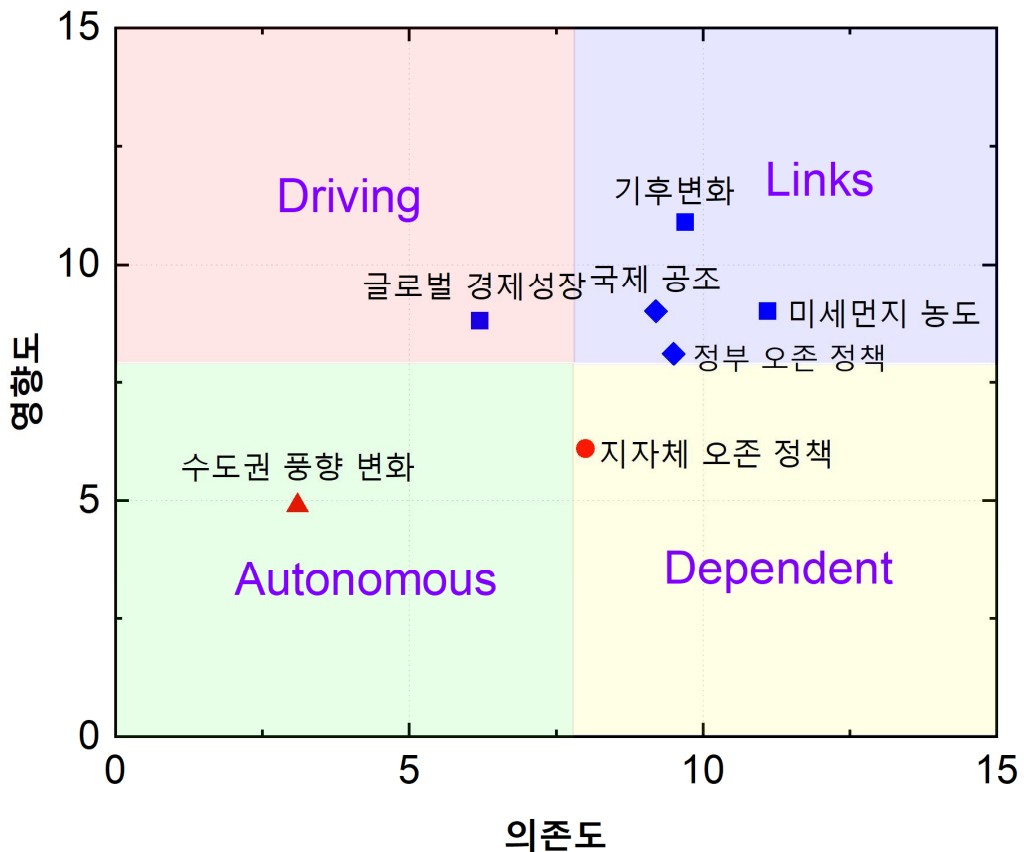
동인 도출 프레임	핵심동인 후보	변화 방향	파급력	불확실성
Social (S)	(1) 국민의 오존 문제 인식 변화	<p>오존 문제의 사회적 이슈 부상 (미세먼지 문제는 해결되었으나 여름철 오존 농도가 계속 증가함에 따라 오존이 사회적 문제로 대두)</p> <p>오존 문제에 대한 대중의 관심도 현 수준 유지 (미세먼지 문제 지속, 정책 후순위 등으로 오존 문제가 현재 수준 유지)</p>	3.90	2.70
	(2) 생활양식의 변화로 인한 석유화학제품 수요 변화	<p>석유화학제품 수요 감소 (친환경 및 재활용 문화가 사회적으로 확산되어 오존의 전구물질인 AVOC 발생량 감소)</p> <p>석유화학제품 수요 증가 (편의주의 확산으로 일회용품 사용 증가 및 AVOC 발생량 증가)</p>	3.80	2.80
	(3) 자연환경 보호에 대한 국민 인식 변화	<p>자연환경 보호 중요성 증대 (숲, 녹지 등 자연환경 보존이 중요함에 따라 오존의 전구물질인 BVOC 발생량 증가)</p> <p>도시집중화 및 편리주의 확산으로 자연보호 제한적 (수도권 인구 집중 심화, 그린벨트 해제 등으로 오존 등 대기오염물질 발생 완충 지역 감소)</p>	3.20	2.70
	(4) 인구구조 변화에 따른 오존 문제의 피해 정도	<p>취약계층의 오존 위해성 심각 (노령인구 비중 확대로 오존 위해성 증대)</p> <p>취약계층의 오존 위해성 제한적 (노령인구가 증가하나 사회적 보호수단(재정지원, 인프라 확충 등) 확대로 오존 위해성 제한적)</p>	4.30	2.40
Technology (T)	(5) 헬스케어 기술개발 정도	<p>헬스케어 제품·서비스 급진적 발전 (원격진료, 첨단제품 등 보건의료 기술개발이 확대되어 오존 문제 해결력 증대)</p> <p>헬스케어 제품·서비스 제한적 발전 (헬스케어 기술개발이 확대되나, 가스상 물질인 오존 문제를 해결할 수준에 도달하지 못함)</p>	2.90	2.40
	(6) 석유대체 소재 기술개발 정도	<p>친환경 소재 보급 대폭 확대 (친환경성, 기후변화 등의 이슈로 석유 기반에서 탈피해 바이오 및 친환경소재 개발 확대)</p> <p>석유대체 소재 사용 현 수준 유지 (기술수준, 경제성 등의 문제로 석유대체 소재 개발 속도가 늦음)</p>	3.70	2.80
	(7) 친환경자동차 기술개발 정도	<p>친환경 차량(전기차, 수소차 등) 보급 대폭 확대 (효율, 비용, 인프라 등의 확대로 친환경자동차의 보급이 대폭 확대됨)</p> <p>친환경 차량(전기차, 수소차 등) 보급 제한적 확대 (친환경 차량이 확대되나, 기술개발의 속도가 빠르지 않으며, 충전소 확충이 수요 대비 부족)</p>	4.30	2.30

동인 도출 프레임	핵심동인 후보	변화 방향	파급력	불확실성
	(8) 작물 연구개발 정도	<p>오존 내성에 강한 작물 보급 확대 (오존 산화에 내성력이 강한 품종 개발 등)</p> <p>오존 내성에 강한 작물 제한적 보급 (기존 작물을 대체할 수 있는 오존 내성 작물 개발이 어려움)</p>	2.90	2.70
	(9) 오존 농도 예측 및 정보전달 기술개발 정도	<p>오존 예측 정확도 및 정보 전달능력 대폭 향상 (첨단 대기환경 및 정보통신 기술의 혁신으로 오존 현상 규명, 예측 정확도, 오존 회피 정보 전달 등이 높아짐)</p> <p>오존 예측 정확도 및 정보 전달능력 소폭 향상 (짧은 시간에 고농도에 발생함에 따라 오존 예측 정확도 및 정보 전달에 제한적 발전)</p>	4.20	2.60
Environment (E)	(10) 기후변화	<p>지구온난화로 인해 기온 상승 및 환경변화 가속화 (이상기온, 풍속 약화, 생태계 변화로 오존 농도 증가에 기여)</p> <p>지구온난화 속도가 현수준 유지 또는 약화 (글로벌 정책 강화로 기후변화 문제가 점진적 해소 및 오존 농도 증가 속도 완화)</p>	4.40	2.90
	(11) 미세먼지 농도 변화	<p>미세먼지 농도 현수준 유지 또는 증가 (미세먼지 이슈가 환경 이슈로 지속됨에 따라 오존 문제의 중요성 미부상)</p> <p>미세먼지 농도 감소 (미세먼지 농도가 감소하나 오존 농도 증가로 이어짐)</p>	4.10	3.00
	(12) 오존층 회복 정도	<p>오존층 회복 (오존층의 농도가 과거 대비 회복됨에 따라 자외선 흡수 및 대류권과의 순환 등에 기여)</p> <p>오존층 파괴 심화 (오존층 파괴가 심화됨에 따라 자외선 통과 및 대류권과의 순환 등에 기여)</p>	3.60	2.40
	(13) 수도권 풍향 변화	<p>수도권 대기 정체 (대기 정체로 인해 수도권 오존 농도 증가에 기여)</p> <p>수도권 주변 지역 영향 증대 (도심 지역 개발에 따른 배출 증가와 기상여건 변화로 수도권 주변 지역 오존 영향 증가)</p>	4.00	3.40
Economy (E)	(14) 국제유가 상승 정도	<p>고유가 지속 (글로벌 에너지 수요 급증으로 대체에너지 산업 육성 및 오존 농도 감소에 기여)</p> <p>유가 상승 제한적 (글로벌 에너지 수요 증가에도 불구하고 유가 가격이 저렴함에 따라 현재 에너지산업 구조 유지)</p>	2.90	3.60
	(15) 국내 에너지산업 변화 정도	<p>친환경에너지 산업 확대 (재생에너지 등 친환경에너지 개발 수요 증가로 발전 및 수송 산업의 탈석유화 가속화)</p> <p>친환경에너지 산업 현수준 유지</p>	3.90	2.80

동인 도출 프레임	핵심동인 후보	변화 방향	파급력	불확실성
		(기술수준, 경제성 등의 측면에서 기존 화석산업에 비해 친환경에너지 산업이 우위를 갖추지 못해 현 수준의 오존 농도 발생)		
	(16) 글로벌 경제성장 변화	글로벌 고속 성장 (글로벌 경제성장으로 산업활동이 확산됨에 따라 대기오염이 확산) 글로벌 저성장 시대 지속 (글로벌 저성장으로 산업활동이 위축되어 대기오염 감소)	3.80	3.20
	(17) 대기 분야 민간기업 참여 정도	대기 분야 산업계 참여 대폭 확대 (정부의 오존 농도 감축 정책 추진 및 재정지원 확대에 산업계의 참여 확대) 대기 분야 산업계 참여 확대 제한적 (오존 문제에 대한 중요성이 강조되지 않음에 따라 측정, 저감 등 대기 분야 민간기업 참여도가 제한적으로 이루어짐)	3.50	3.30
Politics (P)	(18) 정부 오존 정책 변화	정부 차원의 오존 배출규제 강화 (오존 문제가 사회적 이슈로 부상함에 따라 오존 문제 해결을 위해 배출규제 강화) 정부 차원의 오존 배출 규제 현수준 유지 또는 완화 (오존 문제가 현재 수준을 유지함에 따라 대기 정책에 포함하여 오존 정책 추진)	4.30	3.00
	(19) 지자체 오존 정책 변화	지자체 차원의 오존 전구물질 배출규제 강화 (오존 문제가 사회적 이슈로 부상함에 따라 오존 문제 해결을 위해 오존 생성 물질에 대한 배출규제 강화) 지자체 차원의 오존 전구물질 배출 규제 현수준 유지 또는 완화 (오존 문제가 현재 수준을 유지함에 따라 대기 정책에 포함하여 오존 정책 추진)	4.20	2.90
	(20) 에너지전환 정책 추진 정도	에너지전환 가속화 (친환경에너지 및 제품·서비스 확대에 오존 농도 감축에 기여) 에너지전환 가속화 미흡 (경제성, 기술수준 등의 사유로 친환경에너지 및 제품·서비스 보급의 제한적 확대)	3.60	2.90
	(21) 국제 공조 변화	글로벌 국제 공조 노력 확대 (오존의 장거리 이동 특성 상 글로벌 협력 확대) 소극적 국제협력 (해외 유입 근거 부족 및 책임소재 등으로 국제협력 소극적)	3.80	3.30

핵심불확실성동인 특성 분석

- 핵심불확실성동인 간의 연관성(영향 및 의존관계)을 살펴본 결과, 미래시나리오를 결정하는 기준이 되는 핵심불확실성동인은 ‘글로벌 경제성장(석유화학 및 자동차 산업 중심)’, ‘기후변화’, ‘미세먼지 농도’ 등임
- 미래시나리오를 결정하는 핵심불확실성동인(Driving)은 대기 오존 발생의 전구물질을 배출하는 석유화학산업 및 자동차산업의 글로벌 경제성장임
- 의존도와 영향도가 높으며 상호 연결성이 높은 핵심불확실성동인(Links)은 기후변화 대응 및 미세먼지 농도임



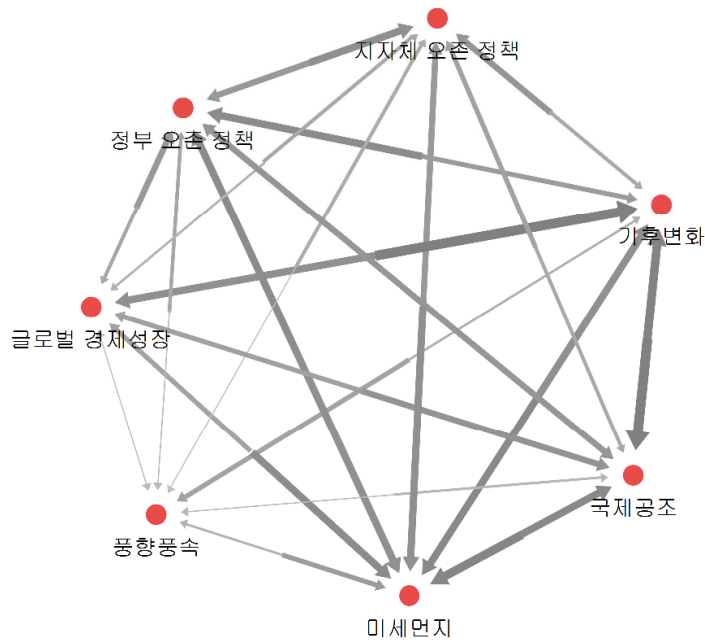
[그림 10] 핵심불확실성동인의 의존도 및 영향도

〈표 8〉 동인 특성

	주요 내용
Driving	시스템의 상태를 결정하는 결정적인 동인
Links	시스템에 의존도 및 영향도가 모두 높은 동인 (Driving 동인과 Dependent 동인의 연결고리)
Dependent	Driving 동인에 의존적인 동인
Autonomous	시스템과 많은 관계를 갖지 않는 동인

○ 핵심불확실성동인 간 전체 네트워크를 구성하고 있으나 동인 간 상호 관계에 따라 방향성 존재

- 글로벌 경제성장(석유화학 및 자동차 산업)은 타 핵심불확실성동인에 영향을 주고 있으며, 미세먼지 농도는 영향도와 의존도가 유사
- 기후변화는 오존 정책, 미세먼지 농도, 국제공조 등에 영향을 주고, 풍향·풍속은 타 동인들의 영향을 많이 받음



〔그림 11〕 핵심불확실성동인의 네트워크²⁾

2) 두께가 두꺼울수록 강도가 강함

2030 미래 시나리오

○ 핵심공통동인과 핵심불확실성동인 간 미래 변화방향에 대한 32개 시나리오 중 논리구조가 약하거나 유사 시나리오는 통합하여 최종 3가지 시나리오 선정

시나리오 I	현재 삶 유지			
구분	공통동인		핵심불확실성동인	
	동인명	변화방향	동인명	변화방향
1	친환경차 기술개발	친환경차 보급 제한적 확대	글로벌 경제성장	저성장 기조로 석유화학 및 내연기관 자동차 산업 저성장
2	인구구조 변화	취약계층의 오존 위해성 제한적	기후변화	지구온난화로 인해 기온 상승 및 환경변화 가속화
3	오존농도 예측 및 정보전달 기술개발	오존 예측 정확도 및 정보 전달능력 소폭 향상	미세먼지	미세먼지 농도 현수준 유지 또는 감소
4	국민의 오존 문제 인식 변화	오존 문제에 대한 대중의 관심도 현 수준 유지	정부 오존 규제 변화	정부 차원의 오존 배출 규제 현수준 유지
5	국내 에너지산업 변화	친환경에너지 산업 현수준 유지	국제공조	소극적 국제협력

2030년 한국사회는 기술의 선형적 발전에도 불구하고 글로벌 저성장, 기후 변화 가속화 등으로 인해 대기 오존 문제는 국내 환경이슈로 크게 대두되지 않으며 국민들 관심 또한 높지 않다. 정부는 COVID-19 이후 디지털 및 그린 뉴딜 정책을 통해 국내 산업구조의 패러다임 전환을 추진하였으나 대기업·제조업 중심의 편중된 산업구조와 더딘 기술개발로 인해 2030년 한국경제 전반에 미치는 파급력은 기대만큼 크지 않으며, 친환경 자동차 및 친환경에너지 보급(2030년 재생에너지 보급 비중 20%) 등은 당초 목표 수준에 그친다. 대기 오존 발생의 전구물질인 VOC를 발생시키는 석유화학산업에 영향을 미치는

주요 요인은 미·중 무역분쟁 및 지정학적 리스크 심화, COTC(Crude Oil to Chemical) 확대, 플라스틱 환경 규제 및 순환경제 등으로 정리할 수 있다. 특히 미·중 무역전쟁으로 촉발된 보호무역 강화 현상이 2030년까지 지속되어 주요 수출대상국인 중국의 자급률 확대, 중동·미국의 공급 과잉이 더해져 그동안 수출 위주로 성장해왔던 국내 석유화학산업은 저성장 기조를 유지한다. 또 다른 대기 오존 전구물질인 질소산화물(NOx)을 발생시키는 내연기관 자동차는 국내에서 차지하는 비중은 계속 감소하나 독일, 영국 등과 같이 완전 퇴출은 좀 더 시간이 요구된다. 독일은 2030년부터 화석연료 기반의 자동차 판매를 금지하기 시작했고 영국은 2035년부터 휘발유·경유차는 물론 하이브리드 차량 판매를 완전 금지하기로 하였다. 2030년 한국의 전기·수소차 신차 판매 비중은 정부 노력에 힘입어 33% 수준으로 확대되었고 세계 시장점유율도 약 10% 달성하였다. 정부는 미래먹거리 창출 및 지속가능한 발전을 위해 2040년부터 순수 내연기관 자동차 완전 폐지를 논의하였으나 이해관계자들의 반대로 호지부지된다. 2030~2052년 지구 평균 온도 상승폭은 선진국과 개도국 간 이해상충, 글로벌 경제성장 등으로 인해 1.5°C를 초과하게 된다. 더불어 한국은 글로벌 녹색성장 선도국가임에도 불구하고 국내 산업구조 한계 및 민간 협력 부족 등으로 2030년 국가 온실가스 감축 목표(BAU 대비 37% 감축)를 달성하지 못한다. 이로 인해 한국의 국제사회 신뢰도는 하락하게 된다.

한국의 미세먼지 농도는 정부의 정책 강화, 국내요인 비중의 점진적 감소, 해외 유입의 감소 등으로 PM₁₀ 및 PM_{2.5} 농도는 감소하고 있으나 기후변화로 인한 한반도 대기 정체로 인해 고농도 미세먼지 위험은 상존한다. 미세먼지가 흡착했던 과산화수소(Hydroperoxy radical)가 미세먼지 농도 감소로 다시 NO와 결합하여 NO₂를 생성함으로써 대기 오존 농도는 지속적으로 증가한다. 2030년 대기 오존 농도는 시간당 최대 농도 200ppb 수준, 봄과 여름철(8시간 기준) 대기환경 기준인 60ppb를 넘는 비중이 전체 시간의 10~20% 차지함에 따라 대기 오존 주의보(120ppb/hr 이상)가 빈번하게 발생하고, 일별 사망위험의 증가 및 고령자 및 임산부 등 취약계층의 인체 위해성은 2020년 대비 상대적으로 높아진다. 특히 한국의 인구증가는 2030년을 정점으로 감소하며, 한국의 고령 인구 비중은 2019년 14.9%에서 2030년 약 25% 수준으로 증가하여 초고령화 사회로 진입함에 따라 고령인구의 만성질환 관련 대기 오존 위해성은 상대적으로 높아진다. 대기 중 이산화탄소의 적정농도 유지와 병충해 발생량 통제

등으로 작물생산량은 2020년 수준을 유지한다. 2030년 한국에서 콩과 밀은 각각 8~10만톤 및 2~4만톤 정도 생산된다. 하지만 과거 대비 대기 오존 평균 농도가 증가함에 따라 잎에 흑색반점 및 황화현상이 나타나게 된다. 특히 경기 및 서해안 중심의 중부 내륙 지역의 AOT40(Accumulated exposure Over a Threshold) 값이 높아 타 지역에 비해 상대적으로 대기 오존 피해를 크게 받는다. 이로 인해 밀과 콩의 연평균 작물 생산량은 각각 16~19% 및 11~21% 감소하게 된다.



[그림 12] 2030 미래모습(현재의 삶 유지 시나리오)

시나리오 II	위험한 일상			
	공통동인		핵심불확실성동인	
구분	동인명	변화방향	동인명	변화방향
1	친환경차 기술개발	친환경차 보급 제한적 확대	글로벌 경제성장	석유화학 및 내연기관 자동차 산업 고속 성장
2	인구구조 변화	취약계층의 오존 위해성 심각	기후변화	지구온난화로 인해 기온 상승 및 환경변화 가속화
3	오존농도 예측 및 정보전달 기술개발	오존 예측 정확도 및 정보 전달능력 소폭 향상	미세먼지	미세먼지 농도 현수준 유지
4	국민의 오존 문제 인식 변화	오존 문제에 대한 대중의 관심도 현 수준 유지	정부 오존 규제 변화	정부 차원의 오존 배출 규제 현수준 유지
5	국내 에너지산업 변화	친환경에너지 산업 현수준 유지	국제공조	소극적 국제협력

2030년 전세계 자동차 산업은 충전 인프라 및 경제성 등의 이유로 내연기관 자동차(휘발유, 디젤, 하이브리드³⁾ 등 포함) 비중이 여전히 90% 이상을 차지하고 있다. 순수 내연기관 자동차 비중은 2018년 96.5%에서 2030년 65%로 감소하였으나 하이브리드 자동차 비중이 2018년 2.7%에서 2030년 28%로 확대되었다. 한국사회도 글로벌 모빌리티 산업 흐름과 유사하게 하이브리드 자동차 산업이 성장세를 보이거나, 내연기관 자동차 신차 비중은 여전히 90% 내외 수준을 보이고 있다. 정부의 에너지전환 정책 추진 및 배출가스 등 환경규제에도 불구하고 기술개발 속도 저하, 충전인프라 설치 지연, 보조금 축소 등으로 전기·수소차 등 세대교체는 더딘 상황이다. 석유 및 가스를 통해 플라스틱, 비료, 포장 등 현대사회의 필수 제품을 생산하는 석유화학산업은 대체재 개발로 인해 수요 감소가 예상되었으나 시민들의 편리주의 확대, 글로벌 저성장

3) 내연 엔진과 전기차의 배터리/모터 등으로 구성됨에 따라 내연기관 자동차로 분류

및 기술개발 속도 저하 등으로 2035년을 정점으로 이후 감소할 전망이다. 특히 정부의 순환경제 촉진 정책에도 불구하고 COVID-19와 같은 다양한 감염병의 창궐로 일회용품 배출량은 오히려 증가한다. 더불어 한국을 포함한 아시아 및 중동의 석유화학산업 설비 증설로 2030년 석유화학산업은 여전히 활황을 유지하고 한국의 경제성장을 견인하고 있다. 석유화학산업의 고속 성장과 친환경 모빌리티 산업 성장의 한계로 인해 대기 오존 전구물질인 VOC와 NOx 배출량은 증가한다. 기후변화에 대한 세계 각국의 소극적 대응으로 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)가 발표한 RCP8.5 시나리오 보다 상승폭이 증가하고 있다. 특히 한국의 지표면 온도는 전지구 평균보다 빠른 속도로 상승하여 2030년 한반도 평균기온과 여름일수는 2020년 대비 각각 0.4~0.5℃ 및 10일 이상 상승한다. 집중호우로 인해 여름철 강수량은 증가하나, 강수일수는 감소한다. 이로 인해 여름일수 증가와 강수일수 감소로 인해 폭염일수가 증가하여 오존농도가 증가할 수 있는 호 조건이 형성된다.

대기 오존 전구물질(VOC 및 NOx)의 발생량 증가, 오존 정책 부재, 기후변화가속화, 외부 유입 증가 등으로 대기 오존 농도는 시간당 최대 농도 300ppb 수준이며, 봄과 여름철, 대기환경 기준인 60ppb(8시간 기준)를 넘는 비중이 20~40% 수준으로 증가함에 따라 대기 오존 경보(300ppb/hr)가 빈번하게 발생하고 위험한 일상에서 생활하게 된다. 4차 산업혁명 기술의 발달로 오존 예측 정확도 및 정보 전달 능력이 소폭 향상되고, 그동안 축적된 미세먼지 위기 대응 경험에 따라 시민들은 대기 오존 경보 시 외출을 자제하고 실내활동으로 자연스럽게 전환한다. 또한 글로벌 경기의 장기 침체 및 국내 주력산업 경쟁력의 점진적 하락 등으로 국내 환경문제는 후순위로 밀리게 되고, 각 국의 이해관계로 국제협약이 아닌 협력수준에 그친다. 일반시민들의 대기 오존 위해성은 증가된 오존 농도에 비해 높지 않으나, 디지털 취약계층인 고령인구에 대한 위해성은 더욱 더 증가함에 따라 양극화된다. 한국의 고령인구 비중은 2019년 14.9%에서 2030년 약 25% 수준으로 증가함에 따라 고령인구에 대한 대기 오존 위해성은 상대적으로 높아진다. 이와 함께 대기 오존 농도 증가로 작물 성장 및 건축물에 대한 피해는 심각해진다. 한반도 평균 온도 증가로 작물의 생육일수는 증가하나 전반적으로 병해충발생량 증가로 작물 생산성은 감소하고 재배지역의 이동이 발생한다. 감귤, 사과 등 과일의 재배지역은 점진적으로 북쪽으로 이동한다. 그리고 한국의 사회기반시설과 건축물은 짧은 기간에 집중적으로

●○○ 미래 환경이슈 : 대기 오존의 현재와 미래

구축된 탓에 2030년에는 공용연수 증가에 따른 노후화와 함께 고농도 오존의 반복·장기간 발생으로 국내 건물과 인프라 노후화가 가속화되어 관련 산업이 타격을 받는다.



[그림 13] 2030 미래모습(위험한 일상 시나리오)

시나리오 III	청정 한국			
	공통동인		핵심불확실성동인	
	동인명	변화방향	동인명	변화방향
1	친환경차 기술개발	친환경차 보급 대폭 확대	경제성장	저성장 기조로 석유화학 및 내연기관 자동차 산업 저성장
2	인구구조 변화	취약계층의 오존 위해성 제한적	기후변화	지구온난화로 인해 기온 상승 1.5도 이하
3	오존농도 예측 및 정보전달 기술개발	오존 예측 정확도 및 정보 전달능력 대폭 향상	미세먼지	미세먼지 농도 감소
4	국민의 오존 문제 인식 변화	오존 문제에 대한 대중의 관심도 증가	정부 오존 규제 변화	정부 차원의 오존 배출 규제 강화
5	국내 에너지산업 변화	친환경에너지 산업 확대	국제공조	글로벌 국제 공조 노력 확대

사스(2002), 메르스(2012), COVID-19(2019) 등 인수공통감염병의 발생주기가 빨라지고, 이상기후로 인한 자연재해(태풍, 홍수, 한파, 산불 등) 피해규모가 확대됨에 따라 국제사회의 자연환경 보호에 대한 관심이 극대화된다. 또한 'Disease-X', X-이벤트 등의 발생으로 인한 국가 회복(Resilience) 및 복구(Recovery) 방법으로 녹색화가 최우선 정책으로 추진되고, 글로벌 녹색성장을 주도했던 한국과 유럽이 선도국가로 자리매김한다. 정부의 강력한 그린뉴딜 정책이 자리를 잡아감에 따라 석유화학산업과 내연기관 자동차 산업은 새로운 전환을 맞이하게 된다. 친환경 소재 개발 및 시민들의 친환경우선주의로 인해 석유화학 제품 사용은 줄어들게 되고, 4차 산업혁명 기술의 발달로 온라인 쇼핑이 증가함에 따라 녹색포장이 규제화된다. 그리고 전통적인 휘발류 및 디젤 기반 자동차 산업에서 탈피하여 친환경 모빌리티 산업이 한국의 주력 산업으로 성장함에 따라 수요 확대로 2030년 전기·수소차 신차 판매 비중은

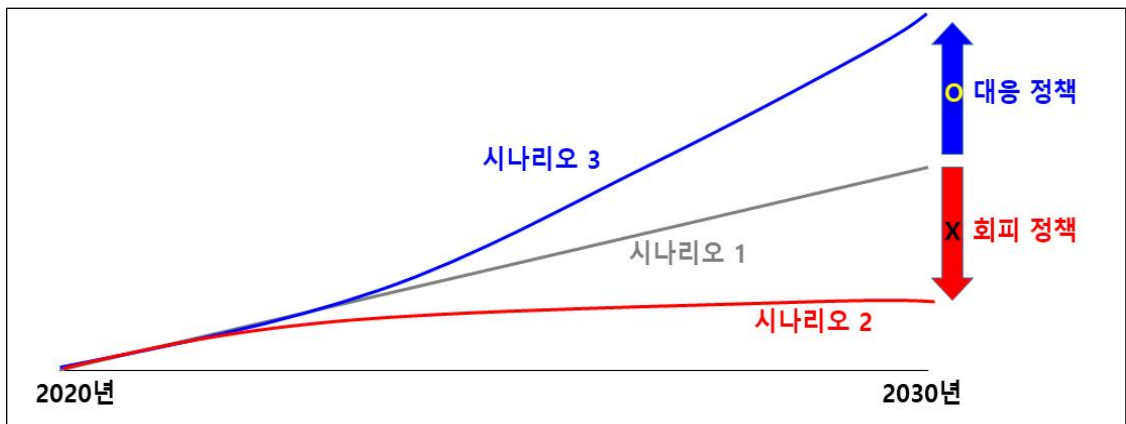
당초 목표인 33%를 초과 달성한다. 특히 수소차의 경우 정부의 강력한 정책 추진으로 인해 대체소재 차세대 연료전지 등을 통한 가격인하, 수소차 부품 고도화, 수소차 차세대 연료전지시스템 개발, 충전 인프라 구축 등이 2030년 전에 완료됨으로써 친환경 차량으로의 전환은 급격히 일어난다. 또한 태양광, 풍력 등 재생에너지 기술의 혁신적 발전과 주민이 참여하는 상생 프로젝트가 활성화되어 2030년 전체 발전량에서 재생에너지가 차지하는 비중은 당초 목표인 20%를 초과한다. 이러한 녹색 정책을 뒷받침하기 위해 정부는 2030년부터 휘발유 및 경유차 완전 폐지를 추진하고 기업 및 시민들은 적극 참여한다. 유엔환경계획(UNEP)이 발표한 보고서(2015)에 따르면 지구평균 기온을 2°C 미만으로 억제하기 위해서는 2030년까지 세계 각국이 제출한 온실가스 감축 목표보다 120억t의 온실가스 감축이 되어야 한다는 경고가 발표됨에 따라 국제 협력이 보다 강화되고 적극적인 노력을 한다. 이로 인해 지구평균 온도 2°C 미만으로 온실가스를 감축하고 정책대화 수준에 머물러 있던 미세먼지 및 오존 등 대기오염 문제가 국제적 논의기구로 출발하고 대기오염물질 감축 로드맵도 마련되어 시행된다. 정부의 강력한 녹색화 및 디지털 정책으로 인해 대기 미세먼지 및 오존 농도는 점차적으로 개선되나 중국 등 북반구의 장거리 이동 오존으로 인한 해외유입으로 국내 대기 오존 주의보(120ppb/hr 이상)는 10회 이내/연 발생한다. 하지만 대중의 오존 문제에 대한 관심 증가와 미세먼지와 오존의 균형있는 정책 수립, 오존 예측 정확도 및 정보 전달능력 대폭 향상 등으로 오존은 환경문제로 크게 대두되지 않으며, 낮은 농도로 인해 인체 위해성도 높지 않다. 다만 한국의 고령인구 비중은 2019년 14.9%에서 2030년 약 25% 수준으로 증가함에 따라 고령인구에 대한 대기 오존 위해성은 상대적으로 높아진다. 기후변화 대응 농업연구 확대 및 대기질 개선 노력 등으로 작물생산량은 증가하여 2030년 한국의 콩과 밀의 생산량은 각각 10만톤 및 4만톤 초과한다. 이는 식품생산량의 증가와 다양화로 이어진다.



[그림 14] 2030 미래모습(청정한국 시나리오)

◆ 정책 과제

- 대기 오존 농도 상승으로 인한 위험한 일상(시나리오 1→2)을 회피하기 위한 정책과 청정대기 한국을 지향(시나리오 1→3)하기 위한 정책 과제 도출



정책 과제명	주요 내용	정책 유형	
		회피	대응
미세먼지와 대기 오존의 통합정책 수립	현재 한국사회는 미세먼지 대응 정책에 집중되어 있어 대기 오존 분야는 정책적 우선순위가 낮음. 국내 대기 오존 농도 증가 추세 및 반응 기작 등을 고려할 때 미세먼지와 오존의 균형있는 환경정책 마련 필요		○
휘발성유기화합물 종별 시·공간적 통계 구축	현재 오존 발생의 주요 전구물질인 휘발성유기화합물(VOCs)의 배출량 산정을 위한 기본 통계자료의 미흡. 현재 국가 배출량 산정 시스템(CAPSS)은 총 휘발성유기화합물만을 산정하고 있어 VOC 종별 배출량과 시·공간적 배출량이 부재한 상태임. 고농도 오존 발생 저감을 위해서는 종별 시·공간적 신뢰도 높은 통계 구축 필요	○	○
중앙정부와 지자체 협력 강화	중앙정부 중심으로 환경정책이 수립되고 있으며, 지자체는 환경 문제 해결을 위한 의지와 리더십이 다소 부족. 명확한 역할분담을 바탕으로 상호 협력 프로세스 구축 필요	○	○
오존 문제의 국제공조 강화	오존 전구물질의 장거리 수송에 따라 배경 오존농도가 증가하고 있으며, 기후변화로 인해 전 지구 온도가 상승이 전망되고 있음. 기후변화로 인해 미래 기상조건이 현재보다 오존 농도가 증가할 수 있는 호 조건이 형성될 것으로 전망됨. 따라서 현재 한·중·일 정책대화 수준에 그치고 있는 오존 이슈를 적극 대응하기 위해 국제적 공조를 통한 오존 전구 물질에 대한 배출량 감축 논의 필요	○	○

대기 오존 계절관리제 도입	미세먼지와 동일하게 대기 오존 농도가 높은 봄과 여름철을 대상으로 정부와 지자체 공동으로 계절관리제를 시행하여 전구물질의 배출저감 강화 및 국민 건강 보호 필요	○	○
탄소 기반의 자동차 퇴출	2040년까지 휘발유 및 디젤을 사용하는 내연기관 자동차의 신규 등록을 금지하고, 수소·전기차에 대한 부가가치세를 전면 폐지하는 제로 텍스(Zero tax) 추진 필요	○	○
저탄소 청정에너지 전환 가속화	가정, 사업장 등에 넷지 방식의 신·재생에너지 사용 확대 방안과 민간기업의 자발적 참여 강화방안 마련 필요	○	○
일회용 플라스틱 사용 규제	일회용품 사용 확대로 인해 환경오염이 가속화되고 있어 플라스틱 총량제 도입 또는 대체 소재 개발 필요		○
대국민 소통 강화	대기 오존 농도 증가로 인한 국민들의 불안감 해소를 위해 정부와 지자체는 객관적 정보를 상시 공유하고 소통의 장 마련 필요		○
대기 오존 분야 정부 R&D 투자규모 확대	오존 문제를 해결하기 위해서는 대기 오존에 대한 과학적 이해와 함께 대체소재 및 신제품 개발, 기후변화를 고려한 노후 인프라 설계기준 강화 등이 필요하며, 이를 통해 정책적 환류체계로 이어짐. 이를 해결하기 위해서는 다양한 연구개발이 필요하나 현재 대기 오존 분야 정부 R&D 투자가 낮으므로 점진적 확대 필요		○

5 결론 및 향후과제

연구결과 요약

- 한국의 대기 오존 농도(8시간)와 고농도 발생빈도는 증가 추세이나, 대기 오존 분야 R&D 투자와 성과는 낮음
 - 오존은 높은 산화력을 가진 가스상 물질임에도 불구하고 지난 11년 간 오존 농도는 증가 추세, 봄과 여름철 대기환경 기준(8hr, 60ppb)을 초과하는 비중은 12.7% 수준
 - 2018년도 대기 오존 분야 R&D 투자는 3.14억원, 미세먼지 R&D 투자 대비 0.5% 수준
 - 대기 오존 분야 SCI 논문은 미국과 중국 중심으로 발표되고 있으며, 한국은 전체 발표 논문의 2.4% 차지
- 현재 지속적으로 증가 추세인 국내 대기 오존으로 인해 2030년 우리의 삶에 어떻게 영향을 미치는 핵심변화동인과 3가지 미래 시나리오 마련
 - 미래사회 핵심변화 동인은 친환경자동차 기술개발 정도, 인구구조 변화에 따른 오존 문제의 피해 정도 등이며, 핵심불확실성 동인은 글로벌 경제성장(석유화학 및 자동차 산업), 기후변화, 미세먼지 등으로 도출
 - 핵심 공통 및 불확실성동인의 변화방향에 따라 다양한 미래시나리오 작성이 가능하며, 본 연구에서는 총 3개의 시나리오(청정 한국, 현재의 삶 유지, 위험한 일상) 예측
- 2030년 환경 이슈로 부상할 수 있는 대기 오존 문제를 해결하고 청정 한국으로 도약하기 위해 다음의 주요 정책과제를 제시함
 - (대기 오존과 미세먼지의 통합 정책 마련) 미세먼지 중심의 정책에서 탈피해 대기 오존과 미세먼지 동시 저감을 위한 균형있는 대기정책 마련 필요

- ▶ (중국) 대기오존 농도 증가로 인한 오염의 점진적 출현에 대응하여 미세먼지(PM_{2.5})와 오존의 조화된 통제 촉진 필요('20.9)
- ▶ (일본) 한·중·일 3개국은 오존과 PM_{2.5}에 대해 정보를 계속 공유하기로 합의('20.8)

- (과학적 원인규명) 대기 오존의 배출·수송·생성·소멸에 대한 원인규명과 함께 객관적 통계 자료 생산을 위해 VOC 종별 및 시·공간적 배출량 DB 구축 필요
- (대기 오존 계절관리제 도입) 대기 오존 농도가 높은 봄과 여름철을 대상으로 정부와 지자체 공동으로 계절관리제를 시행하여 전구물질의 배출저감 강화 및 국민 건강 보호 필요
- (탄소 기반 자동차 퇴출) 영국, 독일 등 선진국은 기후변화와 대기오염을 가속화시키는 내연기관 자동차의 판매를 금지하기로 함. 우리나라도 조속히 이해관계자들과의 협의를 통해 탄소 기반 자동차 퇴출 정책 마련 필요
- (대기 오존 R&D 투자 확대) 대기 오존에 대한 과학적 이해와 함께 인체·생태 위해성 저감을 위해서는 다양한 연구개발 활동이 필요함. 하지만 국내 오존 R&D 투자가 미흡함에 따라 점진적 확대 필요
- (국민 소통 강화) 대기 오존 문제에 대한 객관적 정보 생산 및 공유 등을 통해 사회 혼란 사전 해소 및 정부 신뢰도 제고 필요

◆ 향후 과제

- 국내 모든 측정소 데이터를 기준으로 다양한 대기 오존 농도 추이 분석 필요
 - 본 연구에서는 지난 11년(2009~2019) 간 대기 오존 농도가 상대적으로 높은 국내 51개 측정소를 대상으로 분석함에 따라 지역별 분석 등 한계 상존
- 대기 오존 농도 변화에 영향을 미치는 변화 동인들의 미래예측을 위해 국내뿐만 아니라 해외 자료분석도 추가 고려 필요
 - 대기 오존은 장거리 이동 특성 때문에 변화 동인들의 글로벌 예측자료가 필요하나 자료 확보의 한계로 국내로 한정

참 고 문 헌

- 관계부처 합동(2020), “2020년 하반기 경제정책방향”.
- 관계부처 합동(2019), “미래자동차 산업 발전 전략”.
- 기상청·환경부(2020), “한국 기후변화 평가보고서 2020”.
- 산업통상자원부(2017), “재생에너지 3020 이행계획(안) 발표”.
- 통계청(2019), “2019년 장래인구특별추계를 반영한 세계와 한국의 인구현황 및 전망”.
- 한국과학기술기획평가원(2011), “다중시나리오 기반 국가과학기술로드맵 작성방법론 개발 및 적용 연구”.
- 한국바이오협회(2019), “석유화학산업의 최근 동향과 전망, 그리고 2030 메가트렌드”.
- 한국환경정책평가연구원(2011), “기후변화와 대기오염으로 인한 건강영향 연구: 사회경제적 변수에 따른 사망영향”.
- 한국환경정책평가연구원(2020), “중국환경브리프 2020-02호”.
- 환경부(2016), “오존, 제대로 알고 대비해요!”.
- 환경부(2019), “제2차 기후변화대응 기본계획”.
- Kim, et al(2019), “Understanding the Global Status of Particulate Matter with Respect to Research Topics and Research Networks”. Sustainability.
- Emberson, et al(2015), “Ozone and Agriculture: A hidden Threat”, Sustainable Agriculture and Air Pollution.
- Emberson, et al(2018), “Ozone effects on crops and consideration in crop models”, European Journal of Agronomy.
- European Environment Agency(2020), The European Environment State and Outlook 2020(2020).

Heagle(1989), “Ozone and crop yield”, Annual Review of Phytopathology.

OECD(2016), “The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution”.

OECD/IEA(2018), “The Future of Petrochemicals”.

Scrapanti, et al(2009), “Corrosion on cultural heritage buildings in Italy: A role for ozone?”, Environmental Pollution.

UNEP(2015), “Emissions to be limited by 2030 but more action needed”.

Wang, et al(2020), “Contrasting trends of PM_{2.5} and surface-ozone concentrations in China from 2013 to 2017”, National Science Review.

www.airkorea.or.kr.

http://it.chosun.com/site/data/html_dir/2020/06/11/2020061102905.html.

<http://kostat.go.kr>.

http://www.climate.go.kr/home/CCS/contents/33_2_areapoint_basic.php.

<http://www.gpkorea.com/news/articleView.html?idxno=61498>.

<http://www.hani.co.kr/arti/society/environment/957215.html>.

http://www.hani.co.kr/popups/image_viewer.hani?img=http%3A%2F%2Fimg.hani.co.kr%2Fimgdb%2Foriginal%2F2019%2F0512%2F00501598_20190512.JPG.

https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2020/05/25/2020052502420.html.

<https://gscaltexmediahub.com/energy/report-petrochemical-present-and-future-201909/>.

<https://www.greenpeace.org/korea/press/5937/presslease-ipcc-report-save-humanity/>.

www.safernd.kr.

붙임1 대기 오존 농도 분석 대상 측정소

구분	지역	측정소 위치	구분	지역	측정소 위치
1	서울	중구	27	울산	대송동
2	서울	성동구	28	울산	성남동
3	서울	종량구	29	울산	무거동
4	서울	동대문구	30	울산	화산리
5	서울	도봉구	31	울산	상남리
6	서울	서대문구	32	대구	수창동
7	서울	송파구	33	대구	지산동
8	경기	신풍동	34	대구	대명동
9	경기	단대동	35	대구	신암동
10	경기	북정동	36	대구	만촌동
11	경기	의정부동	37	충북	사천동
12	경기	의정부1동	38	충북	용담동
13	경기	안양2동	39	충남	성황동
14	경기	교문동	40	충남	백석동
15	경기	금촌동	41	충남	독곶리
16	경기	식사동	42	충남	모종동
17	경기	사우동	43	강원	중앙동
18	경기	신장동	44	강원	옥천동
19	경기	백석읍	45	강원	천곡동
20	경기	보산동	46	충북	호암동
21	강원	중앙로	47	인천	부평
22	부산	태종대	48	인천	검단
23	부산	청룡동	49	인천	계산
24	부산	좌동	50	인천	송해
25	부산	기장읍	51	인천	동춘
26	부산	광안동			

불임2 자문위원 명단

성 함	소 속	직 위
김순태	아주대학교	교수
김홍범	Beyond R&I	부대표
안준영	국립환경과학원	연구관
우수영	서울시립대학교	교수
윤혜진	한국건설기술연구원	수석연구원
이강웅	한국외국어대학교	교수
이영미	(주)에코브레인	대표이사
이재범	국립환경과학원	연구관
임영욱	연세대학교	교수

붙임3 대기 오존의 위해성

오존 농도와 노출시간이 인체 등에 미치는 영향		
농도(ppm)	노출시간	인체 및 실험동물에 미치는 영향
0.02	5분	냄새 감지
0.03~0.3	1시간	달리기 선수의 기록저하
0.05~0.1	30분	불안감을 느낌
0.05~0.2	-	코 및 인후의 자극
0.05~0.6	1시간	천식 환자의 발작 빈도 증가
0.08	3시간	동물(쥐)의 세균 감염, 감수성 증가
0.1	30분	두통, 눈에 자극
	1시간	시각장애, 폐포 내의 산소 확산력 저하
	2시간	폐동맥 산소 분압 증가
	24시간	눈 자극 증상 증가
0.1~0.25	30분	호흡수의 증가
0.2	1시간	동물(쥐)의 적혈구 변형
	6시간	동물(쥐)의 자율 운동 감소
0.2~0.8	-	눈에 자극
0.3	-	호흡기 자극, 가슴압박
	5분	호흡량의 증가
0.34	2시간	동물의 호흡량 증가
0.35	3~6시간	시력감소
0.37~0.75	2시간	호흡량 현저히 감소
0.4	2~4시간	기도 저항 증가, 호흡량 감소
0.5	2시간	폐기능 저하
	6시간	기도 저항의 증가와 폐기능 현저한 감소
	2~6시간	동물(쥐)의 폐세포 팽창
0.6~0.8	2시간	기관지 자극, 폐기능 저하, 폐확산력 현저한 감소
0.8~1.5	-	폐출혈
0.9	5분	기도 저항의 심각한 감소
1.0	6시간	동물(쥐)의 사망률 증가
1.5~2.0	2시간	심한 피로, 가슴통증, 기침
9.0	-	급성 폐부종

※ 오존, 제대로 알고 대비해요(16.12, 환경부)