

# 도시지역의 스마트 환경관리 적용 사례에 대한 고찰

박찬진\*

## A Study on the Application Cases of Smart Environment Management in Urban Area

Park, Chanjin

Abstract : In this study, smart environmental management, which is an essential element for building a sustainable city, was studied. Incheon area in the metropolitan area was selected as a research subject, the recent atmospheric environment was reviewed comprehensively, and the main air quality policies of Incheon city were summarized. The smart environment management application cases were organized and analyzed to summarize the results. Based on this study, smart environment management plans for the creation of a smart city in an urban area were suggested.

키 워 드: 스마트환경, 도시, 관리

Key Words : Smart environment, City, Management

### 1. 서론

스마트 시티는 다양한 정보기술을 이용하여 자료를 수집하고 이를 통하여 지속가능한 도시 운영과 시민의 삶의 질을 개선하는 도시를 의미한다. 쾌적한 도시 조성을 위하여 필수적인 환경 관리를 위하여 필요한 다양한 도시환경관리를 스마트 환경관리 개념을 활용하여 진행하므로써 보다 건강한 예코 폴리스를 조성할 수 있을 것으로 생각된다.

4차 산업혁명에 인공지능과 인터넷을 활용한 빅데이터를 배경으로 하는 과학기술의 발전과 업무환경 및 방식의 변화, 기후 변화 등 사회경제적 변화 요인에 의해 추진될 것으로 예측되고 있다(Song, 2020 and Lee, 2019). 이러한 첨단 기술을 활용하여 대기오염을 효과적으로 관리하는 스마트 통합관리 시스템이 활용되면 향후 도시 대기 환경 관리의 효과도 많이 개선될 것으로 생각된다.

인천광역시의 인구는 2022년 10월 현재 2,962,388명이고 전체 면적은 1063 km<sup>2</sup>이며 행정 구역은 총 8개구와 2개군 그리고 152개 읍면동으로 구성되어 있다. 인천의 주풍은 2019년 기준으로 북북서풍이고 연평균 풍속은 2.9 m/s, 평균 기온 12.5 °C, 강수량은 1134.4 mm 를 기록하고 있다. 그리고 지리적인 여건으로 인하여 일찍 근대사의 여명을 맞이하여 발전하였으며 동북아의

중심 도시로서 세계적인 환경 도시로 발전할 수 있는 여건을 충분히 갖추고 있다(Park, 2019).

그러나 공업 도시의 특성상 다양한 산업단지가 주거지역과 인접하여 위치 하고 있어 쾌적한 도시환경 조성에 큰 장애가 되고 있으며 산업활동은 업종별로 볼때 에 제조업이 큰 비중을 차지하는 특성을 갖고 있다. 한편 바다와 인접한 임해도시로 내륙지역이면서도 해양성 기후의 특성을 나타내고 있다. 한편 에너지 소비량은 지속적으로 증가하는 추세이며 2018년도 기준 1인당 최종에너지 소비량은 4.7천 TOE 를 나타내고 있고 이는 2012년 대비 21 % 증가되고 있는 추세이다.

본 연구에서는 도시지역의 스마트 환경 관리 방안을 제시하기 위하여 인천지역의 대기 환경을 중심으로 현황을 살펴 보고 그 결과를 토대로 스마트 도시 조성에 필요한 관리 방안에 대하여 제시하고자 하였다.

### 2. 도시 대기 특성

최근 수년간 수도권 지역을 포함한 인천지역의 대기환경 변화를 상세하게 분석해 보면 Fig.1 에서 볼 수 있는 것처럼 인천지역이 서울지역보다는 미세먼지농도가 다소 높으나 경기지역 보다는 다소 낮게 나타나고 있고 이산화질소의 경우 서울지역이 높게 나타나고 있으며 인천과 경기지역은 전반적으로 비슷한 추이를 보이고 있

\* 인천대학교 도시과학대학 환경공학 전공 교수  
(cjpark@inu.ac.kr, Tel: 032-835-8746)

다(Park 2019). 한편 오존농도는 인천지역이 상대적으로 다른 지역보다 다소 높게 나타나고 있는데 수도권 지역 대부분이 전년도 보다 증가하고 있는 추세이며 2019년 기준으로 7대 도시에서 서울과 대전을 제외한 나머지 도시보다는 낮게 나타나고 있다

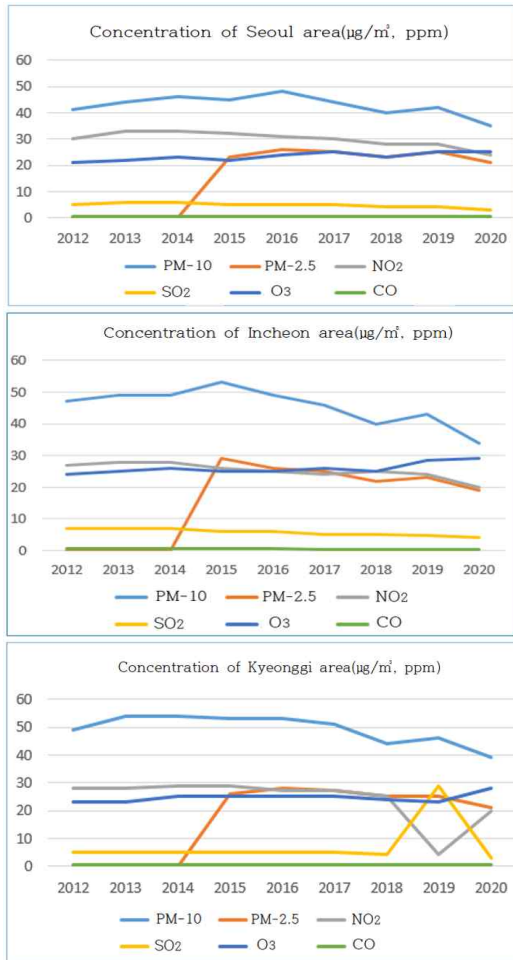


Figure 1. 수도권지역 도시별 대기환경 비교

자료: C.J.Park(2019), "The suggestion and policy of Incheon air quality management", The 2nd blue sky day, IMC

한편 최근 5년간 수도권 지역의 미세먼지와 초미세먼지의 연도별 농도 추이를 살펴보면 미세먼지의 경우 인천지역은 경기 지역 보다는 낮은 농도를 나타내었으나 서울지역과는 유사한 경향을 나타내었다. 초미세먼지는 2016년도를 제외

하고 전반적으로 서울과 경기지역보다 양호한 상태를 나타내고 있어 관리가 상대적으로 잘 이루어지고 있다고 판단된다.

인천지역의 최근 수년간의 대기질 추이를 살펴보면 그림에서 알 수 있듯이 미세먼지는 전반적으로 감소하는 추세이나 오존농도는 점진적으로 증가하고 있다. 이러한 경향은 경기나 서울지역에서도 다소 차이는 있으나 전반적으로 유사하게 나타나고 있다. 이처럼 수도권 지역의 미세먼지가 최근 수년간 전반적으로 감소하는 이유는 주풍인 편서풍의 영향으로 인하여 중국과 몽골 등에서 운반되는 황사의 요인이 존재하나 최근의 COVID-19 로 인한 국내의 산업활동의 감소가 주로 영향을 주는 것으로 판단된다(Choi and Cheong, 2021),

인천의 도시대기 측정소별 미세먼지농도 추이를 나타낸 그림이 Fig.2 인데 미세먼지는 2011년 이후 점차적으로 감소 되다가 2015년도 대기환경기준인  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  를 초과한 이후 점진적으로 개선되고 있고 초미세먼지는 대기환경 기준인  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  을 지속적으로 초과하고 있어 이에 대한 중장기적인 대책이 필요한 상황이다(Park, 2019).

특히 초미세먼지는 2015년부터 2018년도 까지 모든 지점에서 감소추세를 나타낸 이후 2019년도에 다소 증가추세를 나타내었고 모든 지점에서 연평균 환경기준을 초과하였으며 2019년도 기준 가장 높은 지점은 송의지역이  $27\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 낮은 지점은 연희지역으로  $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  였다.

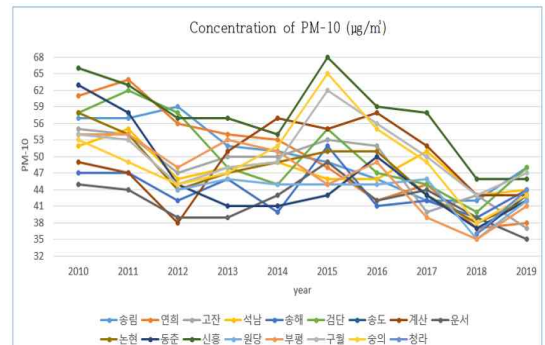


Figure 2. 도시대기측정소별 미세먼지 농도 경향

한편 인천지역에서 우선적으로 관리가 필요한

항목은 오존인데 Fig.3 에 나타내었듯이 도시대기측정소별 추이를 분석한 결과 지난 10년간 대체로 증가하다가 2019년에는 연평균 0.028 ppm 으로 관측 이래 가장 높은 수준을 나타내고 있다. 또한 2018~2019년도에 상승세가 높았는데 이러한 경향은 7대광역시의 전반적인 추세임을 알 수 있었다. 2019년도의 경우 인천지역의 최고농도는 송해면의 0.035 ppm, 연희와 운서 0.033 ppm, 송도 0.031 ppm 을 기록하였다.

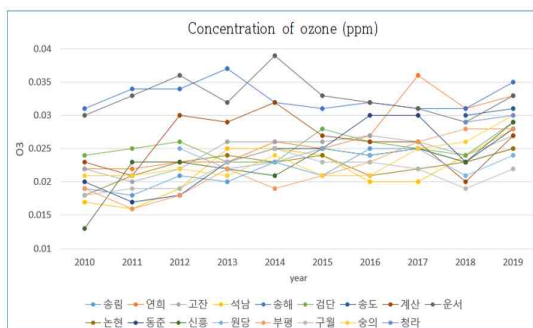


Figure 3. 도시대기측정소별 O<sub>3</sub> 농도 경향

이에 반하여 도시대기측정소별 이산화질소 농도 추이를 분석한 결과 지난 10년간 대체로 감소하고 있고 2019년도 연평균 0.024 ppm 으로 가장 낮은 수치를 보이고 있다. 2019년도 기준 고잔지역에서 가장 높은 0.031 ppm, 신흥과 논현 0.03 ppm, 가장 낮은 곳은 송해지점 0.008 ppm 이었는데 이러한 경향을 Fig.4 에 도시하였다(Park, 2019).

도시 대기의 중요한 측정요소인 인천지역 강우산도를 Fig.5 에 나타내었다. 도시대기측정소별 최근 8년간 강우 산도는 pH 4.8~5.4 범위를 나타냈으며 평균 산도가 4.9 였다가 최근 5.3 으로 개선되고 있는 추세이다. 이러한 현상은 COVID-19로 인한 산업활동 축소 등의 영향인 것으로 판단된다. 2019년도를 기준으로 연희지역 5.1, 송림지역 5.2, 송해지역이 5.3, 원당지점이 5.5 를 나타나고 있다(Park, 2019).

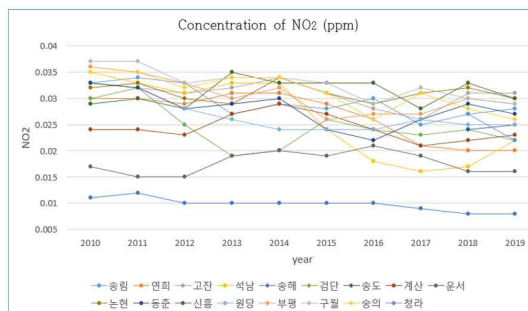


Figure 4. 도시대기측정소별 NO<sub>2</sub> 농도 경향

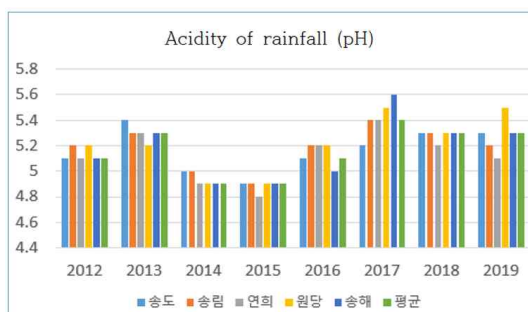


Figure 5. 도시대기측정소별 강우산도의 경향

한편 NO<sub>2</sub> 와 O<sub>2</sub> 의 전국 연평균 농도 분포를 나타낸 그림이 Fig.6 인데 NO<sub>2</sub> 의 경우 수도권 지역을 제외한 지역은 전반적으로 낮은 농도를 나타내었다. 그러나 O<sub>3</sub> 의 경우 전국에서 해안가를 중심으로 0.024~0.036 ppm 범위의 비교적 전반적으로 높은 수치를 나타냄을 알 수 있다 (ME, 2021).

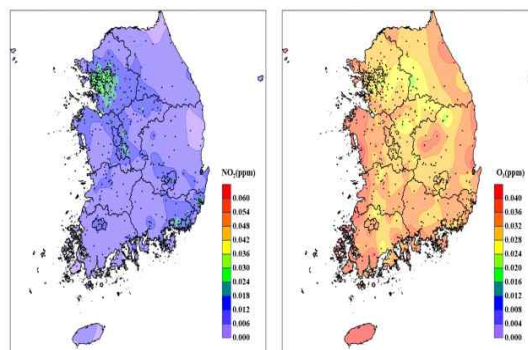


Figure 6. NO<sub>2</sub> 와 O<sub>3</sub> 의 연평균 농도 분포

자료: NIER(2021), Atmospheric Environment Annual Report

그리고 전국의 2021년도 PM10 과 PM2.5 의 농도분포를 나타낸 그림이 Fig. 7 이다(NIER, 2021). 그림에서 알 수 있듯이 PM10 과 PM2.5 모두 수도권 지역에서 상대적으로 높은 농도를 보였으나 PM2.5 의 경우 보다 넓은 지역에서 높은 농도를 보임을 알 수 있었다.

한편 인천의 광화학오염물질 농도는 지난 10년간 전반적으로는 감소 추세이나 2017년도를 기점으로 다시 소폭 증가하는 추세이다. VOC 항목 중 ethane 을 비롯하여 toluene, benzene 등 16개 물질이 검출되었고 방향족화합물 중에서는 각종 유기용제 및 자동차 등 배출원이다.

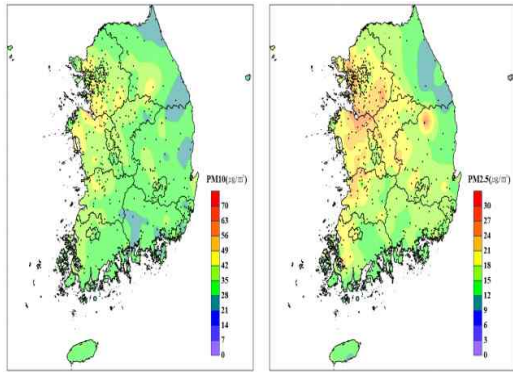


Figure 7. PM10 과 PM2.5 의 연평균 농도 분포  
 자료: NIER(2021), Atmospheric Environment Annual Report

양한 toluene 농도가 가장 높게 분석 되었다. 인천 지역의 대기오염 배출량은 VOC 가 가장 높고 NOx, CO 의 순으로 나타났는데 VOC 는 주로 유기용제 사용, 생산공정 및 폐기물처리에 기인하였고 NOx 와 CO는 비도로 및 도로 이동 오염원과 에너지산업 연소가 원인이었다. 한편 총먼지(TSP)는 2014년도 이후 증가 추세를 나타내고 있는데 총먼지의 주된 요인은 비산먼지 증가, 비도로이동오염원과 에너지산업연소 등으로 평가된다.

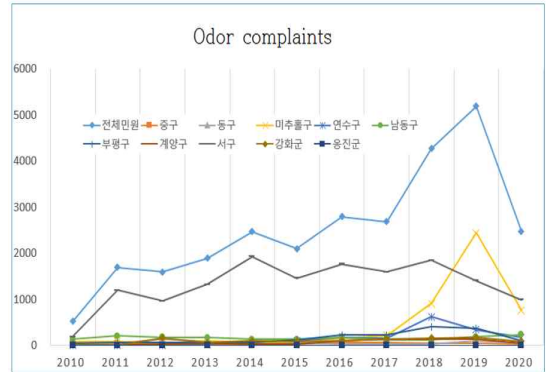


Figure 8. 인천 지역의 악취 민원 추이

쾌적한 도시지역의 지표인 악취 민원은 인천 지역에서 점진적으로 증가하다가 2017~2019년도에 급격히 증가한 후에 다시 낮아지는 추세를 보였는데 이를 Fig.8 에 도시하였다(Park, 2019). 민원 증가의 가장 주된 요인은 미추홀지역, 연수 지역의 악취 민원이 증가하였기 때문이며 이후의 급격한 감소는 COVID-19 로 인한 팬데믹의 영향으로 생각된다. 전체 악취 민원건 수는 2019년 5,192건에서 2020년 2,477건으로 52.3% 감소되었고 생활 악취는 전년도와 비교하여 2019년 746건에서 2020년 666건으로 10.7% 감소되었다.

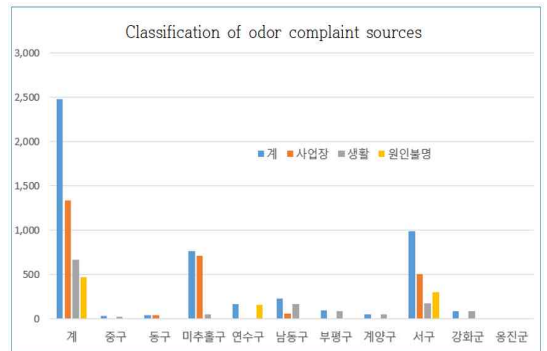


Figure 9. 인천지역의 악취 발생 구분

악취발생원별 민원 수를 나타낸 그림이 Fig.9 인데 가장 많은 분야는 사업장 악취이며 생활 악취가 다음 순위를 나타내고 있다. 2020년도 기준 사업장 발생 민원은 1,340건(54.1%), 생활악취발생 민원은 666건(26.8%)이었으며 원인불명 민원도 471건(19.1%)으로 나타났으며 사업장 악취 > 생활 악취 > 원인불명 순으로 민원이 발

생되었는데 이에 대한 구체적인 분석이 필요하다.

### 3. 주요 도시 대기 관련 정책

인천지역에서 대기환경을 개선하기 위하여 진행 중인 정책을 분석하여 보면 다음과 같다. 주로 과학적이고 체계적인 관리를 통한 시민 보건 안전과 활발한 소통과 참여를 중심으로 시민과의 공감대를 확대하는 전략을 수립하고 있으며 대기 배출사업장 관리와 함께 기업체 지원을 통한 적극적인 대기질 개선 시책을 추진하고 있다. 아울러 쾌적한 도시의 필수적 해결 문제인 악취 민원에 대한 정책도 적극적으로 시행하고 있다.

#### 3.1. 지역 협력 및 대기질 개선 지원사업

주목할 만한 사업으로 인천, 경기, 충남이 공동으로 협력하는 서해안권 초광역 대기질 개선사업이 있는데 주요 내용은 미세먼지 발생 사업장을 공동으로 관리하여 대형사업장 지도 및 점검을 실시하며 항만과 공항 등에 대한 대기질 개선사업으로 선박, 항공기의 체계적인 관리와 함께 취약계층에 대한 건강 영향 조사 등을 실시하고 있다(Park, 2019). 또한 배출사업장 관리와 함께 기업환경 개선 지원을 통한 보다 적극적인 대기 환경 개선사업과 더불어 쾌적한 도시의 필수적인 해결 요소인 악취 문제에 대한 정책도 진행하고 있다.

한편 용진군을 제외한 인천광역시 9개 군·구를 대상으로 가정용 일반 보일러를 저녹스 보일러로 교체하도록 지원하고 공동 사회적 공유가치 창출 사업을 추진하여 시민 생활 지원사업을 진행하고 있다. 또한 친환경 제품을 활용한 사업을 추진하고 미세먼지 저감 사업을 지원하고 있다.

사업장 배출량을 저감 하기 위한 방안으로 오염물질 다량 배출사업장과 협약을 체결하여 대기오염물질 배출량을 자발적으로 감축하도록 하고 있으며 환경오염방지시설 개선 투자 유도, 발

진 및 정유사가 참여하는 협의회 운영을 통하여 대기오염물질 배출량을 2011년 대비 20,748톤에서 10,458톤으로 50% 감축하는 성과를 거두었다.

#### 3.2. 시민 체감 미세먼지 개선 사업

Table 1에 인천지역의 미세먼지와 초미세먼지의 연도별 저감 목표치를 도시하였는데 시민이 공감하는 미세먼지 개선을 위하여 미세먼지 저감 종합대책 수립을 추진하고 있다. 아울러 인천의 대기 환경을 반영한 오염발생원 별로 맞춤형 대기오염 저감 대책을 진행하고 있다.

한편 대기오염 경보제를 시행하여 고농도 미세먼지, 오존 발생시 대기오염 경보 발령을 신속하게 전파 하여 시민 건강 보호에 기여 하도록 추진 하고 있다.

Table 1 미세먼지와 초미세먼지의 연도별 목표치

Pollutants	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2024 (Goal)	2030 (Goal)	Standard
PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	53	49	46	40	43	34	34	30	50
PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	29	26	25	22	23	19	17	15	15

미세먼지의 주요 발생원인 도로 먼지 저감 사업으로 1사 1도로 클린제를 시행하여 도로 재비산먼지 취약지역 관리와 함께 사업장이 참여하도록 하고 있으며 항만 지역과 공사장 주변 도로와 같은 지역을 집중 관리 하고 있다. Table 2에 나타내었듯이 도로 먼지 제거 용역사업을 통하여 도로청소 차량을 활용한 청소 실시로 도로 재비산 먼지를 저감 하도록 하며 취약지역 및 도심 외곽 먼지 고농도 구간의 집중적인 관리를 시행하고 있다(Park, 2019).

Table 2. 지역별 도로 청소 차량 운영 대수

Regions	Jung	Dong	Michul	Yeosu	Namdong	Puhyeong	Geyang	Seo
Regions	3	1	4	3	2	11	6	12
Number of vehicles	1	2	10	6	6	12	7	23

비산먼지 발생사업장의 엄격한 관리를 통하여 비산먼지 발생사업장 억제시설 설치 및 조치 이행 여부의 점검을 시행하고 비산먼지 발생사업 신고 또는 변경 의무 이행 여부도 정기적으로

Table 3. 미세먼지 집중 관리 지역 현황

Classification	Dong gu	Geyang gu
Region(area)	Hwasu Hwapyeong (0.38 km <sup>2</sup> )	Hyosung (0.54 km <sup>2</sup> )
Concentration of Ultra-fine SP	25 (µg/m <sup>3</sup> )	26 (µg/m <sup>3</sup> )
Facility for the Vulnerables	20	35
Facility for Air Pollutant Emission	14	25
Regional Characteristics	Residential facilities adjacent to industrial areas	Residential areas adjacent to industrial and heavy traffic area

확인한다. 한편 Table 3 과 같이 미세먼지 집중 관리구역 지정 운영을 통하여 미세먼지 취약계층 밀집 지역 지정 및 체계적 지원으로 시민 건강 보호에 기여하고 어린이·노인 등 취약계층 이용시설 밀집 지역의 관리구역 지정을 운영하고 있다(Park, 2019).

### 3.3. 사업장 및 자동차 배기가스 관리

지역 대기질 관리를 위하여 대기오염물질 배출사업장 관리는 매우 중요하며 지역 특성을 고려한 대기배출 사업장 관리 및 오염물질 배출시설 설치 허가에 대한 관리 체계를 시행하고 있다.

특히 악취관리와 관련하여 아스콘 제조업종에 대한 환경 관리 강화와 기업의 자율환경 관리체계 구축을 지원하고 환경관리 우수기업 지정 관리 및 자율 점검업소의 지정 운영 및 기업환경

멘토링 운영 및 관리 그리고 환경 관리 기술 진단 및 지원을 실시하고 있다. 기업 환경개선 지원 분야에서는 굴뚝자동 측정기 설치 및 운영관리비를 지원하고 소규모 사업장 방지시설 설치 및 지원을 진행하고 있다(Park, 2019).

운행 차량의 배출가스 관리 강화를 통하여 배출가스 5등급 차량 운행 제한, 공해 차량 운행제한 단속 시스템 추가구축 및 유지관리 그리고 운행 자동차 배출가스 단속 및 사후관리 강화 및 공회전 제한지역 지정을 운영 관리하고 있다.

### 3.4. 체계적인 악취 관리 강화

악취방지법 제4조에 의거하여 악취관리지역이 필요한 지역의 악취 실태를 조사하고 악취관리지역 내외의 악취 영향 여부를 확인하면서 악취 시책에 반영하고 있다. 주기는 반기 1회, 2일 이상 지점당 새벽, 주간, 야간의 3회를 측정하고 관리대상 지역은 악취관리지역 8개 권역, 80개 지점으로 항목은 복합악취, 지정악취물질 22종, 기상정보 및 사업장배출구 악취이다.

또한 중점 관리 사업장의 집중 관리와 순찰 점검 확대와 관련하여 연중 수시로 진행하며 대상은 악취배출신고사업장 중 중점사업장, 민원 발생사업장 등이며 악취방지법에 따라 방지시설 설치 및 정상가동 운영 여부 점검, 위반시 관련법에 따른 행정 조치 실시등을 진행하고 있다.

## 4. 스마트 대기 환경 관리방안 고찰

인천 시민들을 대상으로 스마트시티의 분야별 필요성을 조사한 내용을 살펴보면 Fig.10 에서 알 수 있듯이 인천광역시에 가장 필요한 스마트 도시 서비스는 교통분야 20%, 환경분야 16% 그리고 안전분야 13% 기타 의료복지 및 산업 분야로 조사되었다(IMC,2020).

본 절에서는 환경 분야의 다양한 스마트 환경 개선 사례를 분석하고 향후 인천지역에서 추진해야 할 도시 대기 환경 관리 적용 방안에 대하여 고찰하고자 한다.





Figure 10. 인천에 필요한 스마트 서비스 분야  
 자료: IMC(2020), Incheon Metropolitan City Smart City Plan

4.1.스마트 환경 관리 사례

4.1.1.서구 지역 스마트 환경시스템

인천 서구지역의 미세먼지 발생은 산업부문이 44 %, 건설 사업 부문이 36 %, 도로부문이 20 % 를 점유하고 있다. 이에 따라 먼지 다량배출 사업장에 대하여 IoT 기반의 방지시설 가동 확인 시스템을 운영하고 있으며 건설 부문의 비산 먼지도 IoT 기반의 실시간 미세먼지 모니터링 시스템을 이용하여 관리하고 있다(Moon,2021).

특히 주목할 부분은 악취미세먼지 통합관제센터를 구축하여 실시간 악취측정과 시료채취차량 및 실시간 대기오염물질 측정차량을 운영하고 있다. 또한 악취 자동시료채취장치를 활용한 상시 감시체제를 구축하여 IoT를 활용한 스마트 환경 관리의 좋은 사례가 되고 있는데 이러한 시스템의 구축도를 Fig.11 에 나타내었다.



Figure 11. 악취 미세먼지 통합관제센터 시스템  
 자료: S.W.Moon(2021), Smart dust and odor management policy of Clean seo-gu Michuhol Forum

악취시료를 자동 원격 포집하고 대기 및 악취 확산 모델링 및 고성능 감시 시스템을 통한 방지시설 가동 여부를 모니터링하고 있다. 또한 DB를 구축하여 민원 발생 시에 원인 사업장 파악 및 조치를 시행하며 시간대별 악취 발생 실태조사와 더불어 개선방안을 수립하도록 하고 있다.

그리고 실시간 악취 및 유해대기 측정 차량을 구축 운영하여 지정악취물질 22종 외 1,600 여종과 함께 복합악취와 기상 자료를 수집 분석하고 있다. 또한 악취 및 대기 중점관리 사업장에 대한 원격 점검 모니터링시스템을 운영하여 방지시설의 가동 여부를 실시간으로 확인하고 있다. 이러한 스마트 악취관리 시스템의 운영 성과로 서구지역의 악취 민원이 2018년 대비 70 % 정도 감소 되는 성과를 나타내었다.

4.1.2. 스마트 산업단지 조성 정책

산업단지는 지역 경제를 유도하는 선도적인 역할을 수행하여 왔으나 최근 쾌적한 대기환경 수준을 요구하는 사회적인 분위기에 따라 친환경

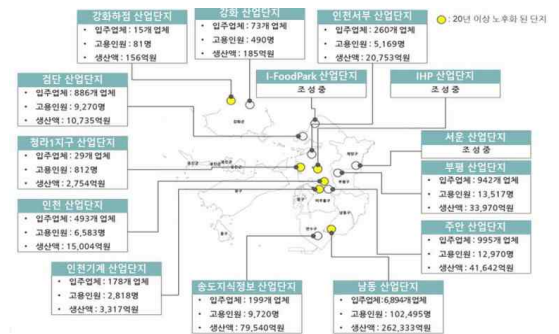


Figure 12. 인천지역의 산업단지 현황  
 자료: IMC(2020), Incheon Metropolitan City Smart City Plan

산업단지에 대한 요구가 증가하고 있다. Fig.12 에 20년 이상 노후화된 산업단지 현황을 나타내었는데(IMC, 2020) 남동산업단지의 경우 기반시설의 노후와, 전통적인 제조업 중심 산업구조의 한계로 지역경제에 대한 과급효과 및 기여도가 저하되는 현상이 나타나고 있다.

이러한 상황에서 최근 활발하게 진행되고 있는 인천 남동산업단지의 스마트화 전략에 대한 계통도를 Fig.13 에 도시하였다(Hyun, 2021). 구체적으로 그 내용을 살펴보면 동일 업종이나 밸류체인 기업들이 스스로 스마트화를 추진하여 생산성을 제고하고 융합 신산업을 육성함과 동시에 산업 융복합을 통한 저탄소 산업생태계를 구현하도록 하여 디지털화, 에너지 고효율화 및 노후인프라 개선을 추진하며 환경친화적인 산업단지를 구축하도록 하고 있다(Hyun, 2021).



Figure 13. 인천남동산업단지의 스마트화 전략  
 자료: W.M.Hyun(2021), Michuhol Forum, INU

또한 스마트제조와 탄소 중립화 촉진으로 뉴딜 목표를 달성하기 위하여 전통적인 굴뚝산업을 첨단 및 신산업으로 변경하고 고탄소 저효율 구조를 저탄소 고효율 중심의 친환경 안전 산업으로 바꾸도록 하며 정주 여건에 열악하여 청년층의 취업 기피 현상이 나타나던 것을 보다 쾌적한 환경으로 전환하도록 한다.

한편 제조혁신센터를 구축하고 이를 활용한 스마트제조를 위한 고급인력 양성 및 재직자 교육을 추진한다. 또한 에너지 자급자족과 함께 저탄소 녹색 산업단지를 위한 스마트 에너지플랫폼을 구축하여 에너지 자립 산업단지를 달성하게 된다. 또한 산업제재, 안전, 교통 등의 공공서비스를 통합 운영하여 신도시 수준의 미래형 산업단지 인프라를 제공한다.

카메라 및 환경센서를 갖춘 다목적 드론을 활

용하여 대기환경과 교통상황을 모니터링하고 산업단지 대기오염물질 시스템과 연계하여 실시간 관리에 확산예측을 지원하는 다수 드론 운용 플랫폼의 UTM 시스템과의 연계/활용하게 된다. 대기질 측정을 위해서 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, O<sub>3</sub> 의 측정 센서가 장착된 모니터링을 운영하도록 한다(Hyun, 2021).

### 4.1.3. 해외의 스마트 환경 관리

일본은 ‘환경 미래도시 구상계획’에 따라 2011년에 요코하마, 큐슈 등 11개 시범도시를 선정하여 환경 및 고령화 문제를 해결하는 도시 모델을 구축하고 있다(SCK,2022). 2012년에는 총무성이 ‘ICT 스마트타운’ 정책을 발표하여 선정된 21개 지역을 스마트타운 실증화 지역으로 선정하였다(SCK,2022). 이후 경제산업성에서는 2011년부터 요코하마, 기타큐슈, 교토를 대상으로 스마트그리드 기반의 ‘스마트 커뮤니티 실증사업’을 전개하는 등(SCK,2022) 활발한 스마트시티화 사업을 통하여 도시환경관리의 효율화를 진행하고 있다.

EU 는 스마트 시티에 대한 혁신적인 지원을 위해 EIP-SCC(European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities)를 출범하였다(Euro Cities, 2022). 그중에서도 네덜란드의 ‘암스테르담 스마트시티(ASC: Amsterdam Smart City)’는 지역주민, 정부, 기업, 스타트업, 연구기관, 재단으로 구성된 오픈 플랫폼으로 2009년부터 공동으로 프로젝트를 운영하면서 EU의 스마트시티를 선도하고 있다(ASC,2022). 특히 실용적 도시경제 모델로의 전환을 위하여 순환경제 및 기후회복 탄력성을 위한 도시경제모델을 제시하여 대기오염, 토양, 해양 간의 균형 성장 개념을 제시하였다.

싱가포르는 2014년에 국가 핵심사업으로 ‘스마트네이션’을 국가 비전으로 제시하고(SCK,2022). 스마트네이션 프로그램 오피스(SNOP)가 총괄하는 민관 파트너십 거버넌스를 구축하여 제한된 토지에서 발생 되는 환경오염과 혼잡도를 감소시키는 성과를 거두었다. 여기



에서 스마트네이션은 “모든 사람은 모든 사물에 언제 어디서나 연결된다(Everyone connected to Everything, Everywhere, All the time; E3A)’ 라는 유비쿼터스 개념을 기반으로 등장하였다(SDF, 2021).

EU에서 개발된 대기오염 스마트제어 시스템(iSCAPE)은 스마트 시티의 개념을 적용하여 저비용센서 사용에 의한 환경 및 대기오염의 대체 솔루션을 제공한다. Passive Control System을 이용하여 도시의 대기질과 기후변화 상태를 모니터링하고 관리함이 목적이고 대기오염 모니터링 플랫폼은 오픈소스 하드웨어와 호환되는 센서보드, 자료 시각화를 위한 Application Programming Interface 및 모바일 앱으로 이루어진다(CTIS, 2022). Fig.14 에 대기오염 제어에 대한 통합관리전략을 수립 하므로써 도시지역 오염과 기후 변화를 저감 하기 위하여 참여하였던 유럽



Figure 14. 유럽의 스마트대기관리 도시 그룹  
 자료: UCDSDL, <https://www.ucd.ie/sdl/research/iscape>

의 도시들을 나타내었다(UCDSDL, 2022). iSCAPE 는 유럽 도시들의 대기질과 탄소 배출에 대한 모니터링 및 통제시스템을 개선하였으며 대기오염 스마트제어 시스템 개발 과제로서 혁신적인 결과를 도출하였다.

4.2. 도시지역의 스마트 환경 관리 방안

4.2.1. 스마트정보기반 환경정책의 추진

도시지역의 다양한 대기 환경정보를 수집하고 자원을 효율적으로 사용하기 위한 모니터링시스템이 점진적으로 구축되고 있는데 대기 관련 센서에서 수집된 정보는 쾌적한 대기 환경 조성 관련 정책의 수립에 중요한 역할을 수행할 수 있다. 나날이 발전하는 웹정보 기술을 토대로 기존의 대기 측정망 보다 다양한 센서를 설치하고 사물인터넷과 연결된 네트워크 구축을 활용하여 측정 공간의 정보 해상도를 제고할 수 있어 보다 정확한 대기 정보를 획득할 수 있다.

이와 같은 스마트 정보기술을 기반으로 획득한 자료를 토대로 현재 진행 중인 정책과 함께 취약한 부분의 오염물질 저감 방안을 수립하여 대기 개선 효과를 높일 수 있도록 한다.

현재의 인천지역 대기질 분석에서 도출하였듯이 무엇보다도 미세먼지와 함께 오존 생성을 낮추기 위한 질소산화물이나 휘발성유기화합물 등의 전구물질 관리가 우선적으로 추진 되어야 할 것으로 생각된다.

최근 시흥시에서 스캐닝 라이더 방식의 미세먼지 측정기술을 적용하여 고해상도의 미세먼지 모니터 자료를 모니터링하는 실증화 사업을 진행하기도 하였다(K.C Kim et al, 2021). 이러한 모니터링 결과를 토대로 미세먼지 발생원을 확인하여 기업의 자발적인 개선사업 추진을 독려하고 권역별 시급한 과제를 중심으로 우선 시행하는 조치가 필요 하다.

한편 비산먼지 및 비도로 오염원에 대한 적극적인 조치를 시행하도록 하며 민원이 집중되는 배출시설 밀집지역에 대한 악취관리 대책을 수립하도록 한다(Kim, 2021). 한편 실질적인 체감 효과 중심의 정책 수립을 활성화하여야 하는데 우선 먼지 및 악취 저감 정책의 개선성과 및 시민 체감 효과를 분석하며 취약 배출 사업장에 대한 기술 및 재정적 지원을 확대 추진하도록 한다.

4.2.2. 리빙랩(Living lab)개념의 대기환경 관리

리빙랩(Living lab)은 미국의 MIT Mitchell 교수가 제시한 개념으로 거주민들의 IT기술 사용패턴 등 행동 정보를 수집하기 위해 ‘Placelab’을 설치한 것에서 유래되었다(Shin, 2018). 리빙랩은 사용자가 단순히 관찰의 대상이 아닌 혁신의 주체가 되며 과학기술의 새로운 패러다임과 사회문제 해결에 활용되고 있는 개념이다.

특히 먼지와 악취오염은 특성상 먼지 및 악취 측정망 관리체제와 함께 지역 문제 해결을 위하여 시민 스스로 문제를 해결하기 위한 방안을 모색하는 시민 주도형 리빙랩을 추진하므로써 시민모니터링 체계를 구축하도록 한다(Shin 2018). 우선 미세먼지 집중관리구역과 악취관리 지역 등 우선 지역 중심 관리를 수행하도록 하며 우선지역을 우선으로 하는 시민 참여 감시를 활성화하도록 한다.

프랑스의 경우 스마트 시티에서 발생하는 환경문제를 해결하기 위해 환경관리 기술 개발 및 서비스에 중점을 두고 리빙랩을 추진하였는데 도시 기반 시설과 사물인터넷을 통해 정보를 수집하고 시민, 기업, 환경전문가 등 사용자에게 제공하였다. 해당 지역의 대기질 관리 솔루션 개발과정에서 사용자의 참여를 높이기 위해 회의 및 브레인스토밍 대신 IoT 기반 장치를 사용자에게 활용하게 하여 정확한 데이터를 구축하고, 설문지 및 개별 인터뷰 등을 통해 개선점을 수립하였다(Shin, 2018.)

서울의 마곡지구 스마트시티의 리빙랩 사업인 냄새 커뮤니티 매핑 리빙랩은 스마트시티의 거주민과 주변 지역의 출근 인력 그리고 지방자치단체의 이해 관계자 등 시민들의 냄새 커뮤니티 매핑 활동이 진행되는 자료와 수집된 주관 및 객관적 자료를 활용하여 통계분석을 시행하였을

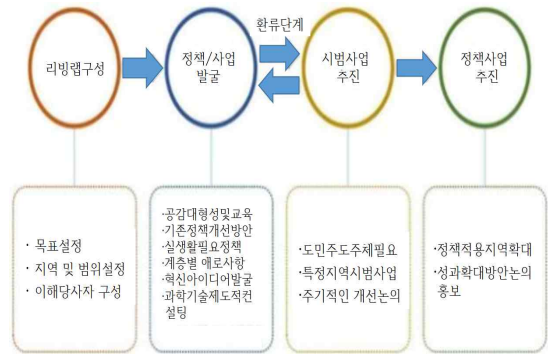


Figure 15. 미세먼지해결을 위한 리빙랩 과정

자료: W.S. Lim et al., Seoul Studies, The Seoul Institute, 2021.

때에 얻는 결과를 통하여 주민참여 및 자료분석을 활용한 악취관리 효과를 예측 분석하였다(lim, 2021). 또한 부지 경계와 수용체 악취 모니터링을 통하여 원인자 확인 후 책임을 부여하도록 하며 고농도 대기오염과 악취 발생에 대비한 비상조치 및 해결방안을 수립하도록 한다.

시시각각 변화하는 대기오염 발생원의 정확한 실태를 파악하는 것이 중요하며 산업단지과 항만, 수도권매립지 등 인천지역 특성에 따른 발생원 업데이트를 실시하도록 한다. Fig.15 는 미세먼지 해결을 위한 리빙랩 과정을 나타낸 그림인데(KRIC, 2022). 발생원 조사와 함께 수용체(Receptor) 중심의 원인 규명에 역점을 두도록 한다. 아울러 대기오염 피해를 유발하는 산업체와 피해 주민간의 소통 방안을 수립하도록 한다.

#### 4.2.3. 포스트 팬데믹의 환경정책 수립

코로나로 인한 경제활동 감축으로 산업, 경제, 관광 등의 모든 활동이 축소되었으며 이에 따라 대기 환경은 개선되어 왔다(Choi, 2021). 그러나 포스트 팬데믹 이후가 되면 경제활동 활성화로 인하여 급격하게 대기오염물질 배출량이 증가할 수 있으므로 대기 환경의 변화를 지속적으로 감시하고 아울러 중국발 대기오염의 영향을 상시 분석할 수 있는 스마트 기술 활용 모니터링 체계를 수립하도록 한다.

또한 스마트 환경관리를 뒷받침하기 위하여 관

런 산업 육성과 자원순환 정책에 의한 폐기물 저감과 함께 노후된 대기오염 및 악취방지시설 개선 및 신규설치 지원을 추진할 필요가 있다고 판단된다. 또한 인천 지역의 스마트 환경 관리 시스템을 서울과 경기지역과 연계시켜 추진하도록 한다.

수도권 특별법과 인천지역 대기 정책 간의 조화를 위한 과학적 접근법을 관련 연구기관 협력으로 수립하고 발전소와 정유시설 및 매립지와 같은 대형사업장의 자발적 환경 관리를 유도하도록 하며 탄소제로 정책에 관련하여 스마트 온실가스 감축의 구체적인 로드맵을 수립한다.

4.2.4. 스마트환경 복지 정책의 추진

스마트 시티는 도시의 경쟁력을 강화하는 개념이므로 대기오염에 따른 시민의 건강상 피해를 스마트웰페어 시티의 개념에서 관리할 수 있을 것인가에 대한 연구가 필요하다(Jang, 2020). 스마트 시티는 본질적으로 인간의 쾌적한 삶과 지결되며 이러한 개념은 미세먼지나 악취 문제로 발생 되는 시민들의 보건학적 위해성과 매우 깊은 관계가 있다고 판단된다.

이에 대한 대책으로 스마트 대기 환경 관리와 동시에 취약계층 관리대책을 추진하는 등 시민 보건 관리 정책의 추진이 필요하다. 아울러 시민 건강상 위해성을 고려한 대기오염 우심지역을 선정하고 집중 관리 방안을 시행하도록 한다. 특히 먼지 관리에 대하여 전술한 바와 같이 먼지 관리지역 운영과 시민건강에 대한 관리 효율화 방안 운영이 중요하다고 생각된다.

미세먼지에 의한 건강상 문제를 해결하기 위하여 ICT를 활용한 센서와 카메라를 장착한 드론으로 사업장 오염물질을 실시간 확인함과 동시에 풍향, 풍속 및 미세먼지 이동 방향을 확인할 수 있다. 현재 국내의 각 지방자치단체가 빅데이터를 기반으로 하는 미세먼지 대응시스템을 개발하고 미세먼지 클린 특화단지나 프리존을 구축하는 등 미세먼지 저감을 위한 다양한 시도를 추진하고 있다.



Figure 16. 스마트환경보건 통합정보시스템

자료: E.H Lee(2019), Transition to smart environment management system in the era of the 4th industrial revolution, GRI

Fig.16 은 환경-건강 통합정보시스템을 활용한 개인별 건강위험도 측정 및 맞춤형 환경보건서비스를 제공하는 스마트 환경보건 통합정보 시스템을 나타낸다(E.W. Lee et al, 2019). 최근에는 도시지역의 대기오염에 의한 시민건강을 웨어러블 헬스 관련 기기를 통한 심박수, 혈압, 호흡을 모니터링과 함께 해당 지역의 대기 오염도와 연결하여 지역별 대기오염의 건강상 피해를 확인할 수 있게 된다. 이 또한 스마트시티의 최신기술을 활용하여 가능하게 되며 대기오염이 생리학에 미치는 영향과 개선방안을 모색할 수 있게 될 것이다.

4.2.5. 지역 맞춤형 교통 관리 대책

스마트 시티의 교통 부분은 첨단 ICT 혁신기술을 활용하여 자동화, 전기화 및 통합화된 교통 체계를 구축하여 이용자와 운영자 및 목표 분석에 기반한 교통서비스 제공 체제라고 할 수 있다(Kim,2018, Kim,2021). 도로교통 혼잡으로 인한 도로상 시간 낭비는 점차 증가하고 있으며 이에 따른 경제적인 피해와 도시 대기오염 문제가 심화 되고 있다. 도시인구 증가와 이에 따른 대기오염 심화 현상을 억제하기 위하여 사물인터넷

을 활용할 수 있는데 IoT 를 장착한 장비를 활용하여 자동차 운행정도를 자료화한 후 중앙 플랫폼으로 전송한 다음 교통혼잡을 제어할 수 있게 된다.

또한 차량에 설치된 GPS 시스템이 주차장의 빈 곳을 찾아 안내하므로써 불필요한 차량주행을 막아 에너지 절감과 배기가스 배출을 억제할 수 있게 된다. 차량 흐름 패턴을 분석하고 교통상황을 기민하게 파악하여 신호등제어를 실시간 동기화할 수도 있어 차량의 신호 대기시간을 감소할 수 있을 것이다(Kim, 2018).

인천지역은 자동차와 선박, 항만 등 기반시설의 대기오염 발생량이 다양하고 많으므로 발생원 특성에 맞는 대책이 필요하며 스마트 시티의 교통체계 진단과 평가방법 개발 그리고 현황조사를 통한 인벤토리와 데이터 기반 관리대책 수립이 요구된다. 이러한 대책을 추진하면서 보다 정확한 교통 부분의 오염물질 배출량 산정과 이를 토대로 하는 관리대책이 수립되어야 할 것으로 생각된다.

4.2.6. 스마트 대기오염방지시설 운용

제4차 산업혁명의 주요 성과인 사물인터넷을 활용한 대기오염물질 측정분석과 이를 발전시킨 스마트 대기오염방지시설 운용을 실용화할 수 있도록 행정적 및 기술적으로 노력 하여야 한다.

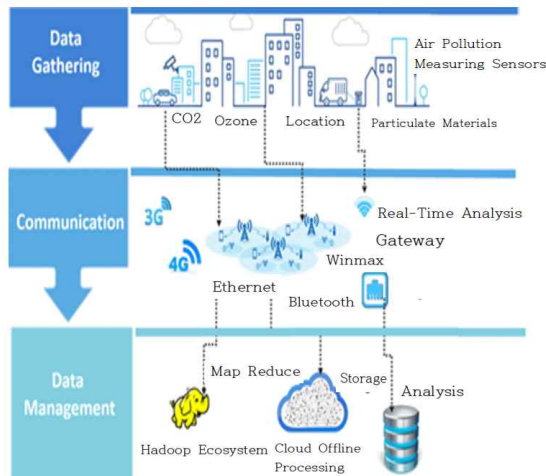


Figure 17. 스마트시티 대기오염모니터 계통도

자료: Saba et al.(2017), Comparative analysis of machine learning techniques for predicting air quality in smart cities, IEEE Access

특히 중소기업이 밀집되어있는 산업단지를 대상으로 오존 발생의 주요인이 되는 휘발성유기화합물과 질소산화물의 배출을 감소하기 위한 스마트제어기술을 개발하고 이를 사물인터넷 기반의 측정모니터링과 연계시키는 통합플랫폼이 필요하다고 판단된다. Fig.17 은 스마트대기오염모니터의 계통도를 나타낸 것이다(Saba et al., 2017).

대기오염 모니터링 시스템은 1단계로 자료수집, 2단계는 송수신 그리고 3단계엔 자료관리로 이루어진다. 1단계에서는 스마트시티 내의 서로 다른 여러개의 장치에서 자료를 수집한 후 필요한 정보를 정리한다. 2단계에서는 IoT에서 전송되는 모든 자료를 실시간 처리(real-time processing)하여 3단계로 보내면 자료저장과 분석이 진행 된다(Saba, 2017).

대기오염방지시설의 경우에는 VOC 저감과 관련하여 자동차 도장시설에서 발생 되는 휘발성유기화합물을 저감 하기 위하여 도장시설에 IoT 센서를 장착하여 전력사용량과 유량 자료, 오염물질 배출량을 실시간 확인하고 방지시설의 가동상태를 원격제어하도록 한다. 이를 통하여 대기오염방지시설의 흡착제나 흡수제 등 소모품의 교체 적정 시기를 확인하여 원활한 오염물질 제거가 가능하게 되어 오존 생성의 전구물질인 휘발성유기화합물의 제거가 가능해진다. 최근에는 인공지능을 활용하여 오염물질 배출의 주요 요인을 분석하고 사물인터넷을 활용한 첨단환경관리 기법에 대한 연구개발이 활발하게 추진되고 있어 스마트 시티 조성에 많은 기여를 할 것으로 생각된다.

5. 결론

스마트 환경 관리는 제4차 산업혁명의 첨단 기술인 인공지능과 빅데이터를 활용하여 도시의 물리적 공간에 대한 환경정보를 사물인터넷 등

의 정보기술과 연계 하므로써 사업장의 환경방  
지시설 운영상황을 실시간 모니터링 할 수 있다.

또한 IT 기술을 활용하여 최적의 운전 조건을  
유지하도록 하므로써 오염물질 배출을 최소화할  
수 있음을 확인하였다. 그리고 다양한 도시환경  
문제를 최적화된 조건으로 해결하는 방안이므로  
인천지역의 보다 효과적인 대기환경 개선 관련  
환경정보를 활용할 수 있을 것이다.

종합적으로 다양한 도시의 특성을 반영한 스  
마트 환경기술을 적용과 환경정책을 수립 추진  
하므로써 시민들이 보다 쉽게 체감할 수 있는  
스마트 시티를 완성할 수 있는 효과를 나타낼  
수 있도록 지속적인 노력을 경주 하여야 할 것  
으로 판단된다.

## REFERENCES

- Amsterdam Smart City, <https://amsterdam-smartcity.com/>
- W.C.Choi, K.S.Cheong(2021), “ Analysis of the Factors Affecting Fine Dust Concentration Before and After COVID-19” , J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol.21, No.6, pp.395-402.
- C.J.Park(2019), “The suggestion and policy of Incheon air quality management” , The 2nd blue sky day, Incheon metropolitan city.
- B.S. Jang(2020), “A Study on the Applicability of Social Security Platform to Smart City “, Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 11. No. 11, pp. 321-335, 2020.
- CTIS, EISHUB, 2022.
- Euro Cities, <https://eurocities.eu/projects/eip-scc>
- E.W.Lee, K.Y.Lee, Y.J.Lee, J.I.Lee, M.Y.Song, D.Y.Song, C.K.Kang, J.K.Go, W.Kim(2019), “Transform into the smart environmental management into the system transform in 4th industrial revolution peroid” , Gyeonggiu Research Institute.
- G.H.Song, A.S.Park(2020), “Future Smart City Vision and Tasks : Responding to Urban Issues” ,Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 35, No.6,
- Incheon Metropolitan City(2020), Smart City Plan of Incheon Metropolitan City
- Incheon Metropolitan City(2022), “Customized smart city promotion plans and cases for provincial cities” , Incheon Smart Cities.
- K.C.Kim, T.R.Lee, D.H.Kim, S.M.Kim,W. J.Lee, J.M.Park(2021), “Study of fine dust using Environmental Data in Smart Cities” , Spring Conference of Korea Academia-Industrial cooperation society
- K.C Lee, T.R. Lee, D.H Kim, S.M. Kim, W. J. K.M.Shin(2018), “Living lab action plan for Gangwon-province” , Climate Change Research Institute of Korea.
- K.C. Lee, T.R. Lee, D.H. Kim, S.M.Kim, W. J.Lee, J.M.Park(2021), Study of fine dust using Environmental Data in Smart Cities, Proceeding of spring academic conference, Korea Academia-Industrial cooperation Society.
- KRIC, Living lab process to solve fine dust, 2022.
- A.Saba, A.S.Munam, K.Abid, S.Houbing, M.Carsten, U.I.Saif, N.A.Muhammad, Comparative analysis of machine learning techniques for predicting air quality in smart cities, IEEE Access, 2017.
- Seoul Digital Foundaries, Foreign Examples of Smart Cities, 2021.
- Smart Cites, <https://smartcity.com>
- Smart Cities Index Repoprt, 2022, <https://smartcitiesindex.org/amsterdamsmartcity>
- Smart City Korea, <https://smartcity.go.kr>
- Smart Seoul Portal, <https://smart.seoul.go.kr>
- T.H.Kim, J.M.Choi, H.Lee, J.H.So, M.J.Kim(2018), “ A Study on the Implementation Strategies of Smart City Mobility” , The

Korea Transport Institute.

UCD Spatial Dynamics Lab, iSCAPE, 2022,

<https://www.ucd.ie/sdl/research/iscape>

W.C.Choi, K.S.Cheong, “ Analysis of the Factors Affecting Fine Dust Concentration Before and After COVID-19” , J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol.21, No.6, pp.395~402.

W.M.Hyun(2021), Michuhol Forum, INU

W.S.Im, K.T.Kim, S.Cho(2021), “A Study of the Possibilities and Limitations of the Odor Management Using Community Mapping” , Seoul Studies, The Seoul Institute.