

Global Report

스마트 시티로의 전환과 나노기술의 역할

1. 개요
2. 소개
3. 나노기술 개관
4. 스마트 시티의 개념
5. 스마트 시티에 쓰일 수 있는 나노기술
6. 결론

1. 개요

도시화의 급격한 증가는 그로 인해 해결해야 할 문제점들도 많이 결부되어 있다는 것이 불가피한 현실이며, 이와 같은 상황이 우리에게 스마트 시티를 개발하는 개념으로 이끌었다고 생각한다. 이 스마트 시티 개발 개념은 전반적인 삶의 질 뿐 만 아니라 끊임없이 진화하는 도시 인프라에 그 기초를 두고 있다. 이러한 스마트 시티 달성 목표는 어떤 혁신적인 기술을 주도적으로 적용하여 스마트 시티를 개발하지 않는 한 달성되기 어렵다. 그 목표를 달성하기 위해서 나노과학과 나노기술을 사용하는 것은 분명히 당연한 선택이 될 것이다. 이 보고서를 통해 저자는 인프라 강화와 삶의 질 향상과 더불어 스마트 시티를 개발함에 있어서 나노기술의 역할에 대한 검토를 시도하고자 하였다. 혁신적인 나노기술이 스마트 시티에 대한 도시의 지속가능성을 추구하거나 그 역할을 보여준 사례들을 소개하였으며, 이를 바탕으로 미래 도시를 위한 나노기술 분야의 과학연구 및 기술적용의 적극적인 참여요구를 강조하였다.

2. 소개

삶의 질을 점진적이고 지속적으로 향상시키려는 노력이 인류의 전반적인 발전을 주도해왔지만, 그러한 노력으로 인해 지구 전체에 도시 경관의 지속적인 확장과 급속한 성장을 초래하였다. 특히 우리 인도와 같은 개발도상국의 경우 전례가 없는 도시성장의 가속화를 겪고 있다. 이러한 변화는 인프라가 잘 유지되고 이로 인해 많은 기회가 창출되게 하여, 도시적 라이프스타일에 대한 열망과 진화로 이어졌다. 반면에 급격한 도시화의 증가는 많은 어려움을 불러왔으며, 이들은 점진적인 성장 모멘텀을 유지하기 위해서는 우선적으로 해결해야만 하는 필요가 생겼다. 이러한 문제점들 중에는 첫째, 가용면적 대비 과도한 인구 증가 문제, 둘째, 유한한 자원에 대한 효율적인 관리 문제, 셋째, 폐기물(하수, 고형폐기물, 가스) 관리와 같은 도시생활의 후미진 곳들의 문제점, 해결 넷째, 개발로 훼손되지 않게 하면서 도시경관의 환경을 보전하는 문제, 다섯째, 교통 및 통신 문제점 등에 대한 관리 등이 있다. 초기에는 급속히 확장되는 도시화의 장점을 택하느냐 아니면 고전적인 시골 또는 반도시 모델(semi-urban model)로의 회귀를 택하느냐에 대한 논쟁이 미래 전략을 위한 지침요소(guiding factor)였을 가능성이 크다. 그러나 현재 시나리오인 전 세계의 우수한 선진국 사례와 전례가 없는 기술적 지식과 혁신의 확장이 발전 방향의 지침이 되고 동시에 이러한 방향으로 관리되는 듯하다. 이러한 요인들의 융합은 보다 스마트한 방식, 즉 스마트 시티 개념의 발전으로 인식되어져 왔다. 이제는 성장하는 도시화의 장단점 논란에 머무르기 보다는 이러한 도전에 정면으로 대처하는데 중점을 두고 있다. 이러한 전략의 변화는 과학기술의 급속한 발전으로 실현된 혁신/혁신적인 방법론의 주요 부분을 차지한다. 나노기술도 의심할 여지없이 큰 비중을 차지하고 있다. 나노기술은 과학과 공학사이에 중요한 인터페이스로 등장하였으며 필연적으로 우리의 삶의 방식을 변화시키는 몇 가지 새로운 시대 기술의 중심에 서있게 되었다. 나노기술은 우리들의 문제점에 대한 스마트한 해결책을 제공하고, 새롭고 흥미로운 제품/전망을 제공하는 선두 주자들 중 하나임이 틀림없다. 스마트 태양전지판, 지능형 도로, 에너지 효율적인 조명, 보다 빠른 통신방법, 효율적인 공급망 등은 나노기술이 업무의 중심에 있었던 일부의 것들이다. 나노기술의 몇 가지 적용 사례들은 이미 스마트 시티 개발의 핵심목표에 기여하고 있으며, 주목할 만한 부가가치를 제공하는 곳이 많다. 이 보고서에서 그와 같은 것들 중 일부를 요약하며 향후 준비된 스마트 시티에서 주목할 만한 역할을 할 수 있는 잠재력 몇 가지를 제시한다.

3. 나노기술 개관

한정적인 표현을 사용하여 나노기술의 광대하고 끊임없이 확장되는 영역을 요약하는 것은 어려운 일이지만, 기본적으로 나노기술이란 나노스케일($1\text{ nm} = 1 \times 10^{-9}\text{m}$)의 물리적 크기의 물질을 기반으로 한 진화된 기술로 정의될 수 있다. 본질적으로 어떤 물질이 나노 스케일로 개발/준비가 된다면 그 물질에 의해 나타나는 특성들은 벌크형태(수백 나노미터에서 수 마이크로 미터에 이르는 크기)에 비해 분명히 다르다. 나노 스케일 규모에서의 뚜렷한 물질적 거동은 놀라운 기술 개발의 핵심이다. 나노 스케일 물질의 제조에는 상향식 접근법과 하향식 접근법, 이 두 가지 접근법이 사용된다. 상향식 접근법은 원자/분자의 응집을 기반으로 나노구조화 되는 것을 말하고, 하향식 접근법은 분열에 의해 벌크 재료가 나노구조로 전환되는 것을 기반으로 한 것이다. 지속적으로 진화하는 나노 구조재료 제조 방법들로 인하여 독특한 혁신이 이루어질 것이며 그에 따라 더 많은 기술들이 생겨날 것이다. 나노기술의 여러 가지 응용분야들은 스마트 시티 개발에 이미 기여하고 있으며, 보다 많은 주목할 만한 부가가치를 가진 나노기술의 응용분야 개발완료가 목전에 있다.

4. 스마트 시티의 개념

스마트 시티의 개념은 기술적으로 지능형이고 동기화된 접근방식으로 가용자원을 효율적으로 활용하는데 그 기반을 두고 있다. 구상된 목표는 통합되고 살기 좋으며 지속가능한 도시로 성장하는 것이다. 스마트 시티는 그와 관련된 환경문제를 해결해야만 한다. 도시가 차지하는 면적은 지구 전체의 단지 2%에 불과하지만, 지구 전체 에너지 소비의 60~80% 그리고 이산화탄소 배출의 약 75%를 차지한다. 치솟는 에너지 비용 문제 뿐 만 아니라 교통, 오염, 생활 및 산업용 폐기물이 증가하는 문제는 도시개발을 지속하기 위해 충족될 필요가 있는 일부 상호 연관된 문제들이다. 이 시나리오에서 나노기술은 이러한 문제점들에 대한 해답 제시의 선두에 있는 기술임에 틀림없으며, 에너지, 환경과학, 의료, 안전 및 보안, 식품, 교통, 정보기술 등과 같은 기술 및 산업 분야의 근대화에 도움이 되고 있다. 다음 장에서는 미래 스마트 시티의 문제점을 해결하기 위한 나노기술의 이점과 적용분야에 대한 개요를 제시한다.

5. 스마트 시티에 쓰일 수 있는 나노기술

5.1 스마트 에너지

1인당 에너지 소비량은 특정 지역의 개발과 직접적으로 관련된 것으로 전 세계적으로 받아들여지고 있는 매개변수이다. 따라서 의심할 여지없이 세계의 에너지 수요는 지속적으로 증가하고 있으며 다음과 같은 스마트 기술의 융합(mix)을 포괄하는 피할 수 없는 에너지 철학을 이끌어냈다.

- 효율적인 에너지 소비
- 청정하고, 경제적이며, 지속가능하고 재생 가능한 에너지 자원 그리고
- 화석연료 기반의 에너지원

이러한 스마트 기술의 융합은 온실가스에서 환경 불균형에 대한 기여도의 순 감소로 환경을 보존할 뿐만 아니라 에너지 활용의 전반적인 증가로 이어질 수 있다. 나노기술이 스마트 에너지 개념에 필수적이었던 소수의 사례들은 다음과 같다.

- 스마트 태양 전지판(Smart solar panels) : 나노기술은 이미 햇빛을 전기로 전환시키는 태양 전지판

개발에 엄청난 발전의 조짐을 보여주고 있다. 이 전지판들은 기존 디자인 보다 훨씬 뛰어나다. 이와 같은 발전의 주요 결과들 중 하나는, 효율성과 작동 수명을 향상시켜 태양광 전지판의 비용을 체계적으로 줄이는 것이었다. 스크린 인쇄 또는 관련 공정을 기반으로 한 나노구조의 태양 전지는 유연성을 갖도록 제작될 수 있으며 불연속형 패널(discrete panels)에 비해 설치가 용이하다. 이러한 상황에서 유기 전자공학(organic electronics)을 기반으로 한 나노 구조 태양 전지의 급속한 진화는 최근의 획기적인 발전으로 보인다. 미래의 태양광 컨버터는 페인트칠이 가능하고 에너지 요건의 증가에 따른 스마트 솔루션을 제공할 수도 있다는 연구결과도 제시되고 있다.

- 석유 : 오일 기반의 연료 사용이 앞으로 최소 이삼십년 정도 지배할 것이지만, 나노기술은 저급 원유에서 연료 생산효율을 개선하기 위해 더 나은 촉매작용을 제공함으로써 이 부분에 이미 기여해오고 있다.

5.2 스마트 환경

스마트 시티의 자격을 갖추었다고 보는 지표 중 하나는 건강한 환경을 지탱할 수 있느냐 이다. 나노기술은 이것을 보장하는 것과 분명한 관련성을 가지고 있다. 나노기술이 기여할 수 있는 주요 영역들 중 하나는 환경 요인들(공기질, 수질, 토양의 질 등)에 대한 빠르고 실질적인 모니터링을 하는 것이다. 나노기술은 오염물질 수준을 평가할 수 있는 온라인 공기/물 모니터링에 사용될 수 있는 첨단 센서/검출기를 제공한다. 이러한 탐지기는 또한 안전하고 지속가능한 환경을 위해 스마트 반응 능력을 실시간으로 제공할 수 있는 다양한 요인들에 대한 동기화 측정(synchronized measurement)을 가능하게도 한다. 더 나아가 수동모드에서 작동하는 것으로 환경오염이 완화될 수 있도록 스마트 촉매 변환기(smart catalytic convertors)가 개발될 필요가 있다.

1) 음용수 : 나노기술은 이미 도시/농촌 지역에서 저렴하고, 깨끗한 식수를 제공하는데 중요한 역할을 해왔다. 나노기술은 정수(water purification)뿐만 아니라 불순물 검출의 첨병으로서 그 역할을 수행하고 있다. 나노기술의 광범위한 확산과 비용 효율성을 위해 이러한 기술들이 보다 단순화할 수 있는 미래 기술개발이 요구된다. 그러한 사례 중 하나는 물에서 비소 또는 사염화탄소를 제거하는데 도움이 될 수 있는 매우 작은 녹 얼룩 사이의 자기적 상호작용의 발견이다. 나노 구조의 필터는 물에서 바이러스를 제거하기 위해 개발되고 있기도 하다. 담수화의 탈이온화 경로를 위한 나노크기의 섬유전극의 적용도 모든 사람들에게 식수를 확보하는 나노기술의 역할의 한 가지 사례이다. 인도 여러 지역에서 수질을 개선할 수 있는 우수한 솔루션을 제공하는 몇 가지 멤브레인 기반의 기술들이 이미 나와 있다.

2) 공업용수 : 공업용 수질의 관리는 천연수/인공수역의 오염을 제어하는데 필요한 것일 뿐만 아니라 모든 공업용수 요건에 자급자족할 수 있는 속성을 제공하는데 매우 중요하다. 공업용 수질의 관리는 도시 지역의 가정용수원의 소비도 줄여준다. 예를 들어 특정 기술을 사용하여 어떤 산업용수의 효율적인 물 관리를 통해 인입수의 수질을 되돌려 공급할 수 있다면, 해당 산업계는 워터프리 태그(water-free tag)를 획득하여 환경 친화적이 될 것이다. 나노 입자가 공업용수 오염물질을 제거하고 상대적으로 저렴한 비용으로 비교적 무해하게 공업용수를 만들 수 있는 곳에 몇 가지 기술들이 개발되어지고 있다. 이 기술들은 희석/수처리/산업공정에나 사용될 물을 재활용이 가능하게 할 뿐만 아니라 지하수위 감소를 최소화한다.

3) 에어필터(Air Filters) : 항공기에 사용되는 특수 에어필터는 나노기술을 기반으로 한 것이다. 이 필터는 미립자 물질의 여과를 위해 나노 스케일의 기공을 가진 섬유물질을 이용하는 것으로 “기계적 여과”를 가능하게 한다. 이러한 필터에 탄소/목탄 기반의 물질을 첨가하면 원치 않는 냄새를 제거하여 품질을 더욱 향상시킬 수 있다. 이 분야가 더욱 발전한다면 기상여건의 변화나 화재와 같은 사고 발생으로 연기/

스모그의 경우 도시지역에 사용될 수 있는 비용효율적인 가정용 공기 청정기가 나오게 될 것이다.

5.3 스마트 헬스 케어

첨단 의료과학 분야에서 나노기술의 기여도가 증가하면서 질병관리의 진단적 측면뿐 만 아니라 치료적 측면에서도 무수히 많은 새로운 기회가 창출되었다. 세포이하 수준(sub cellular level)에서 인간의 몸체와 나노물질의 완전히 독특한 상호작용은 의학 및 생리학 분야에서 나노기술 응용의 기초가 되어왔다.

의료 진단(Medical Diagnosis) : 나노소재의 도움으로 의료 진단용 생체 이미징기술(Biological imaging)은 나노기술의 훌륭한 응용분야이다. 나노결정(Nanocrystals)은 광범위한 전자기 스펙트럼을 포괄하는 독특한 광학적 방출 특성을 가지고 있다. 나노결정의 이러한 특성은 특정 세포/ 생물학적 활동을 찾아내고 식별하는데 사용된다. 이 나노결정들은 많은 생물학적 검사에 사용되는 기존의 MRI 등과 같은 의료용 염료 보다 1천배 이상의 광학적 검출이 가능하게 하여 훨씬 더 많은 정보를 제공한다.

그 밖에 알츠하이머 진단, 생체 이상진단 센서(Biosensor) 및 암치료제 등에 활용이 가능하다.

5.4 스마트 교통(Smart Transportation)

나노기술은 보다 가볍고, 더 스마트하며, 보다 효율적이고 보다 친환경적인 자동차, 비행기 및 선박을 가능하게 함으로써 도시교통 인프라를 개선하기 위한 몇 가지 혁신적인 수단들을 제공할 수 있다. 토건 기술 분야의 첨단 나노기술은 급속한 교통량 증가에 견딜 수 있는 보다 우수한 도로건설에도 도움이 될 수 있다.

1) 스테인리스 강재, 콘크리트, 포장용 아스팔트, 시멘트 및 기타 건설재를 포함한 핵심 엔지니어링 자재에 대한 나노기술은 비용을 절감하면서도 고속도로 및 운송 인프라 구성요소에 대한 성능, 유통성 및 긴 수명을 향상시킬 수 있는 가능성을 제공한다. 이에 대한 간단한 한 가지 사례로 산화물 분산형 스테인리스 강(oxide dispersed stainless steel - ODS)이 있는데, 금속 산화물 강철 매트릭스에 균일하게 분산된 산화물 나노입자가 기계적 열적 특성을 향상시킨다. 또 하나의 예로 횡단보도교(foot over bridges), 고가 횡단도로(flyovers) 등의 기초부재로 사용될 수 있는 스마트 합금의 개발인데, 이 스마트 합금은 초고강도 및 우수한 피로응력 안정성(cyclic stability)을 가지고 있다.

2) 나노 스케일 센서 및 장치들은 비용 효과적인 방식에 의해 실시간으로 교량, 터널, 철도, 주차구조물 및 포장도로의 성능과 상태에 대한 구조적 모니터링 정보를 제공할 수 있다.

3) 나노 스케일 센서 및 장치들은 또한 운전자에게 차선을 유지하고 충돌을 방지하며, 이동경로에 혼잡을 피할 수 있도록 하는데 도움을 줄 수 있는 차량 및 교통 시스템과 통신을 통해 교통 인프라를 유지하는데 중요한 역할도 할 수 있다.

5.5 스마트 인프라

나노기술 개발은 토건기술 분야 및 첨단 건설재 개발에도 포함된다. 지금까지 나노기술 개발은 초소형 전자공학(microelectronics), 의학 및 재료과학과 같은 분야에 대부분 집중되어왔지만 건설기술 분야에서 나노기술의 응용 가능성이 체계적으로 증가하고 있다.

- 1) 콘크리트 : 나노복합 재료를 시멘트에 첨가하면 그 성능과 압축강도가 향상될 가능성이 있는 것으로 나타났다.
- 2) 구조용 복합재료 : 강재는 강도와 내부식성과 같은 독특한 특성을 갖는 주요 건설재이다. 기존의 강재에 나노 도펀트 물질(nano-dopants)을 첨가하면 그 작업 상황/응력변형 여건 하에서 물리화학적 반응을 개선하여 현저한 특성개량을 유도할 수 있다. 한 가지 예로 첨단 내식성과 보수능력을 가진 구리 나노입자 도핑강재 개발이 그것이다.
- 3) 코팅 : 인프라 개발문제를 해결하기 위해 나노입자 또는 나노층을 포함하는 여러 가지 코팅재들이 개발되었다. 이 코팅재들은 코팅된 기재에 우수한 살균 또는 오염방지 기능을 부여하여 수명을 연장시키는 역할을 한다. 이러한 종류의 한 가지 사례로는 유약 코팅에 사용되고 있는 TiO_2 나노 결정물질이 있다.

5.6 스마트 일상 제품

스포츠용품이나 자동차 부품등의 폴리머, 섬유, 유리제품, 화장품, 식품 첨가물, 가정용 제품, 세라믹, 화학 촉매제 및 디스플레이 제품 등에 적용되고 있다.

6. 결론

이 보고서에서는 미래의 기술이 맞춤형 특성을 지닌 새로운 엔지니어링 소재를 만드는데 사용될 것이므로 나노기술을 기반으로 한 스마트 솔루션을 요약하여 제시하고 있다. 광학, 전자, 전력 및 메모리 저장공간 분야의 다양한 제품들은 보다 작은 공간에 더 많은 능력이 생성될 것이므로, 더 작아지고 개선되며, 더 저렴해지게 될 것이다. 나노기술은 물리학, 화학, 생물공학, 의학 및 공학과 같은 다양한 과학 분야의 플랫폼으로 간주될 수 있으며, 새로운 재료들이 그 플랫폼 상에서 개발되었거나 참신하고 독특한 특성을 가진 재료가 이미 이용 가능할 수도 있다. 이러한 스마트 기술의 사용이 도시계획과 결합되는 경우 도시를 스마트 시티로 변모시키는 과정을 가속화할 수 있을 것이다. 나노기술은 늘어나는 인구와 수요 증가에 따른 니즈의 증가에 대처할 수 있는 효율적인 도구로 현대적인 도시 시스템에 힘을 실어 줄 것이다.