

<b>테마명</b>	<b>도시형 이산화탄소 포집 및 활용기술</b>
<b>관련기술 (파생기술)</b>	도시 인프라 적용 가능 탄소흡수 및 저장용 신소재, 분산형 에너지원 적용 이동식 CCS 기술, 직접 공기 포집 기술(Direct air capture, DAC), 저농도 CO <sub>2</sub> 원료 전환 기술(Reactive carbon capture, RCC)
<b>미래사회상</b>	도시 인프라를 활용한 CO <sub>2</sub> 흡수 및 고부가 유용물질로의 전환을 통해 'Carbon-negative City' 실현

<b>1</b>	<b>테마 정의</b>	<p>□ <b>테마 개념</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전 세계적으로 도시화가 급격하게 진행되면서 도시는 주거, 상업, 생산 활동 등 통해 다량의 탄소를 배출하는 주요 배출원으로 인식되고 있음</li> <li>- 2050년 탄소중립 목표를 달성하기 위해, 이미 배출한 탄소를 흡수하거나 공기 중의 CO<sub>2</sub>를 인공적으로 흡수·저장·활용하는 신개념 탄소 네거티브 도시(Carbon-negative City)에 대한 관심이 높아짐</li> <li>- 본 테마는 건물, 도로 등 도시 핵심 인프라를 활용한 CO<sub>2</sub> 흡수·저장 기술 및 도시 내 분산형 에너지 기반시설에서 배출되는 CO<sub>2</sub>를 직접 흡수·전환하는 기술 개발을 통해 도시 전체가 탄소 저감을 위한 거대한 CCUS 시설로서 '탄소 포식형(Carbon Eaters) 도시'로 전환되는 개념임</li> </ul> <p>□ <b>제안 범위</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ <b>(건물 CCS)</b> 건물의 내구성과 안정성을 확보하고 대기 중 CO<sub>2</sub>를 자연스럽게 흡착하여 고정화시킬 수 있는 콘크리트(또는 콘크리트 2차 제품 (Pre-cast)* 포함) 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>* 생콘크리트(보통 레미콘)를 사용하여 기술적인 가공 처리 후 경화시켜 만들어진 콘크리트 제품으로 벽돌, 블록, 경계석 등을 의미</li> </ul> </li> <li>▶ <b>(도로 CCS)</b> 고성능 CO<sub>2</sub> 흡수가 가능한 아스팔트 대체 소재 및 도로 포장용 인공골재, DAC(Direct Air Capture) 기술을 활용한 CO<sub>2</sub> 흡수 도로 시설물 등 개발</li> <li>▶ <b>(에너지 기반시설 CCUS)</b> 주거, 상업, 생산 및 수송 분야에서 전기, 열, 가스 등의 에너지원을 개별적으로 소비하는 과정에서 배출되는 저농도 CO<sub>2</sub>를 직접 포집/전환하여 잠재적 시장가치가 있는 제품(예: 에탄올, 메탄올의 알코올류)으로 활용(Reactive Carbon Capture, RCC)하거나, 분산형 에너지원에 활용할 수 있는 중소형 또는 이동형 CCUS 기술 개발</li> </ul>
----------	--------------	--

<b>2</b>	<b>도전성 혁신성</b>	<p>□ <b>국내외 연구동향</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 미국의 UCLA 카본빌트사는 발전소 배출 이산화탄소를 흡수해 이를 콘크리트 재료로 활용하는 신개념 건물적용 CCS 기술을 개발하여 국제 공모전(XPRIZE)에서 우승을 하였으며, 국내의 경우 한국건설기술연구원을 중심으로 시멘트를 최소로 이용한 저시멘트(또는 무시멘트) 콘크리트를 개발 중</li> <li>- 미국의 경우 미국 물리학회 주관으로 능동적인 CO<sub>2</sub> 포집기술인 DAC 기술을 활용한 도로 CO<sub>2</sub> 포집 기술개발을 진행, 국내에서는 한국건설기술연구원에서 2013~2015년 '탄소중립형 도로 기술개발' 사업을 수행하여 중온 도로 재료 개발 추진</li> <li>- 고농도 탄소 배출원인 에너지 기업들은 이동식(아람코) 또는 중소형(미쓰비시, 한국난방공사) 등 새로운 개념의 CCS 기술을 시도 중이며, 미국 MIT, 스위스 클라임웍스(Climeworks) 등 글로벌 스타트업 기업은 혁신적 직접 CO<sub>2</sub> 제거 기술 파일럿 규모 실증 중</li> <li>- 미국 NREL을 중심으로 포집된 CO<sub>2</sub>를 직접 유용자원으로 전환하는 RCC 기술을 개발 중이며, CCU 기술 효율화에 크게 기여할 것으로 기대. 특히 저농도 공기 중 CO<sub>2</sub>의 포집/활용 기술은 가장 혁신적인 CCU 기술로 기대</li> <li>- 미국, 캐나다 등에서 연소배가스 대규모 포집 실증을 추진 중이며, EU, 중국, 미국 등에서는 매체 순환연소, 순산소 연소 등의 연소 중원천분리 기술 실증 연구 추진 중. 국내는 연소배가스 대상 습식, 건식, 분리막 기술 중규모 실증을 완료하는 단계이며 경제성 확보의 어려움을 극복 필요</li> </ul> <p>□ <b>현재 기술적 한계점</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시멘트 대체 원료로 콘크리트를 만드는 과정에서 낮은 반응 수율의 기술적 한계 존재, 실제 건축 시공단계에서 철근과의 결합 등 안정성 및 내구성의 문제를 해결하기 위해 철근을 대체하면서 CO<sub>2</sub> 포집효과를 거둘 수 있는 기술혁신 필요</li> <li>- 기존의 아스팔트 기능을 개선하고 탄소포집 기능을 결합한 도로 포장재를 개발하기 위한 기초연구가 진행한 이력이 있으나, CO<sub>2</sub> 흡수용량이 큰 신재료 개발과 규모화 실증 필요</li> <li>- 도시에서 소비되는 에너지 중 신재생에너지로 대체하기 어려운 열과 가스 부문의 탄소배출을 해결할 수 있는 기술 필요. 지금까지의 CCUS 기술은 소규모/저농도 배출원 적용 시 효율이 낮고 경제성이 부족하여 대규모 저장과 연계하여 대형 배출원 적용 시스템 위주로 개발되었음. 분산된 에너지 생산(탄소 배출)원으로 구성된 도시에는 적합하지 않아 미래 탄소중립형 도시 적용을 위한 새로운 기술 접근 요구</li> </ul>
----------	----------------	--

3	산업적 파급력	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CO2 화학전환, 생물전환 분야는 대부분의 기술이 학계·연구계 중심의 기초·원천 연구단계로 일부 기술이 파일럿 실증 연구 중이나 아직 상용화 사례는 부재함. 미래 기술 수요 증가가 예상되는 한계 돌파형 원천 기술 연구가 미흡하며 극저농도 CO2 포집, 고농도 CO2 배출로 포집이 불필요한 연소 중 원천분리 기술, 소규모 독립형 시설을 위한 분산형/이동형 CO2 처리 기술 등 혁신기술 개발 필요</li> <li>- CO2 활용 기술은 대부분 산업 분야에서 대규모 화학원료 제조 기술을 목표로 개발되어 왔으나, 분산형 장치를 기반으로 한 도심 유통/소비 친화형 화학제품 생산 기술이 새롭게 요구됨</li> </ul> <p><b>□ 동 테마의 혁신성</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대규모 산업/발전 현장이 아닌 인구가 밀집된 도시 생태계의 모든 구성요소를 거대 탄소 포집·저장·활용(CCUS) 시설로 전환하기 위해 분야별 혁신 기술들의 융복합 필수</li> <li>- 현재 기술적 한계점에 서술된 제반 기술적인 난제들 및 경제성, 효율, 스케일업 등의 상업적인 이슈와 함께 생활환경 근접 적용이라는 근본적인 문제를 극복할 수 있는 파괴적 혁신의 특징이 내재됨</li> <li>- 저농도 CO2의 도심내 자원 순환으로 소비 위주의 도시 역할을 생산을 포함하는 거대 순환 생태계로 전환할 수 있는 개념 전환의 기반 기술</li> </ul>
		<p><b>□ 신시장 창출 전망</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국내 친환경 녹색건축인증 건수가 지속적으로 증가(2002년 3건 → 2019년 약 2,000건)하고 있으며, 2020년부터 공공건축물에 제로에너지 건축물 인증 의무화 시행을 하면서 2025년 국내 '그린 리모델링' 투자는 30조원에 육박할 것으로 전망. 따라서 향후 친환경 건물의 시장의 지속적 성장과 함께 '탄소흡수 건물'에 대한 시장수요도 증대될 것으로 예상</li> <li>- 서울시의 경우, 기후·환경변화에 대응하기 위해 앞으로 시공되는 도로포장은 중온포장으로 확대하고, 2027년부터는 모든 노후포장 정비공사에 중온포장을 적용하는 등 친환경 도로포장을 확대하는 정책을 시행 중이며, 전국적으로 일반국도 및 고속도로 확장 건설이 진행되면서 향후 탄소중립형 도로포장 기술 수요는 증가할 것으로 전망</li> <li>- 현재 전세계적으로 21개 대규모 상업용 CCUS 설비가 운영 중이며, 연간 최대 4천만톤 수준의 CO2 포집 중(IEA, 2020년). 대부분 영구저장(CCS) 및 석유회수증진 용도로 운영 중이나 CO2를 원료로 연료, 화학제품, 건설소재 제조 산업 등에 고부가 전환·활용하는 CCU 관련 시장은 형성되지 않은 신산업 분야임</li> </ul>

4	글로벌 리더십	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전기-열-가스를 통합하는 섹터커플링 에너지원의 탈탄소화를 실현하는 기술로, 분산에너지원 배출규모별 CCS 신산업 창출이 예상</li> </ul> <p><b>□ 예상 실현 시기</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 도시형 CCUS는 2030년경부터 도시에 적용하기 시작하여 2030 NDC, 2050 Net-Zero에 기여함. 세부기술 적용 시기는 아래에 표시함</li> <li>- <b>(건물 분야)</b> 2030년 경 TRL 5 수준의 독자 기술 확보</li> <li>- <b>(도로 분야)</b> 2030년 경 TRL 5 수준의 독자 기술 확보</li> <li>- <b>(도시 에너지 기반시설 분야)</b> 2030년 경 TRL 6 수준의 독자 기술 확보</li> </ul>
		<p><b>□ 글로벌 경쟁국가 현황</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 건축 관련 패시브 기술(건물 외장재 개발 기술 포함)의 경우 미국, EU가 최고선도국가로 나타남(GTC, 2020년 기후기술 수준조사)</li> <li>- 도로/교통 인프라 구축 관련 탄소 중립기술의 경우 미국이 최고선도국가로 평가됨 (GTC, 2020 기후기술 수준조사)</li> <li>- 미국은 '45Q Tax Credit' 정책으로 CO2를 포집·저장·활용하는 산업시설에 세액공제 혜택을 확대 제공하고 있으며, EU는 주요 R&amp;D 프로그램 등을 통해 기술개발을 집중 지원하고 의무사용 재생연료 범위에 CCU 연료를 포함하도록 제도 개선 중. 국내는 '탄소자원화 발전전략' 수립을 통해 CCUS R&amp;D에 지속 투자해 왔으나, 상용화를 촉진하는 제도적 지원책이 부재한 상황</li> <li>- 각 국은 탄소중립도시를 실현하는 핵심 요인은 에너지 생산·소비의 탄소 배출 저감으로 판단, 다양한 기술 탐색 시도 중</li> </ul> <p><b>□ 글로벌 주도권 확보 분야</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 공기 중 CO2 흡수를 위한 건물 외벽 신소재 분야의 경우 기술적 난이도가 높은 편이며, 기술적 난제 해결을 위한 혁신 아이디어 발굴이 필요한 분야로 전 세계적으로 R&amp;D 수행 빈도는 매우 낮은 편(일부 스타트업에 한해 연구개발이 진행 중)임. 해당 원천기술을 확보할 경우 글로벌 주도권 확보 가능</li> <li>- 현재 도로포장재 R&amp;D는 전세계적으로 CO2 흡수보다는 제조과정에서의 zero-emission 또는 리사이클링 관점에서의 부산물 이용에 집중하고 있어, 본 테마에서 제시하는 기술 분야로의 전환과 시장 개척이 필요한 시점임</li> <li>- UN Race to Zero Campaign, EU Net-Zero Cities 등 다양한 탄소중립 정책에 글로벌 기업 및 도시가 적극 참여 중. 다만 혁신성과 경제성을 실현하는 기술개발 지원은 미비.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- EU(Innovation Fund, Horizon 2020 등), 미국 등은 최근 탄소포집 및 활용 기술에 대한 투자를 확대 중이나 우리나라는 구체적 기술확보 전략 및 관련 R&amp;D 투자도 미비한 상황. 독자적인 기술 개발 추진으로 점진적인 주도권 확보 전략 필요</li> <li>- 사우디아라비아의 네옴시티처럼 초대형 건물형 도시가 추진되고 있으며, 폐쇄형 도시 내 순환경제를 위해서는 배출되는 탄소의 처리 및 직접 자원화 기술이 필수로 요구되기 때문에, 본 기술 확보를 통해 인프라 구축의 핵심 파트너로서 리더쉽을 확고히 할 수 있음</li> </ul>
5	사회적 파급력	<p>□ 해결 가능 사회적 이슈</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전 세계적으로 도시화가 급격하게 진행하면서, 도시의 주거, 상업, 생산, 에너지 활동으로 인해 다량의 탄소배출이 일어나고 있음.</li> <li>- 도시 활동으로 탄소 배출은 불가피하지만, 도시 자체적으로 배출한 탄소 총량 이상을 처리하기 위해 도시 인프라를 CCUS로 대체하는 것이 중요 이슈로 부상</li> </ul> <p>□ 미래사회 기대효과(삶의 질 향상 등)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 탄소중립을 넘어 Carbon-negative 도시로 발돋움할 수 있는 기반을 구축</li> <li>- 에코 시티의 관광 브랜드화를 통해 도시 내 사회경제 활성화 기여</li> </ul>
6	기술적 차별성	<p>□ 기존 정부 R&amp;D 와의 차별성</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 정부 R&amp;D 추진 중인 무시멘트 콘크리트의 기술의 경우 시멘트 제조 과정에서 CO2 배출 저감에 초점을 맞추고 있으며, CO2 흡수 저장을 위한 콘크리트 2차제품의 연구개발은 진행되고 있지 않음</li> <li>- 10여 년 전 탄소중립형 도로 기술개발 연구사업을 통해 탄소흡수용 도로 재료 개발을 추진하였으나 기술검증의 유무는 불확실하며, 현재는 산업 부산물과 같은 폐자원을 이용하여 도로포장재 개발(아스팔트 대체 소재 개발, CO2 흡수는 제외)에 집중</li> <li>- 기존 정부 지원 CCS기술은 대형 포집위주로 추진되어, 본 기술이 지향하는 도시형 섹터 커플링 분산 에너지원용 CCS 기술은 차별화됨</li> <li>- 도시형 CCUS 기술은 탄소중립 핵심수단임에도 기술수준이 낮고, 확실성이 높아 획기적으로 경제성을 높이기 위한 중장기 R&amp;D 투자가 필요함</li> <li>- 또한 도심지는 주로 분산형 에너지 소비 및 이산화탄소 배출을 특징으로 하기 때문에 기존 대량 발생원을 대상으로 하는 기술 적용이 불가능하며, 불특정 발생원 및 저농도 이산화탄소를 대상으로 하는 기술 개발이 요구됨</li> </ul>

		<p>□ 독립된 기술적 가치(삼극 특허, 특허 인용 네트워크 등)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (도시형 CCUS) <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ (종합) 도시형 CCUS 개념을 접목한 기술에 대해서는 아직 특허 포트폴리오가 구축되지 않음. 기존 CCUS 기술에 대해서는 많은 출원 및 권리화가 진행되어 있으나, 도시 인프라 전역에 걸쳐 CO2를 포집, 저장, 활용 측면의 특허는 소수의 개별적 특허만 있어 각 국가별 포트폴리오 구축이 진행되지 않은 상태. 국가차원의 R&amp;D 계획을 수립하여 권리화를 진행한다면, 글로벌 선도가 가능한 기술분야로 보여짐</li> <li>▶ 이산화탄소 포집 시멘트 또는 콘크리트와 관련된 특허 약 1300건을 분석한 결과, 제조과정의 부산물 등을 이용하여 이산화탄소를 포집 및 시멘트에 혼합하여 이산화탄소를 영구저장한 시멘트 제조기술이 대부분임. 대기중 CO2를 포집하는 기술에 대해서는 공개된 특허는 없어 기술선점 가능성이 높음</li> <li>▶ 이산화탄소를 포집하거나 저장할 수 있는 도로관련 특허기술은 아직 없으며, 이산화탄소를 포집, 저장하는 재료관련 기술은 현재 800여건 정도 출원되어 있음. 주요 국가로는 중국, 일본, 한국에서 전체 출원을 주도하고 있으며, 중국의 경우 대학 또는 연구소 중심의 출원이 되어 있음. 기존 재료를 도로기술에 접목하는 방향으로 특허화 가능 할 것으로 사료됨. 또한, 흡수제를 포함한 구조관련 기술을 통해 이산화탄소를 흡수할 수 있는 보도블럭에 대한 다수의 출원이 있었음</li> <li>▶ CCUS 기술과 관련된 주요특허들은 대부분 에너지 생산 기술에 접목된 것이 대부분임. 조사된 특허 중에서 중국의 출원이 가장 많으며(약 3200건), 미국의 경우에도 약 94건 정도 출원되어 있음. 중국에서는 대학교 또는 국영기업 중심으로 연구개발이 되고 있으나, 이들 기술은 도시형이 아니라 대형발전소에서 접목가능한 CCUS 기술로, 본 과제와 관련 있는 도시형 CCUS기술에 적용가능한 중소형 또는 이동형 기술에 대해서는 아직 많은 출원이 되어 있지 않음.</li> <li>▶ 미국의 경우에는 중소형 CCUS 기술과 관련하여 최근 공개된 특허가 존재. 분석결과, 도시형 CCUS 개념의 출원은 그리 많지 않아, 도시형 CCUS 기술에 대해서는 기술적 우위 및 선점이 가능할 것으로 보여짐</li> <li>▶ 아울러, 포집된 이산화탄소를 재활용하거나 자원화 관련 조사된 특허들은 대부분이 포집, 저장된 이산화탄소를 재활용하거나 다른 물질로 전환하는 기술이며, 이들은 대규모 산업적인 측면의 기술임. 저장된 CO2의 재활용 또는 재사용 방식과 관련하여서는 광물화, 기타 화학생성물등이 있음. 기존 재활용 기술을 도시형 CCUS 기술과 접목하여 권리화를 시도하면 새로운 특허포트폴리오 구축이 가능할 것으로 보여짐</li> </ul> </li> </ul>
--	--	--