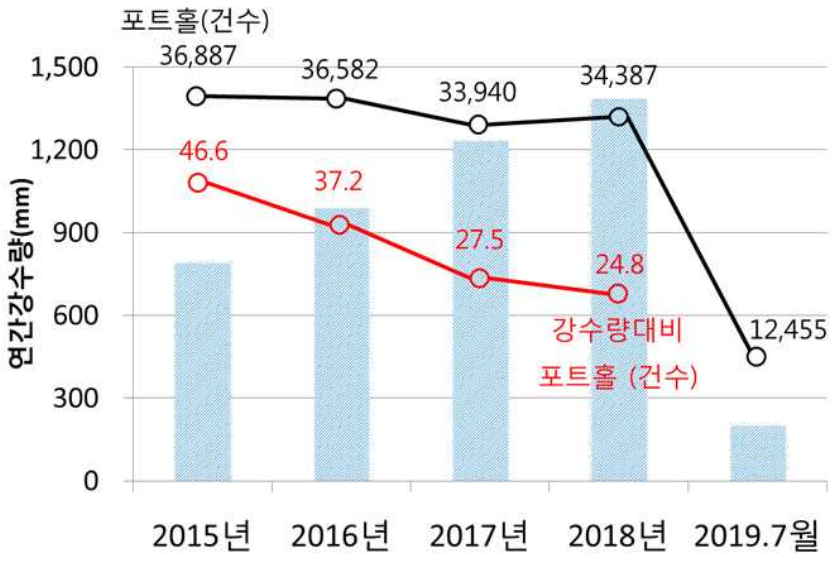
# 구매조건부신제품개발사업 구매연계형 과제제안서

## Ⅰ. 개발기술 개요

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ① 개발과제명 | 친환경 콘크리트를 적용한 U형다웰바 연결식 프리캐스트 패널 포장 제품의 개발 | | | |
| ② 개발제품명 | 친환경 콘크리트를 적용한 U형다웰바 연결식 프리캐스트 패널 포장 제품 | | | |
| ③ 기술분류 | 구 분 | 산업기술 표준분류 | 국가과학기술 표준분류 | 6T |
| | 대분류 | 지식서비스 | 건설/교통 | ET |
| | 중분류 | 연구개발/엔지니어링서비스 | 건설시공/재료 | 환경기반 |
| | 소분류 | 사업설비-시설물 조사/설계/예측/평가/관리기술 | 토목시공기술 | 기타환경기반기술 |
| | * 수요처의 업종이 아닌 개발제품의 기술분류를 기재, 별첨 참조 | | | |
| ④ 개발기간 및 연구개발비 규모 | 개발기간 | 24 개월 | 정부지원 연구개발비 | 4.8 억원 |
| | * 개발기간은 시험평가(신뢰성 인증)소요기간을 포함하여 예상되는 총 개발기간을 기재, 향후 조기완료가 가능하므로 적정한 기간을 산정<br>* 정부지원연구개발비는 공고문의 유형별 지원조건을 참조하여 총 정부지원연구개발비 계상 | | | |
| ⑤ 구매계획 | 구 분 | 구매수량 | 구매단가 | 예상구매액 |
| | 1년차 | 500 ($m^2$) | 800,000 원/$m^2$ | 400 (백만원) |
| | 2년차 | 500 ($m^2$) | 800,000 원/$m^2$ | 400 (백만원) |
| | 3년차 | 875 ($m^2$) | 800,000 원/$m^2$ | 700 (백만원) |
| | 4년차 | 875 ($m^2$) | 800,000 원/$m^2$ | 700 (백만원) |
| | 5년차 | 1,500 ($m^2$) | 800,000 원/$m^2$ | 1,200 (백만원) |
| | 5년차 이후 | 2,000 ($m^2$) | 800,000 원/$m^2$ | 1,600 (백만원) |
| | 총 계 | 6,250 ($m^2$) | 원/$m^2$ | 5,000 (백만원) |
| | * 구매예상액은 정부출연금의 3배 이상 | | | |
| ⑥ 키워드 | (한글) | 프리캐스트 패널 | 시멘트 대체재 | U형 다웰바 |
| | (영문) | Precast panel | SCMs | U-type Dowel bar |

## Ⅱ. 개발기술 세부내용

| | |
|---|---|
| ⑦ 개발 목표 및 개발필요성 | • 국토교통부 통계조사에 따르면 도로 유지관리비용은 2021년도 기준으로 약 4조원으로 매년 유지관리비용은 증가하는 추세임.<br>• 도로 유지관리비 항목에는 포장, 구조물, 안전시설, 위험도로개선 등이 있으며, 이 중 도로 포장 보수비가 약 1조원으로 전체 도로 유지관리비 중 27%를 차지하고 있음.<br>• 국내 전체 시내 도로 포장은 100% 아스팔트로 이루어져 있음. 최근의 지구 온난화는 하절기 온도상승에 기인하여 온도상승이 뚜렷하여 아스팔트의 파손이 크게 발생하고 있음. **특히 버스정류장과 같은 차량 정차 장소의 파손은 매우 심각한 수준임.**<br>• **전국 버스전용차로를 포함한 버스정류장은 153,904개소**(한국교통안전공단, 2020)이며 중차량 가감속에 의한 상습 파손구간으로서 버스 차륜의 높은 접지하중과 대형차 통행 및 정체 등으로 인해 소성변형, 포트홀 및 균열이 발생되고 있음.<br>• 버스전용차로의 경우 최대의 교통량이 통행하고 버스 중앙차로와 같은 중차량 집중 주행구간이 존재하며, 장기간 공용으로 인한 도로포장의 노후화로 인해 포트홀 등 포장 파손의 발생 빈도가 매우 높은 특성을 가지고 있으며, 최근 5년간 포트홀 발생 건수는 연간 약 3만 건 이상이 보고되고 있음.(서울특별시, 2019)<br>  <br><br><포장의 조기 노후화(서울특별시, 2019)> |

| | |
|---|---|
| ⑦ 개발 목표 및 개발필요성 | • 국내 버스전용차로 정차대의 포장 형식으로는 연성포장 형식인 아스팔트 포장이 주를 이루고 있으며 버스전용차로 정차대 특성상 중차량의 반복적인 정지하중에 의해 포트홀 및 소성변형 발생으로 인해 반복적인 재포장을 실시하고 있음. 이로 인해 폐기물 및 교통통제 등의 사회 간접비용 발생이 크게 증가하고 있으며, 기후 및 교통환경 변화에 따른 아스팔트 포장의 구조적 한계로 재 포장의 사례가 꾸준히 증가하고 있음.<br> <br><br> <br><버스전용차로 정거장의 포트홀 및 러팅에 의한 파손사례><br>• 국외 도심지에서는 중차량 통행 또는 차량의 잦은 가감속 구간에서 적극적으로 콘크리트 포장 적용이 필요함. 또한, 도시 환경 개선, 유지관리 비용과 재 포장에 따른 비용증가 및 교통통제로 인한 민원을 최소화 할 수 있으며 **“공장에서 미리 제작된 프리캐스트패널로 야간 급속시공으로 조기 교통개방과 신속한 조립시공으로 내구성이 확실한 고품질의 프리캐스트포장 기술”이 필요**함.<br>• 현재, 일부 구간에서 프리캐스트 콘크리트 도로를 설치 운용하고 있으나 프리캐스트를 패널을 제작하는데 다량의 이산화탄소를 발생시키고 있음. 프리캐스트에 사용되는 OPC(Ordinary Portland Cement)의 이산화탄소 발생량의 800~900Kg/ton에 달해 이를 저감 시킬 수 있는 방법의 제시가 필요함. 또한 콘크리트의 경우 아스콘 포장과 달리 하절기 열섬완화 효과가 있으며 열섬완화 효과는 아스콘 포장과 비교하여 약 9℃를 낮추는 것으로 보고된바 있어 오존발생량의 저감 등의 공해 발생량을 감소시킬 수 있음. |

| | |
|---|---|
| ⑦ 개발 목표 및 개발필요성 | • 이에 따라, CO2를 배출하는 건설재료를 다른 재료로 대체하여 탄소배출량을 줄이거나 제조공정 및 설치 방법 등을 개선하여 이산화탄소 발생량 억제와 사용 에너지를 근본적으로 줄일 수 있는 재료와 설치방법이 환경적 측면에서 매우 절실함.<br>• 해외의 경우 OPC를 대체하는 기술를 다양하게 검토 중이며 특히 부산물 등을 활용하는 기술을 구축 사용하고 있음. 대표적인 방법으로 SCMs(supplementary cementitious materials)로써 실리카흄, 슬래그 미분말, 석회석 미분말, 플라이애쉬를 사용하여 대체량의 60%이상을 적용하고 있음.<br>• SCMs의 대체율의 상승시킬 경우 프리캐스트 제작시 발생할 수 있는 <u>이산화탄소량을 약 30%저감</u>할 수 있으나 양생공정에서 발생하는 에너지 사용에 따른 이산화탄소 발생량와 에너지 사용량을 상승시킬 수 있어 이에 대한 재료적 검토가 필요함.<br>• <u>SCMs의 OPC 대체률 상향을 위한 방법으로 SCMs와 OPC를 제조하는 과정에서 이를 pre-mixed type으로 제조하고 여기에 반응촉진제를 첨가</u>하여 프리캐스트 패널 생산시 필요한 반응성을 부여할 경우 에너지 및 이산화 탄소 발생량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단됨.<br>• <u>현재 시공되고 있는 아스팔트 포장과 다르게 이산화 탄소 감소량의 약 30% 저감할 수 있으며 약 9℃의 온도 강하 효과</u> 및 <u>버스정류장의 소성변형에 의한 불편함을 예방</u>할 수 있을 것으로 판단됨. 또한 <u>기존 아스팔트 포장 대비 약 3배의 장수명 포장층으로 사용이 가능할 것으로 판단됨.</u> |

| | |
|---|---|
| ⑧ 수요처 기술수요 (상세히) | 1) 기술적 · 환경적 측면<br>• SCMs 사용량을 증가시킨 친환경 콘크리트를 적용한 프리캐스트 패널의 초기강도 확보<br>• SCMs 사용량을 증가시킨 친환경 콘크리트를 적용한 프리캐스트 패널 제작시 이산화탄소 저감률 30% 및 에너지 사용량 10% 절감<br>• SCMs 사용량을 증가시킨 친환경 콘크리트를 적용한 프리캐스트 패널 포장에 의한 열섬방지 효과<br><br>2) 안전성 측면<br>• 공장에서 규격화된 제품 형태로 생산되므로 품질관리가 용이하여 고품질의 프리캐스트 패널 제작 및 안전성 확보<br>• 신축 조인트 연결 구조로 신축 거동에 대한 안전성 확보<br>• 복 철근 형태로 인양하중 및 차륜 하중에 대한 균열 안전성 확보<br><br>3) 시공성 측면<br>• 규격화된 제품과 반복적인 시공으로 시공성(급속) 향상<br>• 급속시공이 가능하여 시공 시간 단축에 의한 교통민원 발생 최소화<br><br>4) 유지관리 측면<br>• 콘크리트 제품으로 40~50년의 내구성 보장(재포장 주기 감소)<br>• 공항 및 버스전용차로 정차대 다수 시공실적을 통한 내구성 및 유지관리 효과 검증<br><br>5) 경제성 측면<br>• SCMs 사용량을 증가시킨 친환경 콘크리트 적용에 따른 재료비 절감에 따른 원가절감<br>• 사전에 공장에서 대량 생산이 가능하여 제작비용 절감<br>• 야간 8시간(22시~06시)에 프리캐스트 패널 설치(수량 8개)로 급속시공에 의한 시공비용 최소화<br>• 아스팔트포장에 비해 내구성이 향상되어 재포장 주기 감소로 인한 생애주기비용(LCC) 증가로 경제성 증가(교통정체비용 제외) |

⑨ 개발기술 세부요구수준 (성능, 규격 등)

◆ 국내 기술동향 및 수준

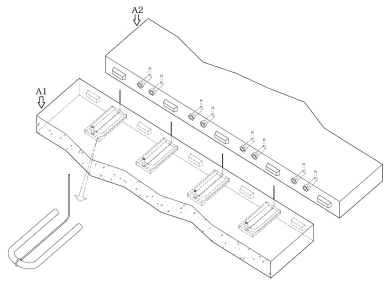
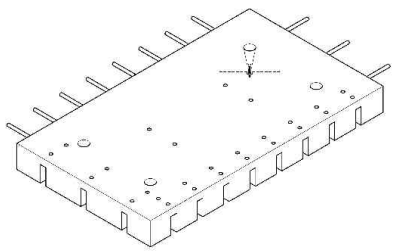
• 국내 혼합시멘트 제조 기술 분석

국내 혼합시멘트 제조 기반은 슬래그시멘트를 기초로 하고 있으며 현재 시판되고 있는 혼합 시멘트는 슬래그 시멘트이고 주로 사용되고 있는 OPC(보통 포틀랜드 시멘트)와의 성능 비교는 아래와 같음. 국내에서는 초기강도 문제로 인하여 주로 2종 슬래그시멘트가 사용되고 있음.

| 항목 | | 포틀랜드시멘트 | 슬래그시멘트 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 세부규격 | | 1종 | 1종 | 2종 | 3종 |
| 슬래그함유량(%) | | 5%이내 | 5~30 | 30~60 | 60~70 |
| 분말도(㎠/g) | | 2,800이상 | 3,000 이상 | 3,000 이상 | 3,000 이상 |
| 안정도 | 오토클레이브 팽창도(%) | 0.8이하 | 0.2이하 | 0.2이하 | 0.2이하 |
| | 르샤틀리에 (㎜) | 10이하 | 10이하 | 10이하 | 10이하 |
| 응결 시간 | 초결(부) | 60이상 | 45이상 | 60이상 | 60이상 |
| | 종결(시간) | 10이하 | 7이하 | 10이하 | 10이하 |
| 압축 강도 (MPa) | 3일 | 12.5이상 | 12.5이상 | 10이상 | 7.5이상 |
| | 7일 | 22.5이상 | 22.5이상 | 17.5이상 | 15.0이상 |
| | 28일 | 42.5이상 | 42.5이상 | 42.5이상 | 40.0이상 |

• 국내 프리캐스트 패널 공법 분석

- 국내외 U형 다웰바를 적용한 프리캐스트 패널에 대한 사례가 없어 일자형 다웰바를 적용한 프리캐스트 패널과 비교분석을 실시함.

| 항목 | 개발기술 (U형 다웰바 프리캐스트패널) | 비교기술 (일자형 다웰바 프리캐스트패널) |
|---|---|---|
| 개요도 |  |  |
| 특징 | • U형 다웰바 사용<br>• 리드와이어의 끌림으로 다웰바를 이동시켜 연결<br>• 양쪽 슬래브 거치 및 레벨작업 후 다웰바 수평이동<br>⇒ 시공 간편<br>• 연결부 그라우팅 시공 | • 일자형 다웰바 사용<br>• 고정된 다웰바와 인접슬래브 거치에 의한 연결<br>• 고정된 다웰바 설치슬래브에 블록 아웃된 슬래브 거치<br>⇒ 정밀시공 필요<br>• 연결부 그라우팅 시공 |

⑨ 개발기술 세부요구수준 (성능, 규격 등)

◆ 해외 기술동향 및 수준

• SCMs 시멘트 제조 기술

기존 OPC의 사용량을 약 40%를 적용하여 사용되고 있으나 국내의 경우 이에 대한 최적 조성이 준비되고 있지 않아 국내적용 실적이 없음. 기존 슬래그 혼합시멘트의 경우 OPC 사용량이 60% 이상을 적용하여 이산화 탄소 저감 효율에 한계가 있으나 해외의 경우 70% 이상의 혼합시멘트가 적용되고 있음

• 초기강도 향상 SCMs 시멘트 제조기술

SCMs의 대체률응 상승시킬 경우 초기강도 저하등의 문제로 생산시 필요한 에너지 사용량이 증대될 수 있으나 해외의 경우 이를 극복하기 위하여 나노 첨가제를 도입하여 초기강도 극복을 해결하였음. 아래표는 미국의 혼합시멘트의 종류와 혼합제의 사용량임.

< 미국의 혼합시멘트의 종류와 혼합제 사용량>

| 구분 | 종류 | 명칭 | 혼합량 |
|---|---|---|---|
| Binary blended cement | Type IS | Portland blast-furnace cement | 고로슬래그 70% 이하 |
| | Type IP | Portland-pozzolan cement | 포졸란 재료 35% 이하 |
| | Type IL | Portland-limestone cement | 석회석 미분말 15% 이하 |
| Ternary blended cement | Type IT | Ternary blended cement | 고로슬래그 70% 이하<br>포졸란 재료 40% 이하 |

• 프리캐스트 패널 급속 포장 해외 고속도로 및 공항 적용사례

- "프리캐스트패널을 이용한 급속 포장공법"은 미국 및 일본 등 선진국에서 다양한 분야 활용
- 미국 뉴욕 IT고속도로 및 크로스타운 시공사례

■ I - 95 (미국 뉴욕주)

- 공사 지역 : 뉴욕 I-95 고속도로 2개소
- 통과 차량 : 140,000대/day
- Precast Concrete pannel : 약 780개
- 작업 시간 : 5시간/일

| | |
|---|---|
| ⑨ 개발기술 세부요구수준 (성능, 규격 등) | ◆ 개발제품 세부요구수준 |

1) 에너지 사용량 및 이산화탄소 저감형 친환경 SCMs 시멘트 개발

- OPC 대체률 60%이상 적용으로 이산화탄소 30%/ton 절감 친환경 SCMs 시멘트 조성물 개발
  - 개발 기술 발생 이산화탄소/기존 슬래그혼합 시멘트의 이산화탄소 발생량 = 0.7이하
- 초기강도 획득률 = OPC 대비 0.7
  - 개발기술 압축강도 / OPC 압축강도 비 = 0.7이상(3일)
- 기존 SCMs의 종류와 본 연구에서 활용될 SCMs의 차별성은 아래와 같음

| 물질의 명칭 | 기존 기술 | 개발 기술 |
|---|---|---|
| SCMs | slag, fly-ash, limestone flour | slag, fly-ash, limestone flour, silica flore, silica fume |
| 나노 첨가제 | - | fumed silica, sulphate of soda, gypsum 등의 reactive seed |

2) 패널간 연결부에 U형 다웰바를 적용, 우수한 내구성과 탁월한 하중전달효과, LTE(Load Transfer Efficiency)가 90% 이상 가능한 프리캐스트 콘크리트 패널 제품 개발

- 패널간 연결이 포켓(Pocket) 내부로 다웰바가 삽입되어 하중이 전달되는 구조로 지반 및 프리캐스트 콘크리트 패널의 건전도를 파악하기 위하여 LTE 측정 시험을 실시
- 하중전달효율(LTE) 평가기준
  - FAA(미연방 항공청) AC 150/5370-11B, 줄눈형식에 따른 공항 콘크리트 포장 하중전달율 기준

| LTE (%) | 상대강성반경(λK) |
|---|---|
| | 20in(50cm) |
| 90 ~ 100 | 허용(Acceptable) |
| 70 ~ 90 | 허용(Acceptable) |
| 50 ~ 70 | 적절(Fair) |
| < 50 | 불량(Poor) |

| | |
|---|---|
| ⑨ 개발기술 세부요구수준 (성능, 규격 등) | 3) 프리캐스트 패널의 하부 충진재 부착강도 0.8MPa이상 확보 (3시간 기준)<br>• 패널하부 쇄석기층과의 하중전달을 위하여 초속경 무수축 그라우트로 충진<br>• 작업시간(가사시간)은 40분으로 부착 강도는 도로공사에 적용하고 있는 3시간 0.8MPa 및 28일 1.5MPa 부착강도 기준을 적용<br><br>4) 패널 하부 완벽한 그라우트 충진을 통한 안전성 확보<br>• 초속경 그라우트 몰탈의 흐름도 확보<br>- 흐름도 280mm 이상<br>• 초속경 몰탈 충진방향에 따른 충진율 실험<br>- 충진율 90%이상 확보<br><br>5) 프리캐스트 패널 설치 후 그루빙(Grooving)을 실시하여 미끄럼에 대한 저항성 확보<br>• 노면의 미끄럼 저항지수 BPN=57이상을 확보하여 버스전용차로등 패널면의 미끄럼 저항 안전성을 확보<br>• 자동차 타이어와 도로면 사이의 마찰력은 도로포장에 주행안전성에 중요한 영향을 미치는 요소로 BPT 시험(KS F 2375)을 통해 미끄럼 저항성을 평가<br><br>6) LCC(Life Cycle Cost)분석을 통한 경제적 효과 검증<br>• LCC 경제성 효과분석 분석 즉, 기존 아스팔트 포장공법 대비 시공성, 경제성, 유지관리비용을 분석하여 프리캐스트 패널 적용에 따른 효과 분석 수행<br>• SCMs 시멘트 제조 기술 적용에 따른 이산화탄소 저감효과 분석 수행 |

| ⑨ 개발기술 세부요구수준 (성능, 규격 등) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 개발항목(성능지표) | | 규격/단위 | 개발목표 | 객관적 측정방법 |
| | 1. 분말도 | | $cm^2/g$ | 3,500 이상 | 공인성적서 |
| | 2. 응결 시간 | 초결 | 분 | 300 이내 | 공인성적서 |
| | | 종결 | 시간 | 7 이내 | 공인성적서 |
| | 3. 안정도 | 오토클레이브 팽창도 | % | 0.2 이하 | 공인성적서 |
| | | 르샤틀리에 | mm | 10 이하 | 공인성적서 |
| | 4. 압축 강도 | 3일 | MPa | 15 이상 | 공인성적서 |
| | | 7일 | | 30 이상 | 공인성적서 |
| | | 28일 | | 42.5 이상 | 공인성적서 |
| | 5. 열섬현상 측정 (PC:아스팔트) | | ℃ | 5 이상 | 공인기관 입회시험 |
| | 6. 하중전달효과(LTE) | | % | 90 이상 | 공인성적서 |
| | 7. 초속경 그라우트 | 부착강도 | MPa | 0.8 이상 | 공인성적서 |
| | | 흐름도 | mm | 28 이상 | 공인성적서 |
| | | 충진율 | % | 90 이상 | 공인기관 입회시험 |
| | 8. 미끄럼저항계수 (BPN) | | - | 57 이상 | 공인성적서 |
| | 9. LCC분석 (경제성) | | - | 30% 이상 | 공인분석기관 |
| | 10. 탄소저감효과 (CO2) | | - | 30% 이상 | 공인분석기관 |
| | 신뢰성 인증방법 | | 수요처요구 공인성적서 및 NET | | |

| ⑩ 비고 (특이사항 등) | |
|---|---|