

보안과제( ), 일반과제(○) / 공개(○), 비공개( )

국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001915-01

국  
토  
교  
통  
기  
술  
촉  
진  
연  
구  
사  
업  
최  
종  
보  
고  
서

R&D / 16CTAP-C097331-01

산업부산물을 활용한 습식 순환골재  
표면개질(pH8 및 흡수율 5% 이하)과  
순환골재 콘크리트 적용기술 개발  
최종보고서

2017. 09. 12.

주관연구기관 / 강원대학교  
삼척산학협력단

국 토 교 통 부  
(전문기관)국토교통과학기술진흥원

## 제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘국토교통기술촉진연구사업’(연구개발 기간 : 2015.06.18. ~ 2017.06.17.) 과제의  
최종보고서 2부를 제출합니다.

2017 . 9. 12.

주관연구기관명 : 강원대학교

삼척산학협력단

(대표자) 송 영 준

(인)

협동연구기관명 :

(대표자)

(인)

참여기관명 :

(대표자)

(인)



주관연구기관책임자: 박 원 준

협동연구기관책임자:

참여기관책임자:

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에  
동의합니다.

## 보고서 요약서

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                       |                                                        |                            |               |                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------------------------------|
| 과제 고유 번호                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 16CTAP<br>-C097331-01 | 해당 단계<br>연구 기간                                         | 2015.06.18~<br>2017.06.17. | 단계구분          | 2/2                                                |
| 연구사업명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 중사업명                  | 국토교통기술촉진연구사업                                           |                            |               |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 세부사업명                 | 창조형모험                                                  |                            |               |                                                    |
| 연구과제명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 대과제명                  |                                                        |                            |               |                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 세부과제명                 | 산업부산물을 활용한 습식 순환골재 표면개질 (pH8 및 흡수율 5%이하)과 콘크리트 적용기술 개발 |                            |               |                                                    |
| 연구책임자                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 박원준                   | 해당단계<br>참여<br>연구원 수                                    | 총: 3 명<br>내부: 3 명<br>외부: 명 | 해당단계<br>연구개발비 | 정부:50,000천원<br>기업: 천원<br>정부 외: 천원<br>계:50,000 천원   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                       | 총 연구기간<br>참여<br>연구원 수                                  | 총: 5 명<br>내부: 5 명<br>외부: 명 | 총 연구개발비       | 정부100,000 천원<br>기업: 천원<br>정부 외: 천원<br>계:100,000 천원 |
| 연구기관명 및<br>소속 부서명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 강원대학교 삼척산학협력단         |                                                        |                            | 참여기업명         |                                                    |
| 국제공동연구                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 상대국명:                 |                                                        |                            | 상대국 연구기관명:    |                                                    |
| 위탁연구                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 연구기관명:                |                                                        |                            | 연구책임자:        |                                                    |
| 본 연구는 순환골재의 품질 안정화 및 콘크리트용 골재로의 사용 촉진을 위하여 pH 8 및 흡수율 5%이하의 저감기술의 개발을 목표로 하고 있다. 기존 기술(산처리, 탄산화 등) 대비 동등이상의 저비용 고효율 표면개질기술(pH8 및 흡수율 5%이하)을 개발함에 있어서 산업부산물기반(본 연구에서는 규불화수소산을 적용함)의 표면개질에 대한 연구를 수행하고 표면개질 기술 및 습식공정에서의 반응촉진 기술을 규명(특허2건)하고 이를 활용한 순환골재 콘크리트의 최적 재료설계 시스템을 구축하였다(S/W등록). 규불화수소산을 활용한 습식 개질을 통하여 pH와 흡수율 저감효과를 확인하였으며, 공정처리를 고려한 초음파 진동법의 적용은 습식 반응 촉진효과가 있음을 확인하였다. |                       |                                                        |                            | 보고서 면수: 76쪽   |                                                    |

## 〈요약〉

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |      |       |      |  |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------|------|--|
| 연구의<br>목적 및 내용            | 본 연구는 순환골재의 품질 안정화 및 콘크리트용 골재로의 사용 촉진을 위하여 pH 8 및 흡수율 5%이하의 저감기술의 개발을 목표로 하고 있다. 기존 기술(산처리, 탄산화 등) 대비 동등이상의 저비용 고효율 표면개질기술(pH8 및 흡수율 5% 이하)을 개발함에 있어서 산업부산물기반의 표면개질에 대한 연구를 수행하고 표면개질 기술 및 습식공정에서의 반응촉진 기술을 규명하고 이를 활용한 순환골재 콘크리트의 최적 재료설계 시스템을 구축함에 있다.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |      |       |      |  |
| 연구개발성과                    | <p>본 연구의 최종성과물은 『산업부산물을 활용한 습식 순환골재 표면개질기술과 개질된 순환골재를 활용한 콘크리트 재료설계 시스템의 개발』을 제시하는 것으로 ①순환골재 표면개질 기술, ② 반응촉진 기술, ③ 2차오염수 및 슬러지 재사용 기술, ④순환골재 콘크리트 최적설계의 핵심 연구분야별 다음과 같은 연구성과를 달성하였다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>■ SCI급 논문 : 1편</span> <span>■ 특허출원: 2건</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>■ 습식공정 적용 매뉴얼: 1건</span> <span>■ 순환골재 콘크리트 성능설계 프로그램: 1건</span> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |      |       |      |  |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | <p>본 연구는 최종적으로 산업부산물/비탄산화기반, 2차오염수 억제형 습식 순환골재 표면개질기술의 개발을 통하여 저비용 고품질의 순환골재 콘크리트 사용 촉진을 궁극적으로 도모함. 이에 따라, 관련 기술수요처(건설폐기물처리, 골재생산, 레미콘사, 건설사 등)에서 다각적/적극적인 순환골재 활용을 제고할 수 있음. 또한, 골재기반에서 오염수, 슬러지, 미분말까지 무기계 건설폐기물의 고효율 리사이클에 활용할 가능성이 매우 높음.</p> <div style="display: flex;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; background-color: #ffffcc; padding: 5px; margin-right: 10px;">기술적 기대성과</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 건설분야 유용 폐자원 재활용기술 수준의 향상               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염물질(콘크리트계 폐기물 내 고알칼리 성분)제어 및 처리기술 향상</li> </ul> </li> <li>• 콘크리트계 폐기물(연간 4천만톤이상)에 확대적용               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존: 순환골재 생산 및 품질향상에 초점</li> <li>- 제안: 생애주기 관점에서 발생하는 미분말, 순환골재, 골재처리수, 레미콘 슬러지, 회수수를 대상으로 용도를 고려한 환경영향 저감, 성능향상, 재료설계기술을 모두 제공</li> </ul> </li> <li>• 기술개발을 통하여 지적재산권 획득가능               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 환경영향 저감을 목표로한 건설자원순환 기술은 현재 활발히 개발 중</li> <li>- 콘크리트계 폐기물에 특화되고 환경영향 저감, 재료성능 향상, 환경영향평가 및 재료설계 시스템은 부재한 상태이며 기존의 연구 및 기술과 차별화된 방법으로 지재권 획득가능성이 상당히 높음</li> </ul> </li> <li>• 특허 및 신기술 개발을 통한 시장예의 적극반영 및 활용이 가능함               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2차 콘크리트 제품 분야에 기술적인 확대지원이 가능</li> <li>- 정립된 기술의 즉각적인 시장에서의 활용성이 매우 큼.</li> </ul> </li> <li>• 현장 적용레벨의 신뢰성 검증이 가능 (건설폐기물 중간처리업체 약 450개소)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수요자 중심(기술수요처)의 검증을 통하여 실용화 방안 검증도 병행 가능</li> </ul> </li> </ul> </div> <div style="display: flex;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; background-color: #ffffcc; padding: 5px; margin-right: 10px;">사회·경제적 파급효과</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 경제적 측면               <ul style="list-style-type: none"> <li>• 고효율의 콘크리트 폐기물 최적순환 솔루션 제공</li> <li>• 천연골재 부족에 대응한 순환골재의 적극적 활용기대 (건설폐기물의 60%이상)</li> <li>• 품질의 불확실성 해소, 성능개선을 통한 콘크리트용 재료로서의 적극활용을 통하여 경제적인 비용절감으로 확대 (콘크리트용 재사용율은 현재 3%이하)</li> <li>• 성능기반설계 기술을 보급하여 직접적인 경제효과 창출</li> </ul> </li> <li>(2) 사회환경적 측면               <ul style="list-style-type: none"> <li>• 폐콘크리트의 재활용에 대한 사회적 요구에 부합</li> <li>• 재활용품의 문제(품질, 안전성, 환경오염)에 적극 대응</li> <li>• 환경영향평가를 제공하여 건축재료에 친환경성을 제공</li> <li>• 국가정책/제도에 부합하는 건설재료 최적자원순환 솔루션 제공</li> </ul> </li> </ul> </div> |      |      |       |      |  |
| 핵심어<br>(5개 이내)            | 산업부산물                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 순환골재 | 표면개질 | 흡수율저감 | pH저감 |  |

## 〈 SUMMARY 〉

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                     |                      |                                 |              |  |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|--------------|--|
| Purpose & Contents    | This research is focusing on the Modification of Recycled Aggregate for Concrete by using Industrial By-products. Especially, the modification aims less than pH8 and 5% water absorption ratio. Additionally, this research suggests the more effective modification method comparison with the conventional methods (acid treatment and carbonation). Based on using the by-products, both modification mechanism and accelerated chemical reaction method will be suggested. By using those results, this research also proposes the optimized concrete mix proportion system using surface modified recycled aggregates.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |                      |                                 |              |  |
| Results               | Development results of this study is to suggest the "Modification of Recycled Aggregate for Concrete by using Industrial By-products" ① recycled aggregate surface modification technology, ② Chemical reaction acceleration technology, ③ second contaminated sludge and reuse technology, ④ optimal design of recycled aggregate concrete.<br>■ SCI-article: 2                      ■ patent-register: 2 cases<br>■ Wet-production manuals: 1   ■ Performance-based Design programs: 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |                      |                                 |              |  |
| Expected Contribution | This study finally industrial by-products / grief oxide-based, secondary contamination can be suppressed recycled aggregates wet surface modification technology ultimately domoham a low-cost high-quality recycled aggregate concrete through the promotion of the use. As a result, demand-related technologies that can enhance the multilateral / recycled aggregates used in active (construction waste treatment, production of aggregates, ready-mix concrete companies, construction companies, etc.). Also, be contamination in aggregate basis, the possibility is very high in the sludge use, highly efficient recycling of construction waste from inorganic powder.<br>1) Technical performance expectations<br>● Increase of construction waste recycling technology<br>● Expanding application to the concrete waste (more than 40 million tons per year)<br>● Reflection to the market with developing new technologies and patents<br>2) Economics<br>● provide optimal circulation of waste concrete solutions for high-efficiency<br>● expectations active use of recycled aggregates corresponding to the lack of natural aggregate (more than 60% of the construction waste)<br>● performance-based design technology<br>3) Social and environmental aspects<br>● meet the social demand for recycling waste concrete<br>● responding to problems (quality, safety, environmental pollution) |                     |                      |                                 |              |  |
| Keywords              | Industrial by-products                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Recycled aggregates | Surface modification | Water absorption rate reduction | pH reduction |  |

## < INDEX >

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Outline of Research and Development Project .....                          | 1  |
| 2. Domestic and overseas technology development status .....                  | 16 |
| 3. Research performance and performance .....                                 | 24 |
| 4. Achievement of goals and contribution to related fields .....              | 61 |
| 5. Plan to utilize R & D achievements .....                                   | 68 |
| 6. Overseas science and technology information during the research process .. | 70 |
| 7. Security level of R & D achievement .....                                  | 70 |
| 8. Research facilities and equipment registered in the NTIS .....             | 70 |
| 9. Implementation of safety measures in laboratories based on R&D tasks ..... | 71 |
| 10. Representative Research Results of R & D Project .....                    | 72 |
| 11. Others .....                                                              | 73 |
| 12. References .....                                                          | 73 |

## < 목 차 >

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....                       | 1  |
| 2. 국내외 기술 개발 현황 .....                     | 16 |
| 3. 연구 수행 내용 및 성과 .....                    | 24 |
| 4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....               | 61 |
| 5. 연구개발성과의 활용 계획 .....                    | 68 |
| 6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 .....           | 70 |
| 7. 연구개발성과의 보안등급 .....                     | 70 |
| 8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 .....    | 70 |
| 9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ..... | 71 |
| 10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 .....               | 72 |
| 11. 기타 사항 .....                           | 73 |
| 12. 참고 문헌 .....                           | 73 |

# 제1장. 연구개발과제의 개요

## 1. 연구개발 목적

가. 연구개발 최종목표

### 1) 최종목표

| 연구 목표          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | <p>순환골재 콘크리트의 사용 촉진을 위하여 기존 기술(산처리, 탄산화) 대비 동등이상의 저비용 고효율 표면개질기술(pH8 및 흡수율 5%이하)을 탄산수, 규불화수소산 등의 적용을 통하여 개발하고 이를 활용한 순환골재 콘크리트의 최적 재료설계 시스템을 구축</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 최종 목표 및 성과물    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                | <p>본 연구는 새로운 형태의 기술 개념을 적용하여 기술의 실용화 가능성을 확인하는 ‘이론적 아이디어 개발’을 목표로 함. 기존의 표면개질/처리 기술이 추구하는 최종 목표에 산업부산물물을 적용하여 검증하고, 이를 활용할 수 있는 원천기술을 개발할 계획임. 고비용, 2차오염수, 표면개질 매커니즘, 회수슬러지 재활용의 문제를 해결하고 성능기반형 재료설계시스템을 구축하여 개발된 기술의 검증을 수행함.</p> <p>◆환경영향저감 (SCI급 논문 1편, 특허 1건)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-순환골재: 저비용 고효율의 <b>pH 8이하 저감기술</b> 개발 및 검증</li> <li>-습식공정 오염수: 이온교환수지를 활용한 안정화, 슬러지 고형화, 2차활용</li> </ul> <p>◆자원순환기술 (SCI급 논문 2편, 특허 1건, 공정매뉴얼)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-순환골재 비탄산화 기반 <b>표면개질 매커니즘 규명과 5%이하로 흡수율 저감기술</b></li> <li>-자원순환기술: 슬러지 고형화 검증 및 재자원화 기술 제안</li> <li>-융합기술의 활용: <b>나노(버블)기술, 초음파(진동)기술을 적용한 반응촉진 기술</b></li> </ul> <p>◆자원활용기술</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-성능기반형 재료설계: 콘크리트로 재활용할 경우의 <b>재료설계 시스템(프로그램화)</b></li> </ul> |
| 당해 기술연구(TRL-2) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                | <p>◆선행연구/기술/특허 등에 대한 조사분석</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-기존 연구의 문제점/한계점에 대한 분석</li> <li>-산업부산물 기반의 표면개질 연구</li> </ul> <p>◆표면개질 이론 정립 및 매커니즘 규명(특허 및 논문)</p> <p>◆습식 순환골재 생산 공정에서의 반응촉진 매커니즘 제시</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

2) 최종목표의 성격 및 설정근거

| 주요 연구분야                                       | 최종성과물                                                                                                                                    |          | 기술 성격                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 목표<br>설정 근거                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>환경영향저감</b><br>1.pH저감<br>2.오염수 처리           | <b>① pH8이하 저감기술 (특허, 논문)</b><br>-기존: 골재중심 산(황산, 염산)처리<br>-제안: 산업부산물(이온교환수지, 규불화수소산), 탄산수 적용을 통한 저비용 기술개발,                                |          | 이론적 아이디어<br>공정개발                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>순환골재와 pH저감과 관련한 다년간 연구수행 경험(R&amp;D, SCI급 논문, 특허)보유</li> <li>국내외 전문가에 의한 검증가능</li> </ul> |
|                                               | <b>② 오염수처리 (특허)</b><br>-기존: 타 분야 폐기물 정화<br>-제안: 습식처리 회수수 슬러지 고형화 및 2차 재활용기술                                                              |          | 기술제안                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 |
| <b>자원순환기술</b><br>1.표면개질<br>2.흡수율 저감<br>3.재자원화 | <b>① 표면개질/ 흡수율 저감(특허, 논문)</b><br>-기존: CO2를 주입한 탄산화<br>-제안: 산(규불화수소산) 처리, 탄산화 원리 활용 습식처리 회수수, 표면개질 메커니즘 규명 및 실용화기술 개발<br>-저비용 고효율 공정기술 개발 |          | 이론적 아이디어<br>공정개발                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>표면개질, 재자원화 기술에 관련한 연구수행 경험과 관련 특허보유</li> </ul>                                           |
|                                               | <b>② 재자원화 (논문)</b><br>-제안: 개질골재를 적용한 콘크리트 성능평가, 고형슬러지의 활용가능성 검토                                                                          |          | 기술제안                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 |
| <b>자원활용기술</b><br>1.성능기반형<br>재료설계시스템           | <b>① 재료설계 시스템 (프로그램)</b><br>-기존: 실험중심 중심, LCCO2평가<br>-제안: 개질재료(순환골재), 재자원화 재료를 사용한 배합설계<br>-최적화 연구: 성능기반형 설계시스템                          |          | 기술평가<br>S/W개발                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>관련된 다수의 연구(R&amp;D, SCI급 논문, 특허)경험 보유</li> <li>국내외 전문가에 의한 검증</li> <li>산학네트워크</li> </ul> |
| 최종성과물                                         | 기술성숙도                                                                                                                                    |          | 설정근거                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                 |
|                                               | 유형                                                                                                                                       | 단계       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                 |
| 순환골재<br>pH저감 및<br>오염 회수수<br>처리                | 재료<br>소재                                                                                                                                 | TR<br>L2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>본 연구에서 수행할 순환골재를 대상으로 pH저감 및 회수수 슬러지 재활용 기술은 해당 매커니즘과 개념에 대한 이론적 확립을 수행하고, 이를 증명하기 위한 실험을 병행한 기술에 대한 기초기술을 확보하는 단계임.</li> <li>문헌적인 결과(논문) 도출과 함께 기술의 구현(장치/공정)을 위한 특허출원을 목표로 함.</li> </ul>                                                                                                    |                                                                                                                                 |
| 표면개질 및<br>흡수율저감<br>기술개발                       | 재료<br>소재                                                                                                                                 | TR<br>L3 | <ul style="list-style-type: none"> <li>기존 기술의 범위 한계성을 명확히 분석하고, 저비용고효율의 실용화 기술 개발을 목표로 함.</li> <li>그에 따라, 신개념(개질매체, 촉진기법)을 도입하고 실험적인 증명을 통해 해당 기술에 대한 기초기술을 확보하는 단계임.</li> <li>또한, 기존 기술이 최종적으로 환경/건설 신기술과 같은 실용화 단계로 구현된 점에 비추어 볼 때, 본 연구에서 개발하고자 하는 기술도 문헌연구의 수준(논문)을 포함하여 실용화 원천기술(특허)로 구현될 수 있도록 실험적 연구를 수행함.</li> </ul>         |                                                                                                                                 |
| 콘크리트<br>재료로<br>재활용을<br>위한<br>재료설계<br>시스템      | 재료<br>소재                                                                                                                                 | TR<br>L2 | <ul style="list-style-type: none"> <li>재료설계기법은 대상 재료별 관련 연구개발이 활발하게 진행되고 있으나, 시스템화에 의한 평가는 전반적으로 부족한 실정임.</li> <li>한편, 콘크리트계 폐기물과 관련한 연구는 순환골재를 중심으로 실험/해석을 통한 개별성능(특성)에 관한 정립이 주를 이루고 있음.</li> <li>본 연구에서는 순환골재에 대한 이론/실험/성능모델을 실험실 환경에서 확보하고 해석적 연구를 통한 모델링을 수행하고, 이를 적용한 성능기반최적설계를 구축하고 이를 시뮬레이션할 수 있는 시스템(프로그램)개발을 포함</li> </ul> |                                                                                                                                 |

나. 연차별 연구목표 및 내용

1) 연구목표 및 내용 (총괄로 작성)

| 연차   | 연구목표                                                                                                                                      | 주요연구내용                                                                                                                                                                                                                              |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차년도 | 1. 순환골재 표면개질: 매커니즘 규명<br>2. 습식 반응 촉진기술: 매커니즘 규명<br>3. 2차 오염수 및 슬러지 재사용기술: 이온교환수지 선정<br>4. 순환골재 콘크리트 최적설계: 성능모델 제안                         | 1. (이론적 연구/실험 및 검증) 기존연구 조사/분석, 산업부산물 선정 및 표면개질 매커니즘 규명<br>2. (이론적 연구/실험 및 검증) 습식 반응매체 선정 및 계면 반응 활성화 매커니즘, 나노버블 및 초음파 진동원리 적용성<br>3. (이론적 연구) 기존 폐기물 정화기술, 이온교환수지 활용성 검토<br>4. (이론적 연구) 개질골재의 콘크리트 물성영향 연구, 유전알고리즘의 적용을 위한 성능모델 제안 |
| 2차년도 | 1. 순환골재 표면개질: 최적 프로세스 및 경제성 분석<br>2. 습식 반응 촉진기술: 최적 반응 프로세스<br>3. 2차 오염수 및 슬러지 재사용기술: 최적 안정화 프로세스 및 슬러지 확대적용<br>4. 순환골재 콘크리트 최적설계: 성능기반설계 | 1. (실험 및 검증) 습식기반 처리공정을 고려한 최적 프로세스, 슬러지, 미분말 확대 적용성 검토<br>2. (이론적 연구) 미분말-잔골재-굵은골재별 촉진매커니즘 확대검토<br>3. (실험 및 검증) 이온교환 수지 및 오염수 처리 매커니즘, 모르타르 슬러지의 재활용 방안<br>4. (프로그램 및 실험검증) (성능기반형)재료설계 시스템 구축                                     |

다. 연구개발 핵심성과(최소성과 목표 포함)

본 연구를 통해 도출되는 최종성과는 아래와 같이 요약됨

1. 산업부산물 기반 고효율의 순환골재 표면개질기술-SCI급 논문 2, 특허 1
2. 반응촉진, 오염수 처리 및 부착모르타르 슬러지 안정화기술-SCI급 논문1, 특허1
3. 개질된 순환골재 및 슬러지를 사용한 2차 콘크리트 최적 성능설계-프로그램
4. 기술 실용화(습식 순환골재 처리기술)를 위한 매뉴얼(공법) 구성

| 성과지표                  | 점수   | 1차년도 | 2차년도 | 계<br>(건) | 계<br>(점) |
|-----------------------|------|------|------|----------|----------|
| 일반학술지 게재              | 1점   |      |      |          |          |
| SCI(E)급 학술지 게재        | 2점   | 1편   | 2편   | 3편       | 6        |
| 특허출원                  | 1점   | 1건   | 1건   | 2건       | 2        |
| 특허등록                  | 2점   |      | 1건   | 1건       | 2        |
| 기타(소프트웨어, 실용신안 디자인 등) | 1~2점 | 1건   | 1건   | 2건       | 2        |
| 합계(점)                 |      | 4점   | 8점   | 8건       | 12       |

1) 성과 리스트

| 연번 | 핵심성과물              | 성과유형  | 해당과제                                                                                                                                                                                                                           |
|----|--------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 순환골재 표면개질 기술       | 재료·자재 | <ul style="list-style-type: none"> <li>정의: pH와 흡수율 동시저감 표면개질</li> <li>목적: 기존 습식(산처리/탄산화) 및 건식(드라이아이스, 고농도 CO<sub>2</sub>)방식의 기술대비 경제성 확보</li> <li>산업부산물(규불화수소산)의 적용 및 표면개질 매커니즘 규명</li> <li>pH8, 흡수율 5%이하 순환골재 표면개질</li> </ul> |
| 2  | 반응촉진 기술            | 재료·자재 | <ul style="list-style-type: none"> <li>정의: (나노)버블과 초음파진동을 적용한 화학적 반응촉진 기술의 규명</li> <li>목적: 습식처리공정 내 반응 효율성을 확보</li> <li>기존기술 공정대비 20%이상 단축</li> </ul>                                                                          |
| 3  | 2차오염수 및 슬러지 재사용 기술 | 재료·자재 | <ul style="list-style-type: none"> <li>정의: 습식과정 발생오염수 처리 및 부착모르타르 혼입 슬러지의 안정화 및 재사용</li> <li>산업부산물(이온교환수지)의 적용성 검토</li> <li>pH8이하 안정화, 유해물질 기준이하</li> <li>안정화 된 슬러지가 적용된 콘크리트</li> </ul>                                       |
| 4  | 순환골재 콘크리트 최적 설계    | 재료·자재 | <ul style="list-style-type: none"> <li>개질된 순환골재 및 고품슬러지의 콘크리트 적용 가능성 검토</li> <li>순환골재콘크리트의 성능설계 프로그램</li> </ul>                                                                                                                |

| 성과유형  | 정 의                                                                      | 예 시            |
|-------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 공법·기법 | - 기존에 존재하였거나 활용되었던 장비, 장치, 재료, 자재 등으로 새로운 제작물이나 제작 및 시공 방법 등을 제시         | 시공방법, 설계기법 등   |
| 재료·자재 | - 효율성, 경제성, 적합성 등으로 기존의 원료 및 재료를 대체할 수 있는 새로운 대안을 제시                     | 강, 콘크리트 등      |
| 소프트웨어 | - 스프레드시트 템플릿, 워드프로세서 매크로, 그래픽/애니메이션 스크립트 등과 같이 특화된 요구를 충족시키는 s/w를 개발     | 설계프로그램, DB 등   |
| 장비·장치 | - 기존의 장비/장치, 설비, 도구 등을 대체하거나 발전시킬 수 있는 새로운 구조, 작동원리, 알고리즘 등을 적용한 대체물을 제시 | 기계, 로봇, 부품 등   |
| 시스템   | - 다양한 장치와 소프트웨어 등이 결합하여 일체로 활용되는 하나의 통일적 전체를 구성하는 대상들의 집합으로 운영되는 체계를 제시  | 공조, 제어 등 시스템   |
| 정책·제도 | - 각종 법령, 건설공사 기준, 지침, 제도개선 방안                                            | 법령, 지침, 시공기준 등 |
| 기타    | - 위의 6가지 유형에 해당하지 않는 경우로서 별도로 성과유형명 작성                                   | -              |

## 2) 핵심성과물별 세부 설명

### (1) 성과명

|                       |                                                                                                                                                                                                  |                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 정의                    | 핵심성과명1-순환골재 표면개질 기술                                                                                                                                                                              |                  |
| 목적                    | ○ 1차년도: 선행연구 분석, 순환골재 표면개질 매커니즘 규명<br>○ 2차년도: 최적 프로세스(반응비, 공정 등), 개발 기술의 경제성 및 확대방안 분석                                                                                                           |                  |
| 성능목표                  | (기존기술 수준): 탄산화 및 산처리 기반<br>(개발기술 수준): 산업부산물 기반 표면개질 및 흡수율 5%이하 달성<br>-표면개질 매커니즘(논문/특허/매뉴얼)                                                                                                       |                  |
| 성과달성<br>책임자<br>(소속기관) | 박원준(강원대학교 삼척캠퍼스)                                                                                                                                                                                 |                  |
| 소요기간                  | '15.06 ~'15.05(2년)                                                                                                                                                                               |                  |
| 성과달성<br>확인방법          | ▪ SCI급논문 : <a href="http://www.scopus.com/home.url">http://www.scopus.com/home.url</a><br>▪ 특허출원/등록: <a href="http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp">http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp</a> |                  |
| 성과달성에<br>따른 정량적<br>성과 | 특허 출원/등록                                                                                                                                                                                         | 국내 : 1건, 국외 : 0건 |
|                       | 논문                                                                                                                                                                                               | 국내 : 0건, 국외 : 1건 |
|                       | 저작                                                                                                                                                                                               | 0건               |
|                       | S/W                                                                                                                                                                                              | 0건               |
|                       | 신기술                                                                                                                                                                                              | 0건               |
|                       | 기타                                                                                                                                                                                               | 1건 (공정 매뉴얼)      |

### (2) 성과명

|                       |                                                                                                                                                                                                  |                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 정의                    | 핵심성과명2-반응촉진 기술                                                                                                                                                                                   |                  |
| 목적                    | ○ 1차년도: 선행연구 분석, 반응촉진 기술의 원리 규명<br>○ 2차년도: 최적 반응 프로세스, 반응촉진 효율성 및 경제성분석                                                                                                                          |                  |
| 성능목표                  | (기존기술 수준): 건식/습식 반응 촉진(고농도 CO2)<br>(개발기술 수준): 산업부산물 기반, 나노버블 및 초음파진동 촉진기술<br>-촉진반응 매커니즘(논문/특허)                                                                                                   |                  |
| 성과달성<br>책임자<br>(소속기관) | 박원준(강원대학교 삼척캠퍼스)                                                                                                                                                                                 |                  |
| 소요기간                  | '15.06 ~'15.05(2년)                                                                                                                                                                               |                  |
| 성과달성<br>확인방법          | ▪ SCI급논문 : <a href="http://www.scopus.com/home.url">http://www.scopus.com/home.url</a><br>▪ 특허출원/등록: <a href="http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp">http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp</a> |                  |
| 성과달성에<br>따른 정량적<br>성과 | 특허 출원/등록                                                                                                                                                                                         | 국내 : 1건, 국외 : 0건 |
|                       | 논문                                                                                                                                                                                               | 국내 : 0건, 국외 : 1건 |
|                       | 저작                                                                                                                                                                                               | 0건               |
|                       | S/W                                                                                                                                                                                              | 0건               |
|                       | 신기술                                                                                                                                                                                              | 0건               |
|                       | 기타                                                                                                                                                                                               | 0건 (공정 매뉴얼)      |

(2) 성과명

|                       |                                                                                                        |                  |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 정의                    | 핵심성과명3-2차오염수 및 슬러지 재사용 기술                                                                              |                  |
| 목적                    | ○ 1차년도: 선행연구 조사분석 및 이온교환수지 선정 및 실험적 검토<br>○ 2차년도: 오염수 최적 안정화 프로세스, 슬러지 적용 콘크리트                         |                  |
| 성능목표                  | (기존기술 수준): 타 산업분야 폐기물 정화기술, 레미콘 회수수<br>(개발기술 수준): 2차 알칼리 오염수, 유해물질 선별에 이온교환수지 활용가능성 검토와 최적 선별기술 제안     |                  |
| 성과달성<br>책임자<br>(소속기관) | 박원준(강원대학교 삼척캠퍼스)                                                                                       |                  |
| 소요기간                  | '15.06 ~ '15.05(2년)                                                                                    |                  |
| 성과달성<br>확인방법          | ▪ 특허출원/등록: <a href="http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp">http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp</a> |                  |
| 성과달성에<br>따른 정량적<br>성과 | 특허 출원/등록                                                                                               | 국내 : 1건, 국외 : 0건 |
|                       | 논문                                                                                                     | 국내 : 0건, 국외 : 0건 |
|                       | 저작                                                                                                     | 0건               |
|                       | S/W                                                                                                    | 0건               |
|                       | 신기술                                                                                                    | 0건               |
|                       | 기타                                                                                                     | 0건 (공정 매뉴얼)      |

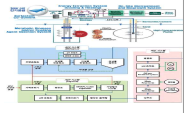
(2) 성과명

|                       |                                                                                                                                                                                              |                  |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 정의                    | 핵심성과명4-순환골재 콘크리트 최적설계                                                                                                                                                                        |                  |
| 목적                    | ○ 1차년도: 선행연구 조사분석<br>○ 2차년도: 개질된 순환골재와 모르타르 슬러지를 사용한 콘크리트의 성능기반설계                                                                                                                            |                  |
| 성능목표                  | (기존기술 수준): 산업부산물, 순환골재 활용 콘크리트(실험적 성격)<br>성능기반 최적설계(고강도, 순환자원 기반 콘크리트)<br>(개발기술 수준): 개질된 순환골재를 사용한 콘크리트 최적 성능설계<br>-개질 골재의 콘크리트용 골재로서의 적용성 검증을 위한 성능설계<br>-개질 골재의 메커니즘에 기반한 물성모델제안과 설계시스템 구축 |                  |
| 성과달성<br>책임자<br>(소속기관) | 박원준(강원대학교 삼척캠퍼스)                                                                                                                                                                             |                  |
| 소요기간                  | '15.06 ~ '15.05(2년)                                                                                                                                                                          |                  |
| 성과달성<br>확인방법          | ▪ SCI급논문 : <a href="http://www.scopus.com/home.url">http://www.scopus.com/home.url</a><br>▪ 프로그램 등록: <a href="http://www.copyright.or.kr/main.do">http://www.copyright.or.kr/main.do</a>     |                  |
| 성과달성에<br>따른 정량적<br>성과 | 특허 출원/등록                                                                                                                                                                                     | 국내 : 0건, 국외 : 0건 |
|                       | 논문                                                                                                                                                                                           | 국내 : 0건, 국외 : 1건 |
|                       | 저작                                                                                                                                                                                           | 0건               |
|                       | S/W                                                                                                                                                                                          | 1건               |
|                       | 신기술                                                                                                                                                                                          | 0건               |
|                       | 기타                                                                                                                                                                                           | 0건 (공정 매뉴얼)      |

## 2. 연구개발의 필요성

### 가. 연구개발과제의 설명

- ☐ (국가정책) 과학기술기본계획과 중점융합기술에 건설폐기물 처리/재활용 요구
- 오염물질제어 및 처리기술, 유용폐자원 재활용기술의 중요성 부각

| Hi-PASS<br>20<br>중점기술명                                                                                                               | 개념                                                                                                      | '12 수준                    | 본 연구와의 관련<br>세부내용                                                                              | 기대효과                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                      |                                                                                                         | '18 목표                    | 핵심연구목표                                                                                         |                                                                                         |
| <b>오염물질제어<br/>및 처리기술</b><br><br><br><b>NT+BT+IT</b> | <input checked="" type="checkbox"/> 토양, 대기,<br>수자원내 위해성<br>저감을 위한<br>집진·정화 기술 및<br>오염<br>예방·대응·복원<br>기술 | 73.9%<br>(최고기술수<br>준: 미국) | <ul style="list-style-type: none"> <li>알칼리 침출로<br/>인한 수질 및<br/>토양오염 방지</li> </ul>              | <input checked="" type="checkbox"/> 폐기물 배출<br>최소화 및<br>폐자원 활용<br>공정개발로<br>제한된<br>원자재 절약 |
|                                                                                                                                      |                                                                                                         | 80%                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>pH저감기술</li> <li>2차 오염수 처리</li> </ul>                    |                                                                                         |
| <b>유용 폐자원<br/>재활용기술</b><br><br><br><b>NT+BT</b>   | <input checked="" type="checkbox"/> 고부가가치<br>유용자원을<br>재활용하여 자원<br>순환률 제고 및<br>국가자원 확보에<br>기여하는 기술       | 84.1%<br>(최고기술수<br>준: 일본) | <ul style="list-style-type: none"> <li>순환골재의 적극<br/>활용</li> <li>순환골재 개질과<br/>품질 안정성</li> </ul> | <input checked="" type="checkbox"/> 자원순환촉진<br>·적정처리를<br>통한<br>지역단위<br>자원순환체계<br>구축      |
|                                                                                                                                      |                                                                                                         | 90%                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>표면개질 및<br/>흡수율 저감기술</li> <li>재료설계기술</li> </ul>          |                                                                                         |

- ☐ (건설산업) 지속적 건설폐기물의 재활용 촉진의 요구에 대응 필요성

- 건설폐기물 처리 및 재활용의 중요성에 대한 사회 및 정책적 연구가 중요.
- 건설폐기물의 70%이상을 차지하는 콘크리트계 폐기물의 자원순환이 중요

- ☐ 콘크리트계 폐기물의 재활용에 대한 사회환경적 요구에 대응 필요성

- 노반재 수요의 한계와 향후 발생 폐콘크리트 폐기물 처리의 문제성
- 재자원화에서의 환경성능(토양 및 수질오염) 향상이 요구

- ☐ 콘크리트계 폐기물 자원순환 기술 향상요구에 에 대응 필요성

- 기존의 기술은 기계적인 순환골재 생산 및 품질향상에 초점
- 생애주기 관점에서 발생하는 미분말, 순환골재, 골재처리수, 레미콘 슬러지, 회수수를 대상으로 사용용도를 고려한 자원순환 기술개발이 필요함

나. 연구개발의 중요성

- 정부는 제3차 과학기술기본계획, ‘창조경제 실현계획’, ‘제1차 산업융합 발전 기본계획’, ‘국가 특허전략 청사진 구축사업-산업융합 분야’을 종합·분석하여 5대 미래상 설정
- 5대 미래상: ①고부가가치 스마트기술, ②성장주도 융합기술, ③건강한 삶, ④ 지속가능한 청정 생활환경, ⑤걱정없는 안전사회
- 이 가운데, 지속가능한 청정생활환경구현은 사회적 가치 실현 융합기술로서 이를 위한 16.오염물질 제어 및 처리기술과 18.폐자원 재활용 기술을 제안

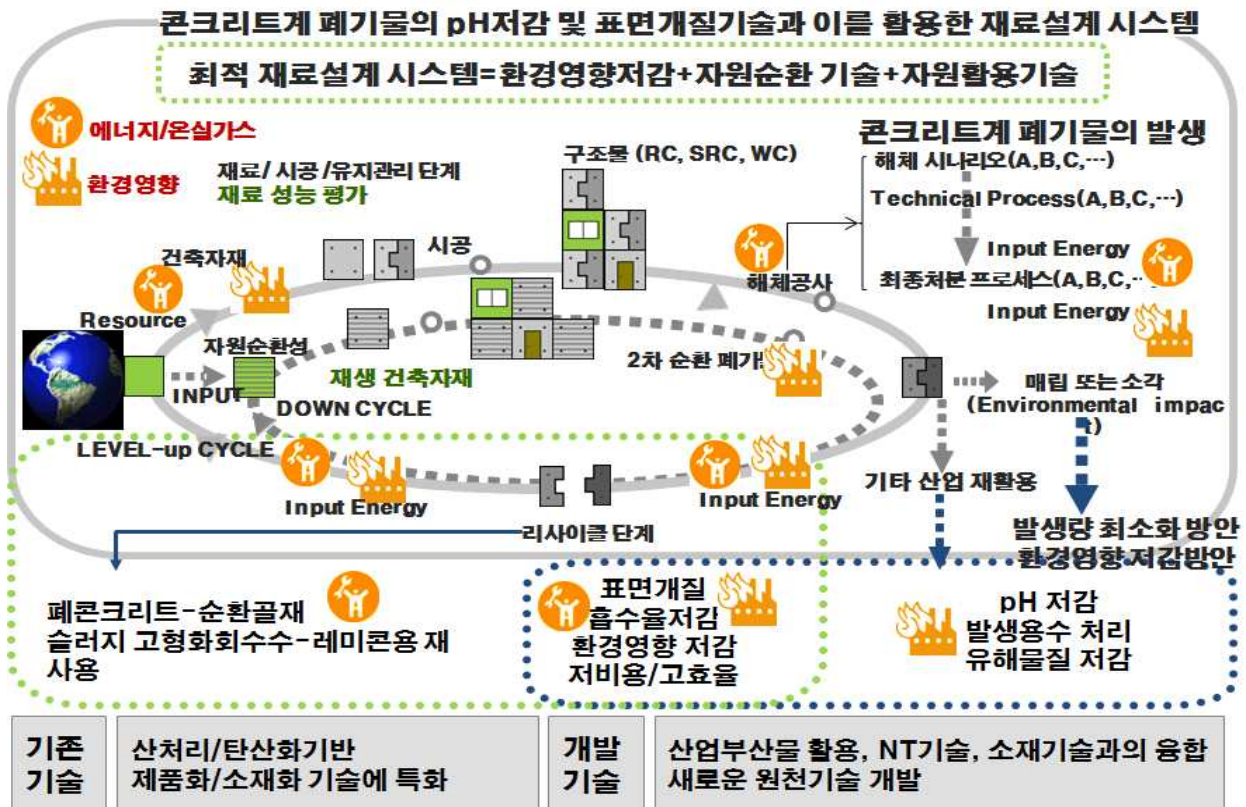


그림 1. 본 연구의 개요 및 연구범위

□ 본 연구의 필요성

1. 콘크리트 폐기물의 증가에 따른 순환골재의 고부가 재활용에 대응
2. 기존 처리기술(산처리, 중성화)의 문제점 극복(고비용, 2차오염수처리)
3. 콘크리트용으로 사용하기 위한 순환골재 해결과제 (흡수율 저감)에 대응
4. 도로용/기층용으로 대부분 사용되는 순환골재의 알칼리 침출에 의한 환경오염저감에 대응
5. 개질된 순환골재를 사용한 콘크리트 배합설계 시스템개발을 통한 대응

### 국내연구현황-pH 및 흡수율 저감 측면

- pH저감을 고려한 연구는 순환골재에 중점을 두었으나, 산처리, 드라이아이스, 고농도 급속탄산화 등에 기반한 연구가 대부분이며, 효과는 확인 되었으나 실용화 측면(효율성, 경제성)에서 활용도가 낮음.
- 산처리의 경우는 효과는 탁월하나 경제성이 떨어지며, 산처리 후 발생한 2차오염수 문제와 같은 2차 문제가 발생됨. CO2기반 연구는 효율성 측면에서 활용도가 매우 낮으며, 건식기반이라는 점에서 효과발현이 불분명함. 표면개질 및 흡수율 저감에 관한 연구는 가장 활발한 분야이나, CO2기반 연구가 대부분이며, 그 외의 표면개질은 코팅 개념의 간접방법으로서 활용도가 낮음.
- (습식 순환골재 생산에서 발생) 2차 오염수 처리/정화에 대한 연구는 매우 부족하며, 습식 생산과정에서 발생하는 고알칼리성 미분은 건식공정에서 발생한 것과 달리, 레미콘 슬러지와 동일하게 2차 재활용 문제가 필요함.

### 국외연구현황-골재활용 측면

#### ■ 유럽 및 구미의 콘크리트계 폐기물 활용연구 및 현황

- 재활용률이 높고 도로포장에서 실구조체 적용과 같은 연구를 진행하고 있음.
- [영국]건설폐기물 발생량의 50%이상을 각종 구조물에 재활용되는 등 고부가가치 사용량이 급증하는 추세임. 또한 30~40%를 차지한 폐벽돌은 골재로서 재활용됨.
- [미국]폐콘크리트 재활용에 관한 연구는 골재 운반비용 절감, 고형폐기물 배출 및 처리 문제 해소, 건설단가의 저감이 가능하다는 관점에서 시작되어 주로 포장도로에 활용하는 연구로 진행됨
- [일본]2014. 10월 순환골재를 사용한 콘크리트의 설계·제조·시공지침(안) 발표

#### ■ 유럽의 건설폐기물 관리지침 (콘크리트계 폐기물의 경우)

- 광물성 폐기물의 가치화를 위한 필요사항 발표: 시험항목을 검사하고 기준치와 비교 후 용도를 결정함. (Z-0에서 Z-5까지 6개 등급으로 분류)
- Z-2: 재생골재로 사용할 경우, 함유된 유해물질이 지하나 지하수로 유입방지.

#### ■ 본 연구의 위치

- ✓ 기존의 연구는 생산된 순환자원(골재 등)의 제품화(콘크리트 등)에 초점을 두었으나, 본 연구에서는 다양한 사용(재활용, 제품화, 매립/처분)을 고려한 기술개발에 초점
- ✓ 기존의 연구는 실용화 측면(효율성, 경제성)에서 순환골재에 초점을 두었으나, 본 연구에서는 pH저감, 표면개질, 흡수율 저감, 오염수처리, 콘크리트용 성능기반설계를 고려함.
- ✓ 본 연구에서의 ①건설재료로서 활용을 위한 기술(표면개질), ②기타 용도로 활용과 환경영향을 고려한 기술(pH저감, 유해물질 선별), ③2차 발생물(처리용수, 회수수)에 대한 처리 기술, ④건설재료로 활용할 수 있는 기술(재료설계) 개발은 매우 중요할 것으로 판단함.

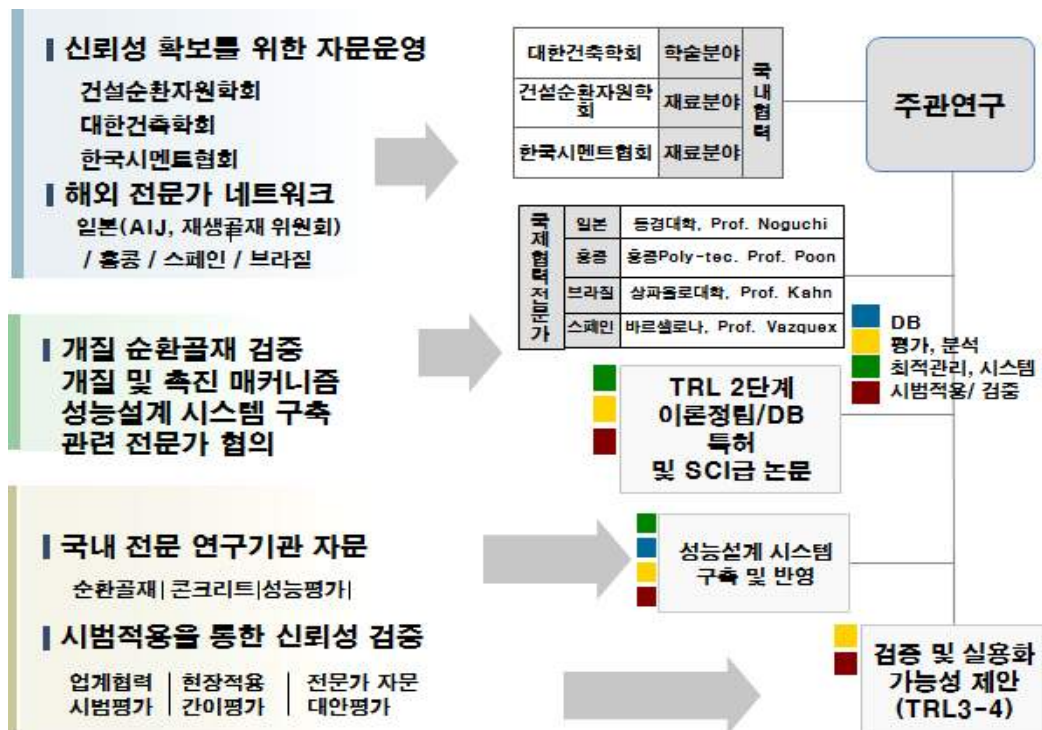
다. 연구개발 단계(TRL에 근거하여 기술)

- 순환골재에 관한 연구는 국내외적으로 실용화 및 적용단계에 이르기까지 매우 활발한 연구 개발이 진행되고 있음.
- 하지만, 생산기술 및 콘크리트 적용(구조/비구조 제품)에 초점
- pH 및 흡수율 저감을 목표로 순환골재 자체를 개질하는 연구는 기초단계임
- 또한, 표면개질 연구는 산처리/탄산화에 기반한 연구가 대다수임.
- 본 연구에서 제안하는 산업부산물 기반 표면개질은 새로운 개념으로 표면개질에 적용하는 단계로서 매커니즘 규명과 화학반응의 촉진, 개질된 순환골재의 적용성 검토를 수행.
- 기술적 응용개념 및 아이디어의 형성과 규명(제안)을 위한 실험적 연구의 설계로 발전될 단계로 사료됨에 따라 TRL 2단계(개념정립)에 머물고 있는 기술 수준을 TRL3-4단계(실험적 증명)까지 제시하는 것을 목표로 함.

| 구분      |       | 표기                       | 단계별 설명       |                  |
|---------|-------|--------------------------|--------------|------------------|
| 기초연구 단계 | TRL 1 | <input type="checkbox"/> | <b>TRL 1</b> | 이론적 연구단계         |
|         | TRL 2 | ✓                        | <b>TRL 2</b> | 기술적 개념정립 단계      |
| 실험 단계   | TRL 3 | <input type="checkbox"/> | <b>TRL 3</b> | 실험적 증명 단계        |
|         | TRL 4 | <input type="checkbox"/> | <b>TRL 4</b> | 실험실 성능평가 단계      |
| 시작품 단계  | TRL 5 | <input type="checkbox"/> | <b>TRL 5</b> | 유사환경 시험 단계       |
|         | TRL 6 | <input type="checkbox"/> | <b>TRL 6</b> | 유사환경 기술시험 단계     |
| 실용화 단계  | TRL 7 | <input type="checkbox"/> | <b>TRL 7</b> | 실제환경 시작품 데모 단계   |
|         | TRL 8 | <input type="checkbox"/> | <b>TRL 8</b> | 시제품 설치 및 성능시험 단계 |
| 사업화 단계  | TRL 9 | <input type="checkbox"/> | <b>TRL 9</b> | 현장적용/사업화 단계      |

라. 타산업 연계 및 국제협력 가능성

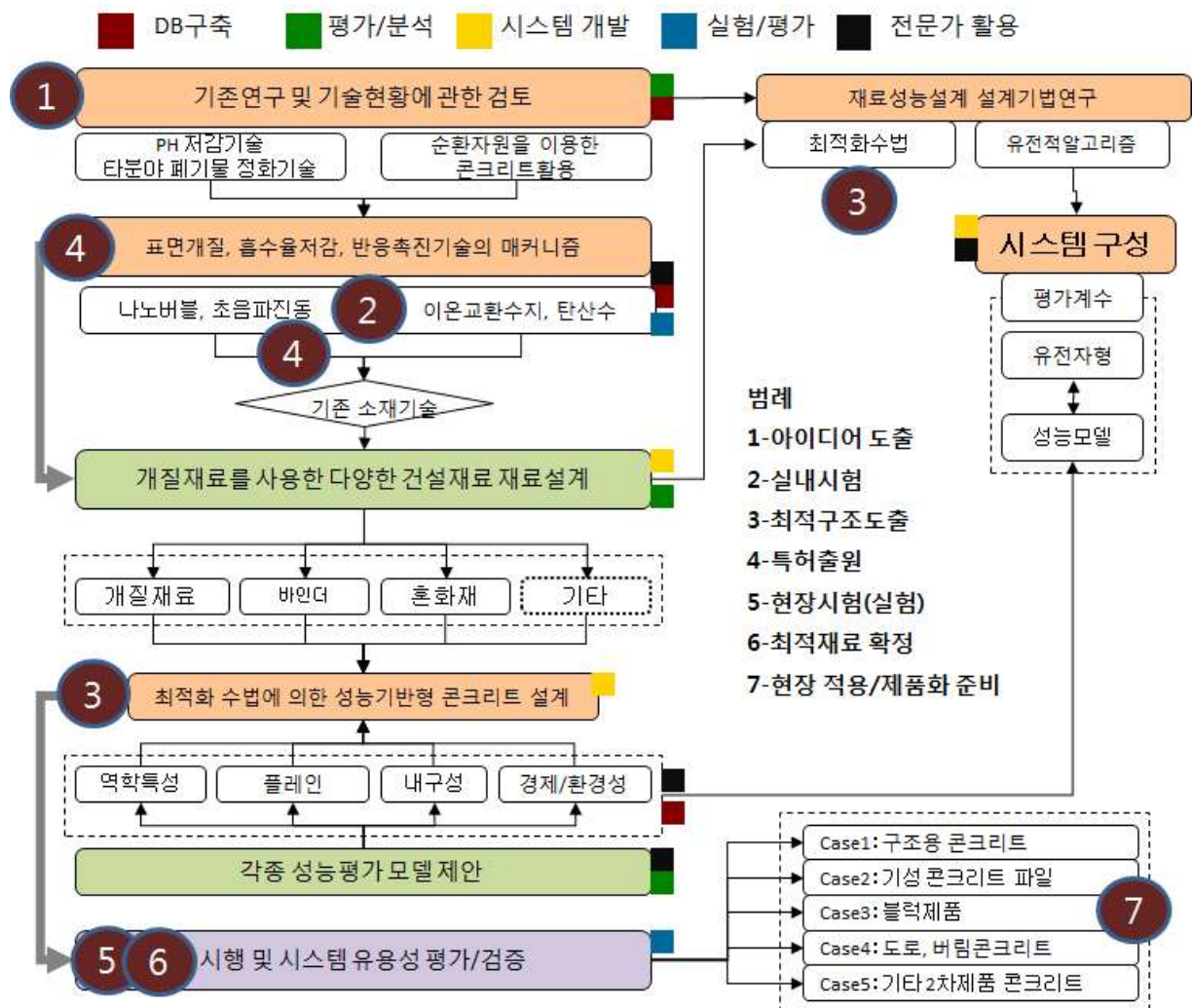
- 본 연구과제는 TRL 2단계로서 새로운 개념의 순환골재 표면개질 기술을 개발 및 콘크리트 적용검토를 수행
- 이에 따른 타산업 연계 및 국제협력 가능성을 아래와 같이 정리함.
- 순환골재 활용면: 국내 관련 학회
- 순환골재 표면개질: 국외 콘크리트 폐기물 리사이클링 전문가와의 연구네트워크
  - 일본: (순환골재를 사용한 콘크리트의 설계·제조·시공지침(안)-일본건축학회
  - 기타: 순환골재 관련 해외 연구자
- 순환골재 콘크리트 시범적용 및 개질 순환골재의 적용성 평가
- 타산업 연계: 본 과제 수행 후 개발된 기술의 연계 및 적용 가능성
  - 국내 순환골재 생산업체
  - 레미콘사 및 PC 등 콘크리트 2차 제품 제조사
- 이론 및 특허 기반의 기술 적용 가능성 검토



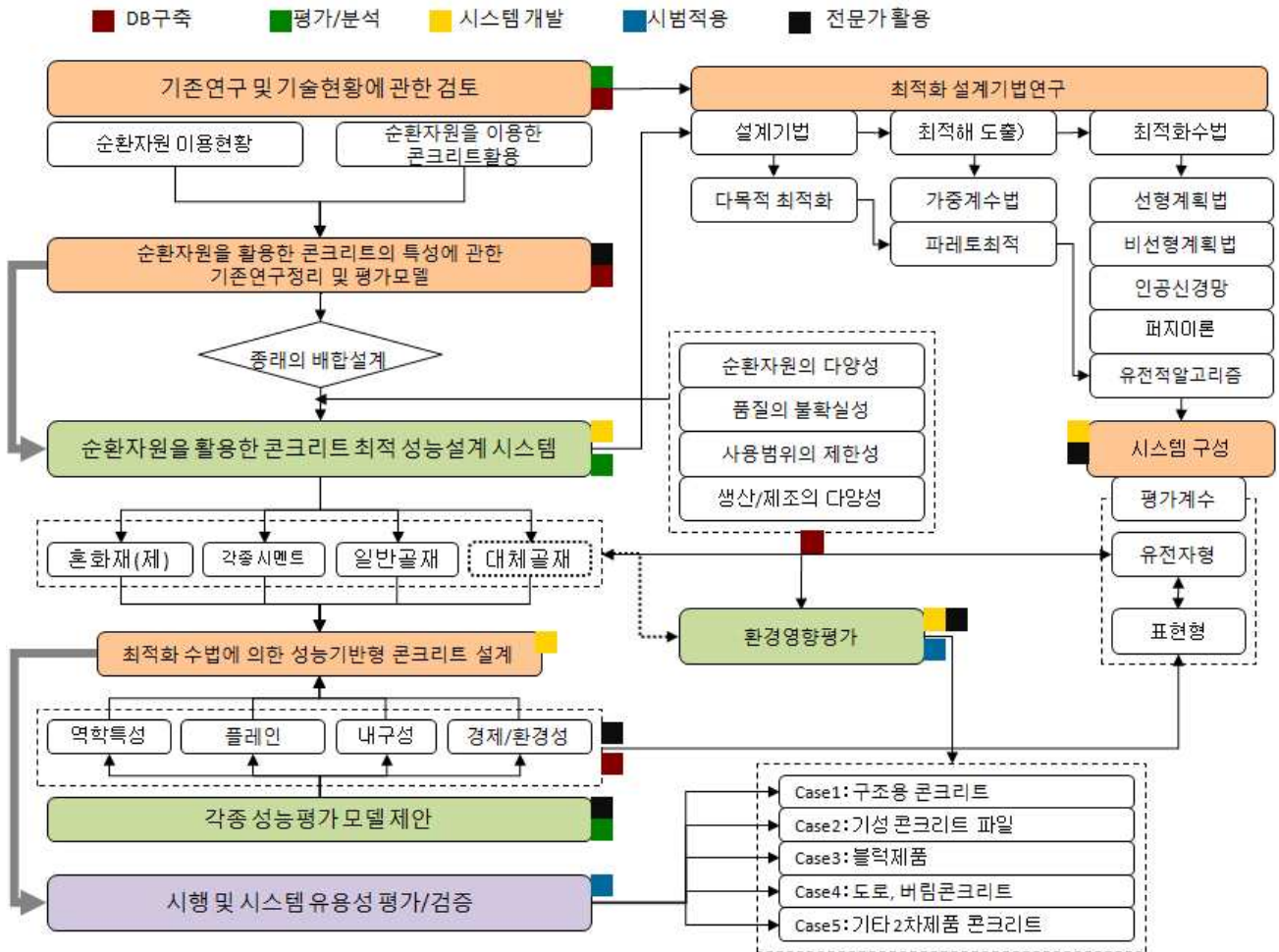
국제협력 네트워크 및 국내학회 활용

### 3. 연구개발 범위

#### 가. 연구개발 흐름도



연차별 연구개요



콘크리트 최적성능기반 시스템(S/W)개발 연구흐름도.  
(연구개발 흐름도-3번 항목에 해당함)

#### 개발된 순환골재 콘크리트 적용기술(S/W, 최적 성능설계)개발 세부계획

| 연 차  | 세부연구목표               | 주요 연구내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차년도 | 콘크리트 재료설계 최적화 (기반구축) | <ul style="list-style-type: none"> <li>최적화 설계기법 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 유전알고리즘, 인공지능 신경회로망 등</li> </ul> </li> <li>콘크리트 최적 배합설계 기법               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 기존 연구사례/분석 및 적용방안</li> </ul> </li> <li>순환골재로 확대 적용한 콘크리트 배합설계 시스템 개발 방안 수립               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 국내외 순환골재 콘크리트 문헌조사</li> <li>② 재료 물성모델 제안/검증                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- 표면개질 순환골재 품질 및 치환률에 따른 평가</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> |
|      | 성능기반설계 시스템 개발 (기반구축) | <ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 구성(안) 수립               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 기개발 시스템(본 제안자 개발) 검증</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

| 연 차      | 세부연구목표                                            | 주요 연구내용                                                                                                                                                                                                                       |
|----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2차년<br>도 | 개질된<br>순환골재를<br>이용한<br>콘크리트<br>설계 최적화<br>(확대적용연구) | <ul style="list-style-type: none"> <li>최적화 시스템 반영 개질 순환골재 평가모델제안/검증</li> </ul>                                                                                                                                                |
|          | 성능기반설계<br>시스템<br>개발(S/W개발)                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>기개발 시스템(본 제안자 개발)의 업그레이드</li> <li>재료설계 S/W개발</li> </ul>                                                                                                                                |
|          | 통합설계<br>시스템 개발<br>(평가/검증)                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>재료설계 시스템 검증               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 수요자 중심의 검증실험 및 평가 (콘크리트 및 2차 콘크리트 제품 생산자)</li> <li>② 시스템 요구사항 검토 및 반영</li> </ul> </li> <li>설계 프로그램 개발/검증</li> </ul> |

File(F) Edit(E) View(V) Option Help(H)

mixGA ver.3.0.1 copyright©BME, Univ. of Tokyo

Cycle (20-2000)  evolution!

Mutation Rate (0-0.5)  Show Result

Population/2 (50-500)  Show Convergence

Input Criteria

|                                 |                                     |                             |                            |                                   |                      |
|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| Slump                           | <input type="text" value="18"/>     | (cm)                        | Final setting              | <input type="text" value="8"/>    | (hour)               |
| Strength (20-60)                | <input type="text" value="30"/>     | (MPa)                       | Plastic viscosity          | <input type="text" value="1"/>    | (Pa-s)               |
| Carbonation speed coefficient   | <input type="text" value="0.27"/>   | (cm/(year <sup>0.5</sup> )) | Yiels value                | <input type="text" value="300"/>  | (Pa)                 |
| Chlorides diffusion coefficient | <input type="text" value="5e-007"/> | *E-6(cm <sup>2</sup> /year) | Insulated temperature rise | <input type="text" value="40"/>   | (K)                  |
| Durability Factor               | <input type="text" value="20"/>     | (-)                         | Cost (5000-2000)           | <input type="text" value="5000"/> | (Yen/Jap)            |
| Drying shrinkage                | <input type="text" value="0.0006"/> | (-)                         | CO2 (250-500)              | <input type="text" value="350"/>  | (kg/m <sup>3</sup> ) |
| Creep per load                  | <input type="text" value="3e-005"/> | (mm <sup>2</sup> /N)        | NOx                        | <input type="text" value="100"/>  | (g/m <sup>3</sup> )  |
| Specific-gravity                | <input type="text" value=""/>       | (t/m <sup>3</sup> )         | SOx                        | <input type="text" value="100"/>  | (g/m <sup>3</sup> )  |
| Young's modulus                 | <input type="text" value="24"/>     | (GPa)                       | Ash Dust                   | <input type="text" value="100"/>  | (g/m <sup>3</sup> )  |
| Initial setting                 | <input type="text" value="5"/>      | (hour)                      | Waste                      | <input type="text" value="100"/>  | (kg/m <sup>3</sup> ) |

ready

(콘크리트 성능기반 최적설계 예시)

실용화계획

| 세부 연구목표                                                                                                                               | 연구수행방법                                                                                                              |                                                                                                                     |                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                       | 기반연구                                                                                                                | 구축연구                                                                                                                | 검증/보완연구(실용화계획)                                                                                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>최적화 설계기법 연구</li> </ul>                                                                         | <p>다양한 최적화 설계 수법 연구를 통해 연구진행 방향 및 연계방안 도출</p> <p>-기존연구 보완</p>                                                       | <p>개발에 사용된 설계수법의 지속적인 검증/발전방안 도출</p> <p>-S/W 개발 및 검증에 대한 자문</p> <p>-알고리즘 분석</p>                                     |                                                                                                             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>콘크리트 최적 배합설계 기법</li> </ul>                                                                     | <p>국내외 자문</p> <p>-최적설계 전문가 자문 결정</p>                                                                                | <p>개발된 설계 시스템 검증</p> <p>-연구교류 및 자문</p>                                                                              | Case-Study를 통한 검증/보완                                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>순환골재로 확대 적용한 콘크리트 배합설계 시스템 개발 방안</li> </ul> <p>① 국내외 순환골재 콘크리트 문헌조사</p> <p>② 재료 물성모델 제안/검증</p> | <p>기개발(그림) 선행연구의 보완</p> <p>-국내 연구 중심의 평가모델개발</p> <p>-모델 검증 및 적용 검증/자문</p> <p>-개선된 평가모델의 검증/보완</p> <p>-산학협력체제 구축</p> | <p>시스템 적용을 통한 Case-Study</p> <p>-2차제품 적용방안</p> <p>-업체협력 현장적용 평가</p> <p>-업체 전문가 자문활용</p> <p>-Feedback / 시스템 발전방향</p> |                                                                                                             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>타분야 확대 적용방안</li> </ul>                                                                         |                                                                                                                     | <p>슬러지/회수수로의 확대적용방안</p> <p>-문헌조사/분석</p> <p>-평가모델개발</p> <p>-모델 검증 및 적용</p>                                           | <p>순환자원으로 확대된 시스템 적용을 통한 Case-Study</p> <p>-콘크리트에 대한 현장적용평가</p> <p>-업체 전문가 활용</p> <p>-Feedbace/시스템 발전방향</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>최적화 시스템 반영 평가모델제안/검증</li> </ul>                                                                |                                                                                                                     |                                                                                                                     | <p>시스템 검증과 병행하여 업그레이드 방안 구축 및 반영</p>                                                                        |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>재료설계 시스템 검증</li> </ul>                                                                         |                                                                                                                     | <p>시스템 평가방안 계획</p> <p>-프로그래밍 전문가</p>                                                                                | <p>-프로그래밍 전문가</p>                                                                                           |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>현장적용 및 실용화 계획</li> </ul>                                                                       | <p>제품화 대상의 설정</p> <p>-비구조용 2차제품</p>                                                                                 | <p>제품화 대상의 설정</p> <p>-구조용 목적의 소요강도 및 내구성</p> <p>-시험 및 검증</p> <p>-실용화 가능성 및 현장적용성 검토</p>                             | <p>-관련 업체와의 조율</p>                                                                                          |

나. 연구개발 단계에 따른 세부연구내용

| 기간                     | 단계별 주요 연구활동            |                   | 세부추진내용                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------|------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1단계<br>(’15.06~’16.06) | 사전조사분석                 | 기존 pH저감기술         | <ul style="list-style-type: none"> <li>경제성 및 효율성 분석</li> <li>대상: 논문, 특허, 신기술</li> </ul>                                                                                                                                      |
|                        | 이론적 연구 실험 및 검증         | pH저감기술 개발         | <ul style="list-style-type: none"> <li>처리매체: 규불화수소산, 탄산수</li> <li>pH저감 효과의 실험적 규명, 기존 기술원리 비교</li> <li>촉진기술: 나노버블, 초음파진동</li> <li>(핵심성과 2와 연계)</li> </ul>                                                                    |
|                        | 사전조사분석                 | 기존 개질 기술 평가       | <ul style="list-style-type: none"> <li>경제성 및 효율성 분석</li> <li>대상: 탄산화 기반 논문, 특허, 신기술</li> </ul>                                                                                                                               |
|                        | 이론적 연구 실험 및 검증 SCI급 논문 | 표면개질 기술개발         | <ul style="list-style-type: none"> <li>개질매체: CO<sub>2</sub>, 규불화수소산, 탄산수, 기타</li> <li>개질방법: 표면개질 촉진에 의한 흡수율저감</li> <li>촉진기술: 나노버블, 초음파 진동</li> <li>(핵심성과 2와 연계)</li> <li>습식기반 처리공정을 고려한 흡수율 5%이하 저감과 표면개질 메커니즘 규명</li> </ul> |
|                        | 사전조사분석                 | 기존 공정 반응촉진기술      | <ul style="list-style-type: none"> <li>건식/습식 공정에서의 개질 촉진기술</li> <li>(산, CO<sub>2</sub>)촉진매체/농도, 공정시간, 회수율</li> <li>대상: 논문, 특허, 신기술</li> </ul>                                                                                |
|                        | 이론적 연구 실험 및 검증         | 나노버블 초음파진동        | <ul style="list-style-type: none"> <li>처리매체: 규불화수소산, 탄산수</li> <li>순환골재 부착모르타르 계면 반응의 활성화 매커니즘</li> </ul>                                                                                                                     |
|                        | 사전조사분석                 | 기존 유해물질 선별기술      | <ul style="list-style-type: none"> <li>타 산업분야 폐기물 정화기술</li> </ul>                                                                                                                                                            |
|                        | 이론적 연구 실험 및 검증 특허출원    | 유해물질 선별기술 오염수 안정화 | <ul style="list-style-type: none"> <li>선별매체: 산업부산물 기반 이온교환수지 선정</li> <li>유해물질 선별에 이온교환수지 활용가능성 검토와 최적 선별기술 제안</li> </ul>                                                                                                     |
|                        | 사전조사분석                 | 슬러지 재활용           | <ul style="list-style-type: none"> <li>기존연구 분석(레미콘회수수 및 슬러지)</li> </ul>                                                                                                                                                      |
| 2단계<br>(’16.06~’17.06) | 실험 및 검증 특허출원           | 순환골재 표면개질 최적 프로세스 | <ul style="list-style-type: none"> <li>고알칼리 건설폐기물의 환경영향저감 확대적용안</li> <li>슬러지, 폐콘크리트 미분말의 적용을 가정한 pH저감기술 확대적용</li> <li>기술 실용화 가능성을 고려한 경제성/효율성분석</li> <li>습식기반 처리공정을 고려한 최적 프로세스(매뉴얼) 제안</li> </ul>                           |
|                        | 실험 및 검증 특허출원 SCI급 논문   | 반응촉진 기술 확대적용      | <ul style="list-style-type: none"> <li>굵은 순환골재, 회수 슬러지, 폐콘크리트 미분말 적용을 통한 반응 촉진 매커니즘의 기술확대 검토</li> <li>최적반응 프로세스 및 효율성/경제성 분석</li> </ul>                                                                                      |
|                        | 실험 및 검증                | 오염수 안정화 슬러지 재활용   | <ul style="list-style-type: none"> <li>최적 안정화 프로세스(이온교환수지 및 반응 매커니즘)</li> <li>골재 부착 모르타르 슬러지의 콘크리트 재활용 가능성 규명</li> </ul>                                                                                                     |
|                        | 이론적 연구 프로그램 SCI급 논문    | 재료설계 시스템 구축       | <ul style="list-style-type: none"> <li>개질재료와 대체재료를 활용한 콘크리트</li> <li>성능기반형 최적설계프로그램 개발 및 실험 검증</li> </ul>                                                                                                                    |
|                        |                        |                   |                                                                                                                                                                                                                              |

## 제2장. 국내외 기술 개발 현황

### ■ 유럽 및 구미의 콘크리트계 폐기물 활용연구 및 현황

- [덴마크]의 경우 1929년부터 도로포장과 실구조체 적용과 같은 연구를 진행
- [영국]에서는 건설폐기물 발생량의 50%이상을 각종 구조물에 재활용되는 등 고부가가치 사용량이 급증하는 추세임. 또한 30~40%를 차지한 폐벽돌은 골재로서 재활용됨.
- [미국]에서 폐콘크리트 재활용에 관한 연구는 골재 운반비용 절감, 고형폐기물 배출 및 처리문제 해소, 건설단가의 저감이 가능하다는 관점에서 시작되어 주로 포장도로에 활용하는 연구로 진행됨
- [스웨덴]의 경우, 대부분이 매립되고 있으나 시험적으로 사용됨.
- [독일]의 경우 1940년대부터 건설폐기물의 재활용을 활발하게 진행하였으며, 폐콘크리트의 경우는 도로에, 폐벽돌의 경우는 콘크리트 골재로서 활용됨.
- [일본]의 경우, 건설폐기물 재활용에 관한 지속적인 개발을 통해 순환골재의 연구는 현재 실용화 되고 있는 추세이며, 기준안도 JASS 5에 제시됨. 아울러, 2014.10월 순환골재를 사용한 콘크리트의 설계·제조·시공지침(안) 발표. 또한, 피해산정평가 방법에 의하여, 환경에 미치는 영향을 평가하는 LIME<sup>1)</sup>을 개발/적용중

### ■ 유럽의 건설폐기물 관리지침 (콘크리트계 폐기물의 경우)

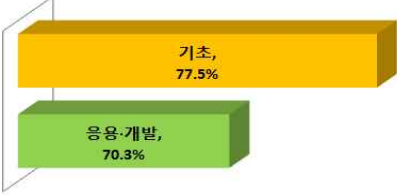
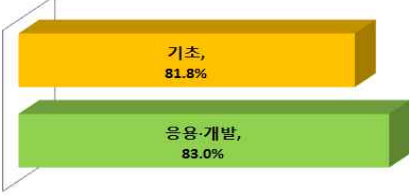
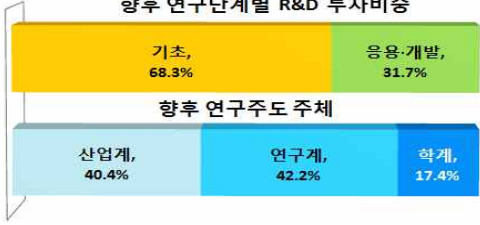
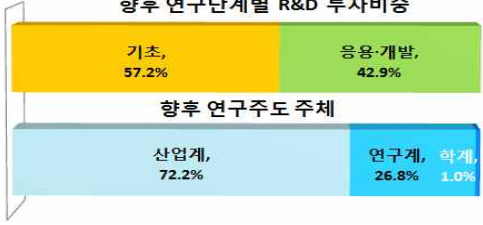
- 광물성 폐기물의 가치화를 위한 필요사항 발표: 시험항목을 검사하고 기준치와 비교 후 용도를 결정함. (Z-0에서 Z-5까지 6개 등급으로 분류하고 해당 등급 및 용도 설정)
- Z-0: 식수 보호구역을 제외하고 아무 제한없이 사용
- Z-1: 지하수 보호를 위해 다시 두 등급으로 구분하고, 도로건설, 매립지 표면, 산업지역 등에 적용된. 단, 지하수위로 오염물질을 보존할수 있는 점토질 지층이 2m두께로 있을 경우에만 사용
- Z-2: 재생골재로 사용할 경우, 함유된 유해물질(알칼리 침출수)이 지하나 지하수로 유입 방지.
- Z-3~Z-5: 폐기물로 간주하여 재활용되지 않음(매립)

### ■ 본 연구의 위치

- ✓ 기존의 연구는 생산된 순환자원(골재 등)의 제품화(콘크리트 등)에 초점을 두었으나, 본 연구에서는 다양한 사용(재활용, 제품화, 매립/처분)을 고려한 기술개발에 초점
- ✓ 기존의 연구는 실용화 측면(효율성, 경제성)에서 순환골재에 초점을 두었으나, 본 연구에서는 pH저감, 표면개질, 흡수율 저감, 오염수처리, 콘크리트용 성능기반설계를 고려함.
- ✓ 본 연구에서의 ①건설재료로서 활용을 위한 기술(표면개질), ②기타 용도로 활용과 환경영향을 고려한 기술(pH저감, 유해물질 선별), ③2차 발생물(처리용수, 회수수)에 대한 처리 기술, ④건설재료로 활용할 수 있는 기술(재료설계) 개발은 매우 중요할 것으로 판단함.

1) JEMAI (2004) Report on Development of Assessment Technology of Life Cycle Environmental Impacts of Products and So Forth, Japan Environmental Management Association for Industry. (in Japanese)

순환골재생산, 표면처리, 오염수(슬러지, 회수수 포함), 콘크리트 제품화 기술과 관련된 국내외 관련 기술의 특허동향은 아래와 같이 정리됨.

| 구분               | 오염물질 제어 및 처리기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 유용폐자원 재활용 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 연구 단계별 기술 수준     |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 기술 현황            | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 대학 및 연구소를 중심으로 개별 분야별 기초연구를 추진 중에 있으나 <b>기술개발 초기단계로써 기초연구 활성화 필요</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 세계적으로 강화되는 오염방지 규제에 대응하기 위한 선제적 기술 개발 및 중국 등 후발추격그룹에 대한 대응방안 마련 필요</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 자원 회수율 향상 및 고효율 분리 선별 기술에서 산학연 공동연구 진행 등 기술 성장기 진입 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 논문발표 수는 선진국과 대등한 수준이나 <b>기술노하우 등이 포함된 특허는 경쟁열위</b></li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                |
| 문제점              | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 기술 선진국 대비 연구인력 및 연구비가 부족하고, 개발기술의 현장 적용능력 향상을 위한 응용 연구개발 필요 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기초연구 분야의 <b>세부 기술의 대부분이 경쟁국 대비 비교열위에</b> 있어 핵심 기술의 외국 의존도 심화</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 폐자원 자원순환 기술은 선진국 대비 열위, 장기적 발전을 위해 전문인력과 법·제도 개선 필요 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 프린트 기판 및 반도체부품 제조업의 재활용 기술은 기술선진국과 대등한 수준이므로 분야별 기술간 격차 해소 필요</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                    |
| 향후 5년간 R&D 추진 방향 |  <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 세부기술 분야별 전문인력 양성 및 기술 상용화를 위한 기업-연구기관 간 인적 교류 활성화</li> <li>◆ <b>원천기술(특허) 확보를 위한 선행적 투자와 실용화/실증화 위주의 연구비 확대</b>를 통한 조기 성과 확산</li> <li>◆ 개발된 기술의 국내의 효과적 적용을 위한 추가 <b>요소기술 개발 및 공통 운영·시스템 활용을 위한 인프라 확대</b> 필요</li> </ul> |  <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <b>(법·제도 개선)</b> 폐자원 기술 개발 및 수요 활성화를 위해 폐자원활용 <b>절세혜택</b>, 기술 보유기업에 <b>인센티브</b> 제공, <b>법제정 및 자원순환을 의무화</b></li> <li>◆ <b>(국내협력 촉진)</b> 폐기물처리는 지자체 행정사항으로 폐기물의 발생자-수거자-처리자 협력이 필수적이며, 공익성을 고려하여 <b>정부와 민간의 협력도</b> 중요</li> </ul> |
| 본 연구와의 관련        | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 알칼리 침출로 인한 수질 및 토양오염 방지</li> <li>✓ 슬러지 및 미분말 처리문제</li> <li>✓ pH저감기술</li> <li>✓ 유해물질 선별</li> </ul>                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 순환골재의 적극 활용</li> <li>✓ 순환골재 개질과 품질 안정성</li> <li>✓ 표면개질 및 흡수율 저감기술</li> <li>✓ 재료설계기술</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                       |

## 국내외 특허현황

|    |                                                                                                                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 한국 | • 순환골재: 골재생산 기술 및 활용 중점.                                                                                                                                                          |
| 유럽 | • 폐기물로부터 재활용 건축자재 생산 및 활용하는 기술중점<br>• 폐기물: 폐콘크리트, 폐블록, 폐유리, 폐석고보드                                                                                                                 |
| 일본 | • 순환골재 생산기술 2차 콘크리트 제품 활용기술 우수<br>• 파쇄기술, 골재선별기술, 부착모르타르 제거기술, 이물질 선별기술<br>• 폐콘크리트 미분말 재자원화 기술, 오염수 처리기술                                                                          |
| 미국 | • 골재생산 기술 및 활용 중점. 도로용 콘크리트에 적극활용<br>• 파쇄기술, 골재선별기술, 부착모르타르 제거기술, 이물질 선별기술                                                                                                        |
| 소결 | ▷ 국내 특허현황은 기술수준이 해외보다 비교열위.<br>▷ 공통적으로 국내외의 특허는 제품화, 소재화 측면 중심으로 개발되었으나, 수질·토양오염과 같은 환경영향을 고려한 원천기술 부족함.<br>✓ 순환골재: ①생산기술+산처리를 통한 pH저감, ②CO2를 활용한 표면탄산화를 통한 표면개질 ③생산기술+이물질 선별을 통한 |

### ■ 한국

- 순환골재: 골재생산 기술 및 활용 중점.
- 레미콘 회수수: 안정화 처리 및 레미콘 재사용 기술, 농축 및 탈수기술
- 레미콘 슬러지: 슬러지를 포함함 시멘트 조성물제조, 슬러지 재처리 기술, 슬러지를 활용한 골재제조, 2차 콘크리트 제품에 재활용
- 폐콘크리트 미분말: 시멘트 클링커제조, 2차 콘크리트 제품 적용
- 산처리 및 탄산화 기반의 안정화

| 국내 대표 특허                                                       | 출원인             | 등록일자    |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|---------|
| 드라이아이스를 통한 순환골재·건설폐토석 pH 저감장치                                  | 김민선             | 2011.09 |
| 수산화칼슘과 이산화탄소의 중화반응을 이용한 고품질 순환골재의 생산방법                         | 공 주 대 학 교 산학협력단 | 2014.03 |
| 연속공정형 순환골재·건설폐토석 pH 저감장치                                       | 대 길 환 경 산 업(주)  | 2014.02 |
| 순환골재 강제 탄산화 장치                                                 | 동 부 이 엔 티 주식회사  | 2014.04 |
| 순환골재를 이용한 수용액 상에서의 중금속 제거방법                                    | 한 경 대 학 교 산학협력단 | 2015.01 |
| 촉진탄산화 반응을 이용한 순환골재 제조방법                                        | 한 국 건 설 기 술연구원  | 2010.03 |
| 중성화 촉진제 및 회수식 탄산수를 이용한 중성화 촉진 성능을 가진 이산화탄소 가스에 의한 순환골재의 중성화 장치 | 한 국 건 설 기 술연구원  | 2010.07 |
| 순환골재의 폐하 저감방법 및 그 장치                                           | 박봉찬             | 2013.02 |
| 저알칼리성 순환골재 생산 장치                                               | 주 식 회 사 서원건설산업  | 2010.12 |
| 순환골재의 강 알칼리성 침출수를 중화하는 방법                                      | 임정빈             | 2012.03 |
| 황산을 공정수로 사용한 저속습식마쇄장치를 사용한 고품질순환골재 제조방법                        | 공 주 대 학 교 산학협력단 | 2010.04 |
| 이산화탄소로 처리된 순환골재를 함유한 친환경 호안블록의 조성물과 이를 이용하여 제조된 호안블록           | 하 나 케 이 텍 (주)   | 2013.11 |

### ■ 유럽

- 폐기물로부터 재활용 건축자재 생산 및 활용하는 기술중점의 특허 다수.

- 폐기물: 폐콘크리트, 폐블록, 폐유리, 폐석고보드

•

## ■ 일본

### • 건설폐기물 전반의 재활용 기술 중점. 세계최고 수준의 재활용 기술

- 콘크리트계 폐기물 가운데 순환골재 생산기술 2차 콘크리트 제품 활용기술 우수
- 대상: 파쇄기술, 골재선별기술, 부착모르타르 제거기술, 이물질 선별기술
- 폐콘크리트 미분말 재자원화 기술
- 각종 슬러지의 콘크리트 골재화 기술

## ■ 미국(최대 특허보유)

- 골재생산 기술 및 활용 중점. 세계최고수준의 활용기술
- 도로용 콘크리트에 적극활용
- 대상: 파쇄기술, 골재선별기술, 부착모르타르 제거기술, 이물질 선별기술

## ■ 소 결

- ▷ 국내 특허현황은 기술수준이 해외보다 비교열위.
- ▷ 공통적으로 국내외의 특허는 제품화, 소재화 측면 중심으로 개발되었으나, 건설재료로서의 활용적 측면에 치중되었으며, 그 외(도로용, 매립) 수질·토양오염과 같은 환경영향을 고려한 원천기술에 관한 연구는 매우 부족함.
- ▷ 국내의 경우, 본 연구에서 다루는 주요 폐기물에 관한 특허는 상당히 진행
  - ✓ 순환골재: ①생산기술+산처리를 통한 pH저감, ②CO2를 활용한 표면탄산화를 통한 표면개질 ③생산기술+이물질 선별을 통한 고품질 생산
  - ✓ 회수수: ①안정화+재사용기술, ②농축 및 탈수기술
  - ✓ 슬러지: ①2차제품 재료로 활용기술, ②고형화기술
  - ✓ 폐콘크리트 미분말: ①2차제품 재료로 활용기술, ②시멘트 원료 활용기술

## ■ 본 연구의 위치

- ▷ 산처리를 통한 pH저감 기술의 문제(2차 발생 폐수처리, 고비용) 해결의 필요성
- ▷ CO2기반의 표면탄산화 기술의 문제(고비용 장치) 해결의 필요성
- ▷ 이물질 선별이 아닌 유해물질(용수, 회수수) 선별 기술개발의 필요성
- ▷ 미분말, 슬러지: 소재로서의 재활용이 아닌 경우(매립/폐기)를 고려한 환경성능 향상의 요구

| 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 국내 현황                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 비고            |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------|-------------------------|--------|---------------------|--------|------------|------|--------|--------|-------|------|--------|--------|-------|------|--------|--------|-------|------|--------|--------|-------|------|--------|--------|--------|
| 건설폐기물 발생량                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 연간 약 6500만 톤 발생                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |               |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| 폐콘크리트 발생량                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 약 5000만 톤                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 약 8000만 톤(일본) |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <div>(단위 : 천톤/년)</div> <table><thead><tr><th rowspan="2">년도</th><th rowspan="2">건설 폐기물 총계</th><th colspan="2">무기성폐기물</th></tr><tr><th>폐 콘크리트</th><th>페아스팔트 콘크리트</th></tr></thead><tbody><tr><td>2012</td><td>73,076</td><td>48,303</td><td>9,310</td></tr><tr><td>2013</td><td>74,195</td><td>49,303</td><td>9,502</td></tr><tr><td>2014</td><td>74,966</td><td>50,094</td><td>9,685</td></tr><tr><td>2015</td><td>75,391</td><td>50,676</td><td>9,857</td></tr><tr><td>2016</td><td>75,468</td><td>51,049</td><td>10,022</td></tr></tbody></table> |               | 년도         | 건설 폐기물 총계               | 무기성폐기물 |                     | 폐 콘크리트 | 페아스팔트 콘크리트 | 2012 | 73,076 | 48,303 | 9,310 | 2013 | 74,195 | 49,303 | 9,502 | 2014 | 74,966 | 50,094 | 9,685 | 2015 | 75,391 | 50,676 | 9,857 | 2016 | 75,468 | 51,049 | 10,022 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 년도                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 건설 폐기물 총계     |            |                         | 무기성폐기물 |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |               | 폐 콘크리트     | 페아스팔트 콘크리트              |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 73,076        | 48,303     | 9,310                   |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2013                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 74,195        | 49,303     | 9,502                   |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2014                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 74,966        | 50,094     | 9,685                   |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2015                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 75,391        | 50,676     | 9,857                   |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| 2016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 75,468                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 51,049        | 10,022     |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| <div><div>Ministry of land, Infrastructure and Transport(2005)</div><table><thead><tr><th>Category</th><th>Percentage</th></tr></thead><tbody><tr><td>Concrete &amp; Asphalt lump</td><td>78%</td></tr><tr><td>Construction sludge</td><td>10%</td></tr><tr><td>Wood waste</td><td>6%</td></tr><tr><td>Etc.</td><td>6%</td></tr></tbody></table></div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Category      | Percentage | Concrete & Asphalt lump | 78%    | Construction sludge | 10%    | Wood waste | 6%   | Etc.   | 6%     |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| Category                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Percentage                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |               |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| Concrete & Asphalt lump                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 78%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |               |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| Construction sludge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 10%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |               |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| Wood waste                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 6%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |               |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| Etc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |               |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |
| 순환골재 재활용율                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 95% 이상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 98%이상(일본)     |            |                         |        |                     |        |            |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |       |      |        |        |        |

순환골재  
재활용  
관련  
기술현황

중간처리업체 약 450개소중 390여 건설폐기물 중간처리 업체에서 연간 4천만톤 이상, (건설폐기물의 33%)도로기층용으로 재활용

1. 의무사용용도로 약 1300만톤, 2. 의무사용 외 용도로 약 2600만톤

건설폐기물 중간처리업체 현황

| 연도별    | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|--------|------|------|------|------|------|
| 업체수(개) | -    | 366  | 316  | 373  | 330  |

자료 : 한국건설자원협회

순환골재 생산 현황(단위 : 톤)

| 생산량 (톤) | 2003 | 2004   | 2005   | 2006   | 2007(상반기) |
|---------|------|--------|--------|--------|-----------|
| 순환골재    | -    | 41,729 | 33,851 | 60,530 | 43,357    |

주 : 도로공사, 건설공사, 성토용, 복토용 등 총 생산량 기준  
순환골재의 판매 단가는 한국건설자원협회의 조사 자료에 의거할 때 톤당 2,660원 수준으로서 천연골재의 60% 수준

지역별 천연골재 및 순환골재 가격 현황 (단위 : 원/톤)

| 지역         | 순환골재(A) | 천연골재(B) | 가격 비율(A/B, %) |
|------------|---------|---------|---------------|
| 강원         | 2,658   | 5,000   | 53.2          |
| 서울, 인천, 경기 | 2,997   | 4,800   | 62.4          |
| 충북         | 3,008   | 4,889   | 61.5          |
| 대전, 충남     | 3,110   | 4,458   | 69.8          |
| 대구, 울산, 경북 | 2,416   | 4,619   | 52.3          |
| 부산, 경남     | 2,601   | 4,584   | 56.7          |
| 전북         | 2,366   | 4,467   | 53.0          |
| 광주, 전남     | 2,512   | 5,067   | 49.6          |
| 제주         | 1,600   | -       | -             |
| 평균         | 2,660   | 4,682   | 56.8          |

생산기술

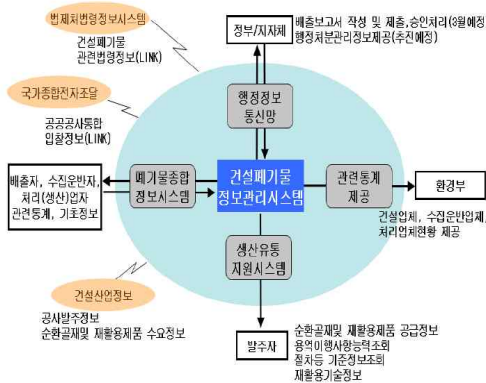
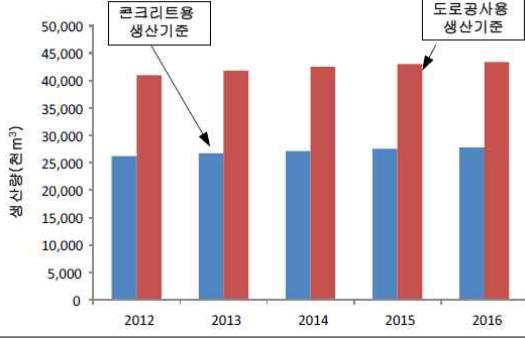
순환골재 생산 레벨(골재품질)에 따라 구분되지만 콘크리트용으로 한정해서 전체 470여개사 가운데 80여개사가 생산함.

(해외) 도로용 재활용율에 초점, OECD, 독일, 일본 등은 자원 확보 수단으로 자원순환형 정책 적극 추진, (독일) 순환경제촉진 및 폐기물관리법('96), (일본) 순환형사회형성기본법('01)

골재사용  
현황  
(콘크리트)

지역별 골재 품종별 사용 비율(단위 : %)

| 구 분    | 잔골재   |      |            |            |       |       |     |     | 굵은골재    |        |       |       |       |       |  |
|--------|-------|------|------------|------------|-------|-------|-----|-----|---------|--------|-------|-------|-------|-------|--|
|        | 하천 모래 | 쇄사   | 바다 모래 (수입) | 바다 모래 (국산) | 육지 모래 | 순환 모래 | 마사  | 기타  | 쇄석 (석산) | 크러셔 파쇄 | 하천 자갈 | 육지 자갈 | 순환 골재 | 고로슬래그 |  |
| 계      | 25.7  | 32.8 | 2.7        | 17.4       | 20.5  | 0.1   | 0.5 | 0.4 | 77.8    | 20.5   | 0.9   | 0.8   | 0     | 0     |  |
| 수도권    | 소계    | 27.1 | 41.1       | 10.8       | 14.3  | 5.5   | 0   | 1.1 | 0       | 47.3   | 52.7  | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 서울    | 0    | 33         | 67         | 0     | 0     | 0   | 0   | 0       | 0      | 100   | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 인천    | 0    | 16.4       | 61.1       | 22.5  | 0     | 0   | 0   | 0       | 26.9   | 73.1  | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 경기    | 4.8  | 67.5       | 5.4        | 14.7  | 6.5   | 0   | 1.1 | 0       | 57.4   | 42.6  | 0     | 0     | 0     |  |
| 강원     | 22.2  | 48.8 | 0          | 0.0        | 28.2  | 0     | 0.0 | 0.7 | 62.2    | 27.6   | 5.6   | 4.6   | 0     | 0     |  |
| 충북     | 2.1   | 35.7 | 0          | 0.0        | 60.8  | 0     | 1.4 | 0   | 85.1    | 11.3   | 1.2   | 2.3   | 0     | 0     |  |
| 대전충남   | 소계    | 57.4 | 14.1       | 0          | 23.0  | 5.5   | 0   | 0   | 0       | 78.8   | 21.2  | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 대전    | 62.5 | 37.5       | 0          | 0     | 0     | 0   | 0   | 0       | 100    | 0     | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 충남    | 42.1 | 12.5       | 0          | 40.5  | 4.9   | 0   | 0   | 0       | 78.3   | 21.7  | 0     | 0     | 0     |  |
| 전북     | 7.1   | 47.3 | 12.2       | 19.1       | 14.3  | 0     | 0   | 0   | 82.5    | 17.5   | 0     | 0     | 0     | 0     |  |
| 광주전남   | 소계    | 0    | 4.1        | 0          | 33    | 63    | 0   | 0   | 0       | 75.6   | 24.4  | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 광주    | 0    | 0          | 0          | 0     | 100   | 0   | 0   | 0       | 66.5   | 33.5  | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 전남    | 0    | 6.2        | 0          | 80.7  | 13.1  | 0   | 0   | 0       | 92.2   | 7.8   | 0     | 0     | 0     |  |
| 대구경북   | 소계    | 68.2 | 27.1       | 0.7        | 1.7   | 2.0   | 0   | 0.2 | 2.4     | 77.0   | 19.1  | 1.5   | 0     | 0     |  |
|        | 대구    | 63.8 | 35.1       | 0          | 0     | 1.1   | 0   | 0   | 0       | 77.8   | 22.2  | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 경북    | 51.7 | 30.4       | 0          | 16.0  | 1.7   | 0   | 0.3 | 0       | 69.6   | 28.4  | 2.0   | 0     | 0     |  |
| 부산울산경남 | 소계    | 47.8 | 37.4       | 0.7        | 5.9   | 5.5   | 0.7 | 2.0 | 0       | 89.6   | 10.2  | 0.2   | 0     | 0     |  |
|        | 부산    | 51.5 | 44.8       | 1.6        | 0     | 0     | 1.6 | 0.5 | 0       | 100    | 0     | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 울산    | 23.7 | 53.5       | 0          | 22.8  | 0     | 0   | 0   | 0       | 100    | 0     | 0     | 0     | 0     |  |
|        | 경남    | 53.9 | 22.5       | 0          | 5.2   | 14.1  | 0   | 4.3 | 0       | 74.3   | 25.1  | 0.6   | 0     | 0     |  |
| 제주     | 0     | 40.0 | 0          | 60.0       | 0     | 0     | 0   | 0   | 100     | 0      | 0     | 0     | 0     |       |  |

|                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 순환골재<br>품질인증                                                                                                                                                                                                                 | 한국 KS, 미국 ASTM C 33, 125, 영국 BS 8500, 일본 JIS A 5021, 5022, 네덜란드 NEN 3542, 독일 ZTB Beton-StB, 벨기에 RILEM TC 121-DGR등<br>2014년 10월:순환골재를 사용한 콘크리트의 설계·제조·시공지침 (안)-일본 AIJ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                     |  |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| 국내시장                                                                                                                                                                                                                         | 도로용, 기층용이 대부분임                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 콘크리트에 상당수 적용                                                                        |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| 적용                                                                                                                                                                                                                           | 시범사업, 콘크리트 2차제품 등                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 매우 활성화<br>(콘크리트 포장 우수)                                                              |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| 신기술<br>(2011년<br>기준)                                                                                                                                                                                                         | 환경신기술 38건, 건설신기술 3건, 순환골재 품질인증(도로공사용) 300건<br>순환골재 품질인증(콘크리트용) 48건                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| 특허                                                                                                                                                                                                                           | 우수(기계설비, 생산공정 기술)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 미국, 일본                                                                              |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| 관리시스<br>템                                                                                                                                                                                                                    | 국가폐기물관리시스템인 Allbaro 시스템에 건설폐기물 처리체계 구축, 건폐법 제18조 건설폐기물 전자인계서 의무화 제도 시행('10.6)<br>건설폐기물 정보관리시스템 개요(우측 그림)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| 국내<br>골재시장<br>전망<br>및<br>순환골재<br>재활용<br>촉진에<br>따른<br>경제효과                                                                                                                                                                    | 제4차골재수급 기본계획('09~'13)상의 약11억m3의 골재수요 중 순환골재로 5.6% 공급(총 6,867만m3, 연평균 1,373만m3)<br>5년 동안 서울 남산(약5,000만m3)의 약1.4배에 해당하는 순환골재 사용<br>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| 국내시장<br>에서<br>바라본<br>SWOT                                                                                                                                                                                                    | <table><tr><td><b>STRENGTH</b><ul style="list-style-type: none"><li>· 재활용 제품에 대한 인식 전환</li><li>· 순환골재 품질인증에 따른 양질 골재 공급 시스템 구축</li><li>· 환경신기술 및 건설 신기술 활성화에 따른 기술개발 촉진</li><li>· 전국적인 골재 공급 시스템 구축</li><li>· 국민의 환경과 자원절약 의식 증대</li></ul></td><td><b>WEAKNESS</b><ul style="list-style-type: none"><li>· 재활용에 대한 국민의 부정적 인식</li><li>· 재활용 산업의 성장 한계상황 도래</li><li>· 계속적인 건설시장의 침체 따른 수주 및 재활용 처리 물량의 감소</li><li>· 과당경쟁에 의한 수익성 악화</li></ul></td></tr><tr><td><b>OPPORTUNITY</b><ul style="list-style-type: none"><li>· 자연환경 보전 의식 향상</li><li>· 우수한 건설폐기물 처리 기술 및 시설의 확보, 전국적 네트워크 확보</li><li>· 의무사용대상공사 및 사용용도 지정에 따른 안정적인 수요기반 확충</li><li>· 에너지 자원의 고갈에 따른 대체원료 및 자원 확보 경쟁</li></ul></td><td><b>THREATS</b><ul style="list-style-type: none"><li>· 환경-건설의 정책 조율 및 관점의 차이로 인한 혼란</li><li>· 환경과 건설 산업의 균형과 조화 곤란</li><li>· 민원증가에 따른 환경시설 운영의 어려움</li></ul></td></tr></table> |                                                                                     |                                                                                     | <b>STRENGTH</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· 재활용 제품에 대한 인식 전환</li><li>· 순환골재 품질인증에 따른 양질 골재 공급 시스템 구축</li><li>· 환경신기술 및 건설 신기술 활성화에 따른 기술개발 촉진</li><li>· 전국적인 골재 공급 시스템 구축</li><li>· 국민의 환경과 자원절약 의식 증대</li></ul> | <b>WEAKNESS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· 재활용에 대한 국민의 부정적 인식</li><li>· 재활용 산업의 성장 한계상황 도래</li><li>· 계속적인 건설시장의 침체 따른 수주 및 재활용 처리 물량의 감소</li><li>· 과당경쟁에 의한 수익성 악화</li></ul> | <b>OPPORTUNITY</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· 자연환경 보전 의식 향상</li><li>· 우수한 건설폐기물 처리 기술 및 시설의 확보, 전국적 네트워크 확보</li><li>· 의무사용대상공사 및 사용용도 지정에 따른 안정적인 수요기반 확충</li><li>· 에너지 자원의 고갈에 따른 대체원료 및 자원 확보 경쟁</li></ul> | <b>THREATS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· 환경-건설의 정책 조율 및 관점의 차이로 인한 혼란</li><li>· 환경과 건설 산업의 균형과 조화 곤란</li><li>· 민원증가에 따른 환경시설 운영의 어려움</li></ul> |
| <b>STRENGTH</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· 재활용 제품에 대한 인식 전환</li><li>· 순환골재 품질인증에 따른 양질 골재 공급 시스템 구축</li><li>· 환경신기술 및 건설 신기술 활성화에 따른 기술개발 촉진</li><li>· 전국적인 골재 공급 시스템 구축</li><li>· 국민의 환경과 자원절약 의식 증대</li></ul> | <b>WEAKNESS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· 재활용에 대한 국민의 부정적 인식</li><li>· 재활용 산업의 성장 한계상황 도래</li><li>· 계속적인 건설시장의 침체 따른 수주 및 재활용 처리 물량의 감소</li><li>· 과당경쟁에 의한 수익성 악화</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |
| <b>OPPORTUNITY</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· 자연환경 보전 의식 향상</li><li>· 우수한 건설폐기물 처리 기술 및 시설의 확보, 전국적 네트워크 확보</li><li>· 의무사용대상공사 및 사용용도 지정에 따른 안정적인 수요기반 확충</li><li>· 에너지 자원의 고갈에 따른 대체원료 및 자원 확보 경쟁</li></ul>    | <b>THREATS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>· 환경-건설의 정책 조율 및 관점의 차이로 인한 혼란</li><li>· 환경과 건설 산업의 균형과 조화 곤란</li><li>· 민원증가에 따른 환경시설 운영의 어려움</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                              |

○ 국내외 순환골재 생산(건/습식), 재활용(정책/연구/실용화), 순환골재 표면개질, 골재 중심의 이론정립(특허/논문), 콘크리트 적용을 위한 재료설계 분야별 국내외 현황을 아래 표와 같이 정리함.

표 1. 본 과제관련 국내외 현황(국내: ○, 국외: ●)

| 구분           | R&D |     |     | 논문  |     |     | 특허  |    |     | 상용화 |    |     | 제품화 |    |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|-----|----|-----|
|              | 미약  | 보통  | 우수  | 미약  | 보통  | 우수  | 미약  | 보통 | 우수  | 미약  | 보통 | 우수  | 미약  | 보통 | 우수  |
| 순환골재 생산      |     |     | ○/● |     | ○   | ●   |     |    | ○/● |     |    | ○/● |     |    | ○/● |
| 건식공정         |     |     | ○/● | ○   | ●   |     |     | ○  | ●   |     |    | ○/● |     |    | ○/● |
| 습식공정         |     | ○   | ●   | ○   | ●   |     |     | ○  | ●   |     |    | ○/● |     |    | ○/● |
| 재활용률         |     |     | ○/● |     |     | ○/● |     |    | ○/● |     | ○  | ●   |     | ○  | ●   |
| 콘크리트 재활용률    |     |     | ○/● |     |     | ○/● |     |    | ○/● |     | ○  | ●   |     | ○  | ●   |
| 표면개질 (산/CO2) |     |     | ○/● |     | ○/● |     |     |    | ○/● |     | ○  | ●   |     | ○  | ●   |
| 표면개질 (산업부산물) | ○/● |     |     | ○/● |     |     | ○   | ●  |     | ○/● |    |     | ○/● |    |     |
| 이론정립         |     | ○/● |     | ○   | ●   |     | ○/● |    |     | ○/● |    |     | ○/● |    |     |
| 콘크리트 성능설계    |     | ○   | ●   |     | ○   | ●   | ○   | ●  |     | ○   | ●  |     | ○   | ●  |     |
| 종합           |     |     | ○/● | ○   |     | ●   |     | ○  | ●   |     | ○  | ●   |     | ○  | ●   |

주) 본 제안서에서 제시하는 연구내용은 음영으로 표기



SWOT분석-순환골재 생산 및 콘크리트 적용

## 1. 사회적 환경

- 건설폐기물에 대한 사회환경적 인식의 지속적 증가로 인한 국내 순환골재 생산 및 재활용률은 세계최고수준에 이르고 있으나, 대부분이 골재로서 사용되고 있으며 콘크리트 적용은 극히 제한적임.
- 건설폐기물 자원 재활용에 관한 이용 촉진을 법령화 및 의무화하고 지속적으로 확대하고 있으나, 연구지원의 제약, R&D성과와 건설사의 현장 적용의 한계가 있음. 특히 순환골재의 경우 소정의 성능, 산업부산물과의 혼용을 통한 탄소저감형 재료로서의 연구 활성화가 꾸준히 수행됨.
- 순환골재 이용확대에 따른 경제효과는 연간 3000억 이상임. 콘크리트로 적극활용될 경우 경제적 기대효과는 매우 클 것으로 판단. 또한, 알칼리 침출수 저감만으로 사회 환경적 인식의 전환과 이용확대는 물론 경제효과를 기대할 수 있음.

## 2. 연구 및 특허

- 순환골재에 관한 국내 연구의 역사는 매우 깊고 우수한 수준이지만, 주요 연구의 초점은 콘크리트 제품화 기반 또는 소요 성능을 발현하는 콘크리트의 개발에 초점을 두었고, SCI급 저널면에서도 국제적인 경쟁력이 다소 낮음. 특히, 순환골재 자체의 물리화학적 이론 및 매커니즘 규명과 골재 생산에서의 표면개질에 관한 연구는 아직까지 선진국에 비하여 기초적인 단계임.
- 한편, 특허기반 연구, 및 수준은 매우 우수한 편(최우수 국가: 일본)이지만, ①순환골재 생산(건/습식), ②파쇄공정, ③이물질 선별, ④산처리, 탄산화 기술에 국한되며, 콘크리트의 경우 ①특수 목적형 콘크리트 배합설계, ②콘크리트 배합설계 시스템, ③콘크리트 골재용/시멘트 대체재료 등에 관한 특허등으로 요약되고, 골재 개질이나 표면처리 등을 통한 연구 및 특허는 매우 낮은 수준임.

## 3. 국내외 시장분석

- 미국은 사회기반 시설 가운데 도로분야에 순환골재를 적극적으로 이용하고 있으며, 시장의 규모도 매우 큼. 또한, 일본이나 유럽에서도 이와 관련된 시장 규모가 점진적으로 확대되고 있는 추세임.
- 국내시장에서 골재수급에 관한 정책이 발표되고, 향후 순환골재의 시장 경제성은 매우 클 것이며, 경제효과는 연간 3000억원 이상으로 추정됨. 또한, 순환골재의 원료가 되는 폐콘크리트의 발생(해체공사, 수거, 중간처리, 골재생산)이 향후 급격하게 발생하고, 천연골재 시장의 위축을 고려할 때, 현재 도로 기층용/보조기층용으로 대부분 재활용(95%이상)되는 점을 감안하며, 시장에서의 가치는 매우 클 것으로 사료됨.
- 또한, 기존의 재활용 패턴과 달리 콘크리트용으로 이용되거나, 향후 환경문제(알칼리 침출수)와 같은 부정적이고 사용상 불균일한 순환골재의 품질 안정화를 도모한다면 시장활용성은 더욱 크게 향상될 것임.

## 4. 종합결론

- 재생된 순환골재 사용에 대한 부정적 인식을 극복하고 환경영향(알칼리 침출수, 습식순환골재 2차오염수)을 고려한 연구가 필요함. 특히 순환골재의 흡수율과 pH저감은 최우선 과제임.
- 본 연구에서 제안하는 산업부산물 기반의 표면개질은 기존의 특허 및 연구로 활성화 된 순환골재 처리방식과 매우 다름. 시장에서의 활용성 및 국제적인 경쟁력을 가질 수 있음.
- 도로 기층용/보조용, 및 콘크리트용 골재로서의 순환골재의 부가가치를 향상시킨다면, 사회환경적 인식의 변화와 정부부처(국토부, 환경부 등)의 정책에 일맥상통하는 기술적, 경제적, 사회적 효과를 기대할 수 있음.
- 향후 국내 골재시장 및 순환골재 시장의 전망, 현재 국내 보유 기술(특허/논문)의 편중(콘크리트 제품화, 기계설비화)을 고려할 때, 순환골재의 품질 균일화와 함께 오염수의 처리나 모르타르 슬러지와 같은 2차 부산물에 대한 활용을 전반적으로 고려해야 함.

### 제3장. 연구 수행 내용 및 성과

#### 가. 연구개발결과 요약

| 연 차                                                                                 | 연구 내용                   | 연구 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|-----|---|----|-----------|-----|---|----|-----------|-----|---|----|-----------|-----|---|----|-----------|-----|---|----|-----------|------|---|----|-----------|-----|---|---|-----------|------|---|----|-----------|-----|---|----|-----------|-----|---|----|-------------|------|--------|--|--|------|
| 1차년도                                                                                | 순환골재<br>표면개질<br>매커니즘 규명 | $\text{H}_2\text{SiF}_6 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{Si}^{2+} + 6\text{F}^- + 3\text{Ca}^{2+} + 6\text{OH}^- \rightarrow 3\text{CaF}_2 + \text{SiO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} \quad (\text{식 1})$ $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CSH gel} \quad (\text{식 2})$ <p>1. 세척조에 분산된 규불화수소산은 순환 골재 표면의 시멘트와 골재 표면의 수산화칼슘과 반응하여 표면에서 불화칼슘을 석출시키고 칼슘실리케이트 수화물을 생성시킬 수 있다.</p> <p>2. 예비실험결과 pH가 저감되는 것을 확인하였으며, CSH생성 등 화학적인 분석은 현재 진행중.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
|                                                                                     |                         | <table><tr><th rowspan="2">침지조 농도 (%)</th><th rowspan="2">통과시간 (sec)</th><th>첨가비율</th><th>처리 후 골재 (pH)</th></tr><tr><th>잔골재</th><th>잔골재</th></tr><tr><td>4</td><td>12</td><td>1wt%/1ton</td><td>9.5</td></tr><tr><td>5</td><td>15</td><td>1wt%/1ton</td><td>8.7</td></tr><tr><td>5</td><td>10</td><td>1wt%/1ton</td><td>9.1</td></tr><tr><td>6</td><td>12</td><td>1wt%/1ton</td><td>7.2</td></tr><tr><td>3</td><td>12</td><td>1wt%/1ton</td><td>10.8</td></tr><tr><td>7</td><td>12</td><td>1wt%/1ton</td><td>5.4</td></tr><tr><td>5</td><td>8</td><td>1wt%/1ton</td><td>11.2</td></tr><tr><td>5</td><td>17</td><td>1wt%/1ton</td><td>4.8</td></tr><tr><td>5</td><td>12</td><td>2wt%/1ton</td><td>5.4</td></tr><tr><td>5</td><td>12</td><td>0.5wt%/1ton</td><td>11.2</td></tr><tr><td colspan="3">미처리 골재</td><td>12.5</td></tr></table> | 침지조 농도 (%) | 통과시간 (sec) | 첨가비율       | 처리 후 골재 (pH) | 잔골재          | 잔골재 | 4 | 12 | 1wt%/1ton | 9.5 | 5 | 15 | 1wt%/1ton | 8.7 | 5 | 10 | 1wt%/1ton | 9.1 | 6 | 12 | 1wt%/1ton | 7.2 | 3 | 12 | 1wt%/1ton | 10.8 | 7 | 12 | 1wt%/1ton | 5.4 | 5 | 8 | 1wt%/1ton | 11.2 | 5 | 17 | 1wt%/1ton | 4.8 | 5 | 12 | 2wt%/1ton | 5.4 | 5 | 12 | 0.5wt%/1ton | 11.2 | 미처리 골재 |  |  | 12.5 |
|                                                                                     |                         | 침지조 농도 (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |            | 통과시간 (sec) | 첨가비율         | 처리 후 골재 (pH) |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
|                                                                                     |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 잔골재        | 잔골재        |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
|                                                                                     |                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 12         | 1wt%/1ton  | 9.5        |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 5                                                                                   |                         | 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1wt%/1ton  | 8.7        |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 5                                                                                   |                         | 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1wt%/1ton  | 9.1        |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 6                                                                                   |                         | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1wt%/1ton  | 7.2        |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 3                                                                                   |                         | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1wt%/1ton  | 10.8       |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 7                                                                                   |                         | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1wt%/1ton  | 5.4        |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 5                                                                                   |                         | 8                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1wt%/1ton  | 11.2       |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 5                                                                                   |                         | 17                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1wt%/1ton  | 4.8        |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 5                                                                                   | 12                      | 2wt%/1ton                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 5.4        |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 5                                                                                   | 12                      | 0.5wt%/1ton                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 11.2       |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 미처리 골재                                                                              |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 12.5       |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 습식반응 촉진기술은 이론적 고찰 및 전문가 의견을 검토.                                                     |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 1. pH저감: 상기 표면개질에서의 pH저감 원리를 반영할 때, 온도에 대한 영향이 고려되어야 하는 것으로 나타남.                    |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 2. 특히, 온도는 높을수록 반응속 촉진되는 것으로 판명됨                                                    |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 3. 초음파 진동을 이용한 촉진반응                                                                 |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| -실제 습식공정에서의 이물질 선별 및 세척과정에서 진동을 고려한 기술이 상용화 되었으며, 화학적 개질반응 촉진차원에서는 잔골재에 적합할 것으로 사료됨 |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 4. 버블을 이용한 촉진반응                                                                     |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| -기존 탄산화 기반 연구에서 습식공정+나노CO2버블을 이용한 연구가 해외에서 발표가 되었음.                                 |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 유전알고리즘 기반 순환골재를 사용한 콘크리트 배합설계 최적 프로그램을 개발함.                                         |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 순환골재의 물리적 성질(흡수율, 비중)이 반영된 성능설계 개질된 순환골재를 가정한 성능설계 검토결과, 비구조용 콘크리트로서 배합설계 도출이 가능    |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 예비실험 후 본 실험진행 현황 (6월종료)                                                             |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| 기타                                                                                  |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| -내용: 순환잔골재 표면개질(규불화수소산)                                                             |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |
| -항목: pH, 흡수율, 모르타르응결, 압축강도, SEM, MIP분석                                              |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |            |            |              |              |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |           |      |   |    |           |     |   |   |           |      |   |    |           |     |   |    |           |     |   |    |             |      |        |  |  |      |

## 나. 연구개발 주요내용

## 순환골재 콘크리트 최적 성능설계 프로그램 개발

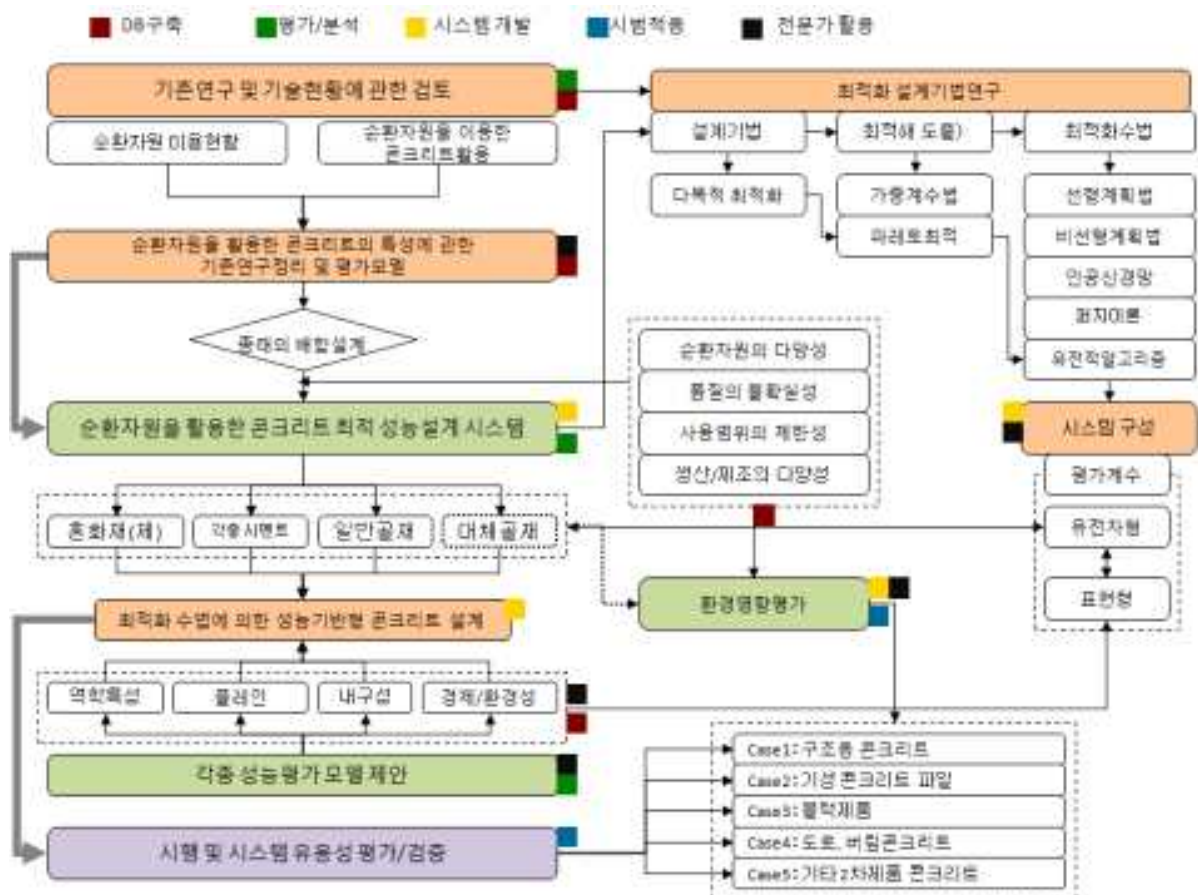
본 연구에서는 아래 그림과 같이 콘크리트 배합설계 프로그램을 개발함.

성능기반설계로서 순환글재의 물리적 정보가 반영되는 재료모델을 설정하고 사용자 기반의 요구성능을 입력하면 최적배합군을 엑셀데이터로 도출함.

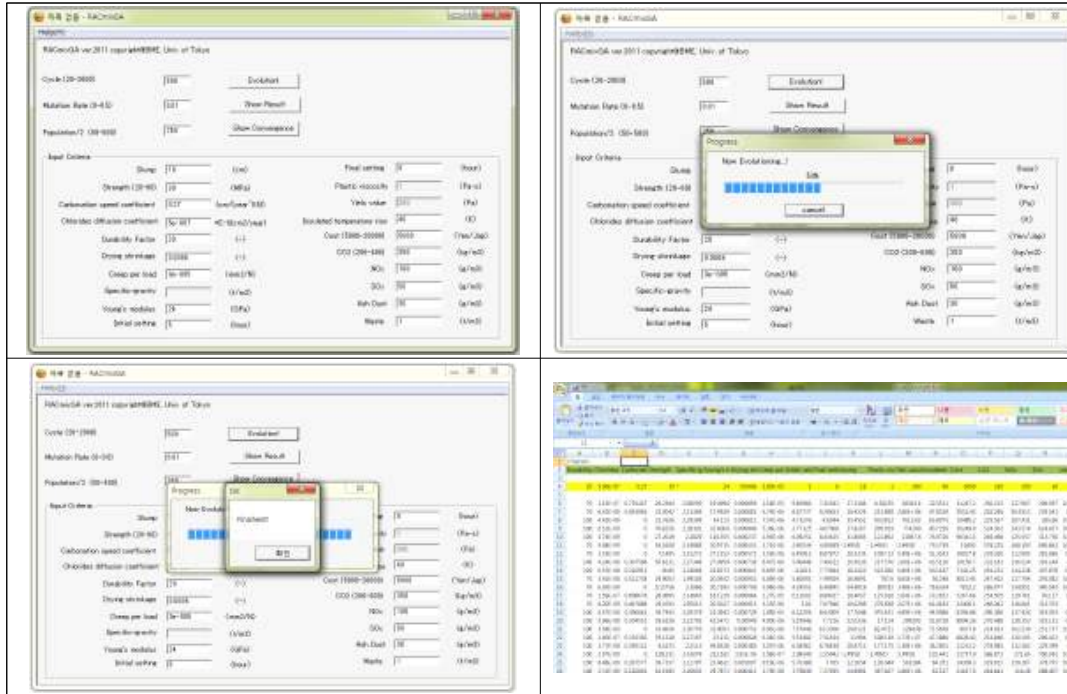
최적화 수법으로는 유전알고리즘을 적용함.

## 개질된 순환골재 콘크리트 적용기술(S/W, 최적 성능설계)개발 세부계획

| 연 차  | 세부연구목표                     | 주요 연구내용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1차년도 | 콘크리트<br>재료설계 최적화<br>(기반구축) | <ul style="list-style-type: none"> <li>최적화 설계기법 연구               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 유전알고리즘, 인공지능 신경회로망 등</li> </ul> </li> <li>콘크리트 최적 배합설계 기법               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 기존 연구사례/분석 및 적용방안</li> </ul> </li> <li>순환골재로 확대 적용한 콘크리트 배합설계 시스템 개발 방안 수립               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 국내외 순환골재 콘크리트 문헌조사</li> <li>② 재료 물성모델 제안/검증                   <ul style="list-style-type: none"> <li>- 표면개질 순환골재 품질 및 치환률에 따른 평가</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> |
|      | 성능기반설계<br>시스템 개발<br>(기반구축) | <ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 구성(안) 수립               <ul style="list-style-type: none"> <li>① 기개발 시스템(본 제안자 개발) 검증</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |



콘크리트 최적성능기반 시스템(S/W)개발 연구흐름도



개발 프로그램의 최적화 연산작용 예시

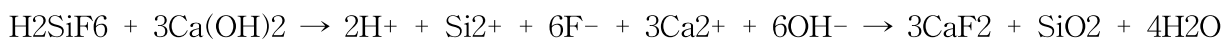
### 표면개질(pH저감 및 흡수율 저감)에 관한 매커니즘

인산석고 제조시 발생하는 부산물인 규불화수소산(고형분 20중량%)을 골재 중성화조에 투입한 후 순환골재 표면의 강알칼리 성분을 화학적으로 중성화하고 표면을 개질하는 방법을 아래와 같은 기초실험을 통하여 효과를 확인하였음.

| 시료명   | 침지조 농도 (%) | 통과 시간 (sec) | 첨가비율        |              | 콘크리트 압축강도 (MPa) |      |      | 처리 후 골재 (pH) |       |
|-------|------------|-------------|-------------|--------------|-----------------|------|------|--------------|-------|
|       |            |             | 잔골재         | 굵은 골재        | 3일              | 7일   | 28일  | 잔골재          | 굵은 골재 |
| 실시예 1 | 4          | 12          | 1wt%/1ton   | 1wt%/10ton   | 30              | 35   | 45   | 9.5          | 9.1   |
| 실시예 2 | 5          | 15          | 1wt%/1ton   | 1wt%/10ton   | 29              | 34   | 48   | 8.7          | 8.3   |
| 실시예 3 | 5          | 10          | 1wt%/1ton   | 1wt%/10ton   | 28.5            | 33   | 49   | 9.1          | 8.7   |
| 실시예 4 | 6          | 12          | 1wt%/1ton   | 1wt%/10ton   | 28              | 32   | 50   | 7.2          | 6.8   |
| 비교예 1 | 3          | 12          | 1wt%/1ton   | 1wt%/10ton   | 32              | 35   | 43   | 10.8         | 10.1  |
| 비교예 2 | 7          | 12          | 1wt%/1ton   | 1wt%/10ton   | 24.8            | 28.7 | 41   | 5.4          | 4.7   |
| 비교예 3 | 5          | 8           | 1wt%/1ton   | 1wt%/10ton   | 33              | 35   | 42   | 11.2         | 10.4  |
| 비교예 4 | 5          | 17          | 1wt%/1ton   | 1wt%/10ton   | 26              | 30   | 42.5 | 4.8          | 5.7   |
| 비교예 5 | 5          | 12          | 2wt%/1ton   | 2wt%/10ton   | 25              | 29   | 43   | 5.4          | 6.1   |
| 비교예 6 | 5          | 12          | 0.5wt%/1ton | 0.5wt%/10ton | 31.5            | 36   | 44   | 11.2         | 10.5  |
| 비교예 7 |            |             | 미처리 골재      |              | 34              | 37   | 43   | 12.5         | 12.4  |

세척조에 분산된 규불화수소산은 순환 골재 표면의 시멘트와 골재 표면의 수산화칼슘과 반응하여 표면에서 불화칼슘을 석출시키고 칼슘실리케이트 수화물을 과량 생성시킬 수 있다고 판단됨. 규불화수소산과 순환골재 부착모르타르 내 수산화칼슘의 반응식은 아래와 같음.

pH저감 매커니즘



표면개질 매커니즘



종래의 이산화탄소를 사용하는 경우, 고가의 드라이아이스 등을 사용하거나 하절기 이산화탄소 획득을 위한 불필요한 연소 과정을 없애고 순환골재의 중성화와 표면 개질을 유도함. 또한 산을 사용한 표면 중성화 처리에서 사용되는 고가의 아세트산이나 인산 등의 사용을 억제하고 산업부산물인 규불화수소산을 사용함으로 원가절감의 효과가 있을 것으로 판단됨.

또한 인산석고 제조 공정에서 부산물로 배출되는 규불화수소산은 상수도처리공정에서 불소화 사업에 이미 사용 중인 물질로 기존 처리기술에 비하여 상대적으로 환경성이 우수할 것으로 예상함.

## SCI논문 요약(해체공사 시나리오를 가정한 순환골재 리스크 평가)

RC구조물 해체와 폐기물 발생비율에 관한 예측은 그림 1과 같이 설명될 수 있다.1) 본 연구에서는 순환골재의 품질과 불순물이 가지는 리스크를 평가하기 위해 ①해체공사 시나리오의 가정, ②RC구조물의 발생폐기물 예측1), ③폐콘크리트의 내의 불순물량 예측, ④ 골재생산 공정상의 불순물 회수가능성, ⑤ 생산된 골재 내 잔존 불순물량의 예측의 순으로 진행하였다. 평가하기 위하여 표 1과 같이 5단계의 해체시나리오를 가정한 후, 발생 폐기물을 아래 식(1), (2)를 통하여 예측하였다.

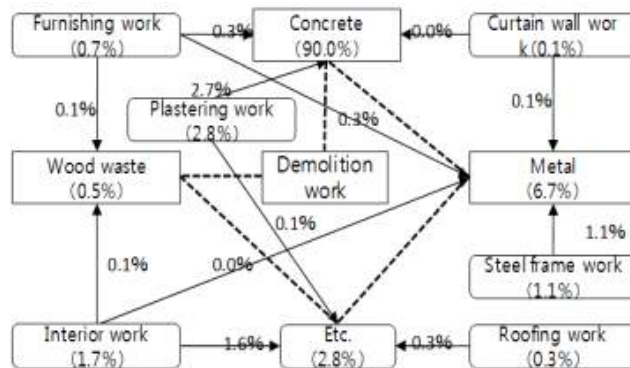


표 1. 해체공사 시나리오1)

|            |                         |
|------------|-------------------------|
| Scenario 1 | 4대 폐기물 분리해체, 내장재, 설비재   |
| Scenario 2 | 4대 폐기물 분리해체, 내장재, 구체중심  |
| Scenario 3 | 4대 폐기물 분리해체, 구체중심       |
| Scenario 4 | 4대 폐기물                  |
| Scenario 5 | Scenario 1 + Scenario 4 |

여기서, 4대 폐기물은 (아스팔트)콘크리트, 목재, 금속으로 가정.

$$W_{Total} = \alpha \times \beta_i \times \gamma_{ij} \times \delta_{ik} \times X_2 \quad (1)$$

$$W_{Each} = W_{Total} \times \varepsilon_{il} \quad (2)$$

여기서, WTotal은 구조물 전체중량, α와 X2는 바닥면적과 전체면적, βi, γij, δjk는 각각 구조요소, 구조물 용도 및 보정계수를 나타낸다. 예를 들어, RC구조주상복합 건축물의 경우, 폐콘크리트 발생량은 식(3)과 같고, 해체시나리오 1의 경우를 리스크가 없다고 가정하면, 순환골재 원료량의 비율은 식(4)~(6)과 같다.

$$W_{Concrete} = 1.42 \times 1.65 \times \gamma_{ij} \times 0.91 \quad (3)$$

$$W_{Concrete} = 0.9 \quad (4)$$

$$W_{RA} = 0.9 \times R_{process-A} \quad (5)$$

$$R_{process-A} = R_{RCA} + R_{RFA} \quad (6)$$

여기서, WConcrete, WRA, Rprocess-A, RRCA, RRFA는 폐콘크리트 총중량비, 순환골재 총중량, 생산방식A의 순환골재 회수율, 순환골재 회수율, 순환골재 회수율을 의미

표 2. 식 (1), (2)의 보정계수의 구성

| 구조  |   |   | $\alpha$<br>(t/m <sup>2</sup> ) | $\beta_i$ | $\delta_k$ |      |    |
|-----|---|---|---------------------------------|-----------|------------|------|----|
|     |   |   |                                 |           | 최소         | 기준   | 최대 |
|     |   |   |                                 |           | k          |      |    |
|     |   |   |                                 |           | 1          | 2    | 3  |
| SRC | i | 1 | 1.42                            | 1.60      | 0.80       | 1.00 | -  |
| RC  |   | 2 |                                 | 1.65      |            | -    | -  |

| 구조  |   |   | $\gamma_{ij}$ |             |       |      |      |
|-----|---|---|---------------|-------------|-------|------|------|
|     |   |   | 주택, 상가, 주상복합  | 창고, 사무실, 병원 | 공장 학교 | 기타   |      |
|     |   |   | j             |             |       |      |      |
|     |   |   | 1             | 2           | 3     | 4    | 5    |
| SRC | i | 1 | 0.90          | 1.00        | 1.05  | 1.10 | 1.15 |
| RC  |   | 2 |               |             |       |      |      |

| 구조  |   |   | $\varepsilon_{it}$ |      |      |      |        |      |
|-----|---|---|--------------------|------|------|------|--------|------|
|     |   |   | 콘크리트               | 기초   | 금속   | 목재   | 마감재 기타 | 설비   |
|     |   |   | 1                  |      |      |      |        |      |
|     |   |   | 1                  | 2    | 3    | 4    | 5      | 6    |
| SRC | i | 1 | 0.63               | 0.26 | 0.07 | 0.01 | 0.03   | 0.05 |
| RC  |   | 2 | 0.65               | 0.26 | 0.05 |      |        |      |

각 시나리오별 폐기물 발생량 예측은 표 3과 같다. 한편, 발생폐기물 중 폐콘크리트를 이용하여 골재를 생산할 경우, 해체시나리오 4를 기준으로 할 때, 표 3의 C의 발생량과 표 4에 기반한 폐콘크리트의 제조 방식별 혼합폐기물의 세부구성비율은 표 5와 같다. 한편, 순환골재의 불순물 구성 및 제한량은 표 6과 같고, 표 4에서 제시한 생산방식별 불순물 선별기능의 여부는 표 7과 같이 정리된다. 표 7을 이용하여 시나리오 4의 경우를 기준으로 표 8과 같이 순환골재 내 불순물 혼입량의 추정이 가능하다.

표 3. 해체공사 시나리오별 발생 폐기물 비율 예측

| 시나리오       | Total | C    | M    | W    | E    |
|------------|-------|------|------|------|------|
| Scenario 1 | 0.9   | 98   | 1.8  | 0.16 | 0.04 |
| Scenario 2 | 0.93  | 97.7 | 1.86 | 0.16 | 0.31 |
| Scenario 3 | 0.97  | 92.8 | 3.8  | 0.5  | 2.9  |
| Scenario 4 | 1.0   | 90   | 6.7  | 0.5  | 2.8  |
| Scenario 5 | 0.95  | 90.9 | 3.7  | 0.49 | 4.91 |

C = Concrete, M = Metal, W = Wood, E = etc.

표 4. 제조방식별 폐콘크리트 분류 및 회수

| 골재품질 | 순환골재 생산방식 |     | 굵은 골재(t) | 잔골재(t) | 노반재(t) | 잔여물(t) |
|------|-----------|-----|----------|--------|--------|--------|
| H    | 가열 분쇄식    | HS  | 0.35     | 0.3    | 0      | 0.35   |
| H    | 기계 분쇄식    | MS  | 0.3      | -      | 0.69   | 0.01   |
| H, M | 중량 선별     | GC  | 0.27     | 0.46   | 0.27   | -      |
| H    | 습식 분쇄     | WS  | 0.27     | 0.46   | 0.27   | -      |
| M, L | 파쇄+분쇄     | CS  | 0.25     | 0.35   | 0.4    | -      |
| M    | 다중파쇄+분쇄   | MCS | 0.25     | 0.40   | 0.35   | -      |
| M, L | 기계 파쇄     | MC  | 0.2      | 0.2    | 0.6    | -      |

골재품질 H, M, L은 JIS A 5021에 준함.

표 5. 혼합폐기물 세부구성비율(예, 시나리오 4의 경우)

| 생산방식 |      | 혼합폐기물의 세부구성비율 (추정, %) |     |     |     |
|------|------|-----------------------|-----|-----|-----|
|      |      | C                     | M   | W   | E   |
| 방식   | 생산   | 90                    | 6.7 | 0.5 | 2.8 |
| MC   | 순환골재 | 36.0                  | -   | -   | 2.8 |
|      | 부산물  | 54.0                  | -   | -   | -   |
|      | 폐기물  | -                     | 6.7 | 0.5 | -   |

표 6. 순환골재 불순물 구성 및 제한량 (JIS A 5021)

| 분류 및 구성 |          | 제한   | 분류 및 구성 |         | 제한   |
|---------|----------|------|---------|---------|------|
| A       | 타일, 세라믹  | 1.0% | D       | 무기질 보드  | 0.5% |
| B       | 유리       | 0.5% | E       | 플라스틱    | 0.2% |
| C       | 석고보드     | 0.1% | F       | 목재, 종이류 | 0.1% |
| G1      | 알루미늄, 아연 | 1.0% | G2      | 철재      | 미정   |

표 7. 생산방식별 불순물 선별기능

| 방식  | 불순물 분류 |   |   |   |   |   |    |    |
|-----|--------|---|---|---|---|---|----|----|
|     | A      | B | C | D | E | F | G1 | G2 |
| HS  | ○      | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ×  | ◎  |
| MS  | ○      | ○ | △ | △ | △ | △ | ×  | ○  |
| GC  | ○      | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ×  | ○  |
| WS  | ○      | ○ | ○ | ○ | ◎ | ◎ | ×  | ○  |
| CS  | ○      | ○ | △ | △ | △ | △ | ×  | △  |
| MCS | ○      | ○ | ○ | ○ | △ | △ | ×  | △  |
| MC  | ○      | ○ | ○ | ○ | △ | △ | ×  | ×  |

◎(매우우수) ○(우수) △(불량) ×(불가능)

이상과 같이, 예상 잔류량을 표 8과 같이 정리하여, 해체시나리오별, 생산별, 골재별 불순물에 대한 예측과 그에 따른 콘크리트에 대한 영향(표 9)을 대조하여 ISO/IEC Guide 51에서 제시하는 Risk-Map으로 나타내면, 표 10과 같이 순환골재를 사용한 콘크리트의 리스크가 평가될 수 있다.

표 8. 순환골재 내 불순물 혼입량 추정(예, 시나리오 4의 경우)

| 생산방식 | 순환골재비율        | 불순물         | 골재대비<br>질량비                | 불순물 조합의 가정(%) |     |     |     |     |     |     |     |
|------|---------------|-------------|----------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|      |               |             |                            | A             | B   | C   | D   | E   | F   | G1  | G2  |
|      | $W_{RA}$      | $W_{Total}$ | $\frac{W_{Total}}{W_{RA}}$ | 20            | 10  | 5   | 5   | 10  | 30  | 15  | 5   |
| MC   | 36.0          | 2.8         | 7.78                       | 1.6           | 0.8 | 0.4 | 0.4 | 0.8 | 2.3 | 1.2 | 0.4 |
|      | 불순물 선별후 최종추정량 |             |                            | 0.8           | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 1.8 | 1.2 | 0.4 |

표 9. 순환골재 불순물이 콘크리트 성능에 미치는 영향

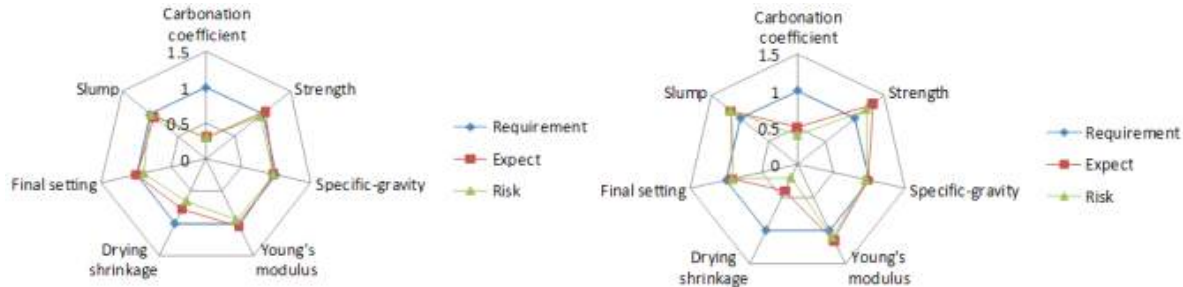
|    | 강도/<br>탄성계수 | 단위용적질<br>량 | 슬럼프 | 응결 | 중성화 | 염화이온<br>침투 | 동결융해 |
|----|-------------|------------|-----|----|-----|------------|------|
| A  | ○           | ×          | ×   | △  | ×   | ×          | ×    |
| B  | ○           | ×          | ×   | △  | ×   | ×          | ×    |
| C  | ○           | △          | ○   | ◎  | ×   | ◎          | ○    |
| D  | ○           | ×          | ×   | △  | ×   | ×          | ×    |
| E  | ○           | △          | ×   | △  | ×   | ×          | ×    |
| F  | ○           | △          | ◎   | ◎  | ×   | ◎          | ◎    |
| G1 | ◎           | ×          | ×   | ×  | ◎   | ×          | ×    |
| G2 | ○           | △          | ×   | ×  | ×   | △          | ×    |

여기서, ◎: 매우 큰 성능저하, ○: 성능저하, △: 약간의 성능저하, ×: 영향이 없거나 불확실함

표 10. 순환골재를 사용한 콘크리트의 리스크 평가 모델

| 불순물종류 및<br>중량비(%) |            | 순환골재 생산방식     |                     |             |                     |            |               | 리스크<br>범위 |
|-------------------|------------|---------------|---------------------|-------------|---------------------|------------|---------------|-----------|
|                   |            | HS            | GC, WS              | MS          | CS                  | MCS        | MC            |           |
| A~G               | 3<br>이상    | -             | S-5                 | S-3,4,5     | S-5                 | S-5        | S-3,4,5       | ◎         |
|                   |            |               | (B,C,D,E,F,G1)      |             | (A,B,C,D,E,F,G1,G2) |            |               |           |
| A~G               | 1~<br>3.0  | S-3,5<br>(G1) | S-4<br>(B,C,<br>G1) | -           | S-3,4               | S-3,4      | -             | O         |
|                   |            |               |                     |             | (B,C,D,E,F,G1)      |            |               |           |
| A~D<br>G          | 0.1~1.0    | S-4           | S-3<br>(B,C,<br>G1) | S-2<br>(G1) | S-2<br>(F)          | S-2<br>(F) | S-2<br>(F,G1) | △         |
| A~D, G1           | 0.05~0.1   | S-2           | S-2                 | -           | -                   | -          | -             |           |
| A, B, G1          | 0.05<br>이하 | S-1           | S-1                 | S-1         | S-1                 | S-1        | S-1           | ×         |
| S: 시나리오           |            | ×             |                     | △           |                     | O          |               | ◎         |

소정의 배합을 대상으로 동일한 순환골재의 해체공정, 생산시설(장비/수준), 불순물 선별을 고려하였을 경우와 고려하지 않았을 경우의 상대적인 순환골재 콘크리트의 물성 값은 아래와 같음. 낮은 해체수준, 저품질 골재, 저효율율의 생산라인에 속할수록 리스크가 크게 작용함.



#### 연구결론

1. 해체시나리오, 순환골재 생산방식, 순환골재 내 불순물 양을 추정하여, 이를 바탕으로 순환골재의 불순물에 대한 영향을 리스크 개념으로 가정하고 순환골재를 사용한 콘크리트의 성능 평가에 적용할 수 있는 모델로써 Risk-map을 제안
2. 순환골재를 사용한 콘크리트를 대량 생산/적용할 경우에는 순환골재 품질이 콘크리트 성능에 미치는 영향을 Risk개념으로 접근한 재료설계자의 판단이 요구(실험실 레벨과 대량 생산레벨의 순환골재 콘크리트의 품질은 동일하다고 볼 수 없다.)
3. 향후 국내 해체공사 및 다양한 건축물 용도, 폐기물 구성비율과 순환골재생산 방식에 따른 평가모델의 제안이 필요하다고 판단

실험적 연구는 아래 두가지 항목으로 구분된다.

1. 불화규산의 표면개질 효과검증
2. 습식 표면개질에서의 초음파 진동의 촉진반응 효과 검증

인산석고, 인산비료 등의 처리 및 제조과정에서 발생되거나 생산되는 대표적인 산업부산물인 불화규산은 아래 표와 같은 특성을 가지고 있는 강한 산성 물질이다.

Properties of H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>

|                          |                                                                                                        |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Molecular formula</b> | H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>                                                                        |
| <b>CAS no.</b>           | 16961-83-4                                                                                             |
| <b>Molecular weight</b>  | 144.11                                                                                                 |
| <b>Specific gravity</b>  | 1.2–1.46 (temp 25°C)                                                                                   |
| <b>pH</b>                | 1.0 (10% solution)                                                                                     |
| <b>Uses</b>              | Metal refinement, soil hardening agent, surface treatment agent, sterilizer, water system purification |

한편, 한국에서는 산업폐기물의 60%이상(중량비)을 건설폐기물이 차지하고 있다. 이 가운데, 콘크리트 폐기물은 70%이상을 차지하고 있으며, 이는 전체 산업폐기물의 40%에 해당하는 양이다. 이처럼 대량으로 발생하는 콘크리트 폐기물은 현재 90% 이상이 순환골재(Recycled aggregates)로 최종 처리되고 있으며, 재생산된 순환골재는 도로 기층재(노반재) 및 콘크리트용 순환골재로 재사용되고 있다. 하지만, 순환골재는 표면에 부착된 모르타르에 기인한 높은 흡수율과 낮은 비중을 가지고 있기 때문에 재사용 용도측면에서 콘크리트용으로 사용하기에 제한이 있다. 이에 따라, 대부분의 순환골재가 도로 기층재로 사용되고 있으나, 그 수요는 점차적으로 감소하고 있기 때문에, 콘크리트용 골재로서의 활용이 요구되고 있다. 또한, 순환골재는 골재 표면의 부착모르타르(시멘트경화체)에 다량으로 함유된 Ca(OH)<sub>2</sub>로 인한 알칼리 용출이 우려되고 장기적 관점에서 환경영향의 문제점을 가지고 있다.

따라서, 대량발생 및 재활용되고 있는 콘크리트 폐기물을 보다 친환경적이고 적극적으로 사용하기 위해서는, 현재 순환골재가 가지고 있는 낮은 흡수율과 알칼리용출에 대한 대책이 동시에 요구되며, 콘크리트용 골재로서의 사용하기 위한 품질개선도 요구된다.

화학적 메커니즘-1(pH 및 흡수율 저감)

화학반응식



불화규산과 순환골재의 표면에 부착된 모르타르(또는 페이스트) 내 수산화칼슘은 상기와 같은 화학적 반응을 일으킨다.

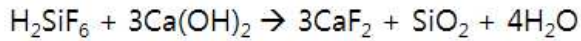
결과1: OH<sup>-</sup>의 저감에 따른 pH저감이 나타남

결과2: 수산화칼슘이 규불화수소산과 반응하면서 무기미분체인 CaF<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>가 생성되는 화학반응을 수반한다. 이와 같은 반응이 순환골재에 부착된 시멘트경화체 표면으로부터 내부로 점차 진행되고, 시멘트 매트릭스가 더욱 치밀해지는 것으로 판단된다. **흡수율의**

저하와 그에 따른 비중의 증가는 이와 같은 시멘트 경화체 내부 매트릭스의 치밀화로 인한 공극의 충전효과 결과이다(화학분석시험결과 참조).

화학적 메커니즘-2(발열반응)

상기 기본 화학반응식의 엔탈피 분석은 아래와 같이 요약된다.



$$\Delta H_f \text{ of } \text{H}_2\text{SiF}_6 = -557 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H_f \text{ of } \text{Ca}(\text{OH})_2 = -235.58 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H_f \text{ of } \text{CaF}_2 = -290.2 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H_f \text{ of } \text{SiO}_2 = -202 \text{ kcal/mol}$$

$$\Delta H_f \text{ of } \text{H}_2\text{O} = -68.3 \text{ kcal/mol}$$

$$\text{Total } \Delta H = \{3 \times (-290.2) + (-202) + 4 \times (-68.3)\} - \{-557 + 3 \times (-235.58)\} = -82.06 \text{ kcal/mol}$$

( $\Delta H < 0$ : 발열,  $\Delta H > 0$ : 흡열)

불화규산을 활용한 화학적 처리방법은 발열반응에 해당한다.

습식처리에서 환경(외기온도)의 영향을 고려할 때, 본 발명에서 제안하는 방법은 동절기에도 효과적으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

특히, 물리적 외력(기계적 교반, 3~5분)과 함께 화학적 반응을 동시에 진행한다면 매우 빠른 효과(pH 및 흡수율 저감)가 기대된다.

## 1. 불화규산의 표면개질 효과검증

### 1.1 시험평가 목적

순환골재는 천연골재와 비교하여 흡수율과 비중에 기인한 물리적 특성이 떨어지고 따라서 이를 이용한 순환골재콘크리트 역시 압축강도를 비롯한 제본 공학적 특성이 저하되어, 기술적 신뢰도가 낮은 실정이다. 이에 본 시험분석(이하, 과업)의 주요 목적은 순환골재(잔골재에 국한함) 표면개질 및 평가를 위하여 순환골재 개질용 용액 적정, 개질순환골재 혼입 모르타르의 기초물성 및 평가시험(화학분석을 포함함)을 진행하는데 그 목적이 있다.

### 1.2 시험평가 내용 및 범위

시험은 순환잔골재로부터 용출되는 알칼리에 의한 pH변화를 비롯한 순환잔골재 개질을 위한 수용액 적정 특성 및 개질된 순환잔골재를 혼입한 모르타르의 기초물성 시험을 진행한다.

- 1) 순환잔골재 pH측정시험
- 2) 순환잔골재 개질을 위한 불화규산 수용액 적정 시험
- 3) 개질 순환잔골재 혼입 모르타르의 물성시험

|                             |                                 |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 순환잔골재 pH 측정시험               | 증류수 침지 후 pH 측정                  |
|                             | 일반교반 시간에 따른 pH 측정 (증류수)         |
| 순환잔골재 개질을 위한 불화규산 수용액 적정 시험 | 불화규산 침지 후 pH 측정                 |
|                             | 약품교반 시간에 따른 pH 측정 (불화규산)        |
| 개질 순환잔골재 혼입 모르타르의 물성시험      | 응결시간, 밀도, 흡수율, 휨강도, 압축강도        |
|                             | 화학분석 실험 (SEM, TG/DTA, MIP, XRD) |

### 1.2 시험체 계획 및 방법

1장 실험목적에 따라 시험체 제작을 아래와 같이 계획한다.

불화규산 적정 시험의 변수 설정은 불화규산 농도에 따른 pH 및 교반시간에 따른 pH값으로 구분한다. 또한, 모르타르 물성시험은 일반잔골재, 순환잔골재 및 불화규산으로 개질된 순환잔골재의 혼입으로 구분한다. 모르타르 시험체는 40×40×160 mm 시험체로 제작하여 기초물성 및 미세분석을 실시한다.

#### 1) pH측정

pH측정은 순환골재를 증류수 및 (불화규산) 수용액 침지 전/후, 교반시간에 따라 각 3회씩 측정하였으며, 그 평균값을 기록하였다.

#### 2) 비중/흡수율시험

순환잔골재의 비중 및 흡수율은 KS F 2504에 준하여 실시하였다. 대상은 천연잔골재 1종, 순환잔골재 1종, 개질순환잔골재 1종으로 실시하였다.

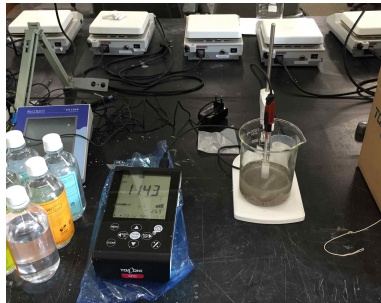
#### 3) 모르타르 플로우, 응결 및 휨강도, 압축강도

플로우, 응결 및 압축강도 시험은 천연잔골재, 순환잔골재, 개질순환잔골재를 혼입하여 모르

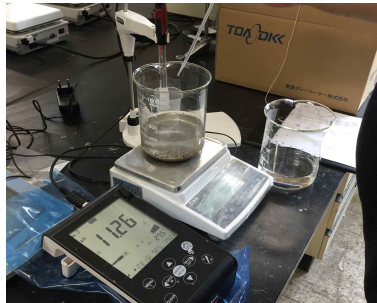
타르 시험체를 제작하였고, 각각 KS F 2402, 2436, 2405에 준하여 측정하였다.

#### 4) 화학분석시험

화학시험분석은 SEM, TG/DTA, MIP, XRD 네가지이며, 물리역학적 시험을 기반으로 우수한 결과를 나타낸 3가지 수준에 대하여 시험을 실시하였다.



pH 측정



불화규산 적정



순환잔골재 개질



비중/흡수율 시험



모르타르 시험체



플로우 시험



응결 시험



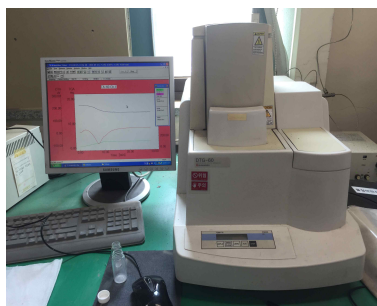
힘강도 시험



압축강도 시험



SEM 측정시험



TG/DTA 측정시험



MIP 측정시험

그림 2.1 주요시험 수행 사진

#### 1.4 순환잔골재 교반시간에 따른 pH

본 과업에 적용된 순환잔골재에 대하여 증류수에 침지 시 교반시간에 따라 pH를 측정한 시험결과는 아래와 같이 요약된다.

| 구분 | 교반시간에 따른 pH |       |       |       | 비고          |
|----|-------------|-------|-------|-------|-------------|
|    | 0분          | 1분    | 3분    | 5분    |             |
| 1  | 10.67       | 11.26 | 11.43 | 11.51 | 2회 이상 측정 평균 |
| 2  | 10.36       | 11.29 | 11.44 | 11.57 |             |
| 3  | 10.60       | 11.30 | 11.32 | 11.53 |             |
| 4  | 10.44       | 11.28 | 11.45 | 11.51 |             |

본 실험에서 선정된 순환잔골재는 증류수에 침지 시, 약 10.51정도의 pH가 나타났으며, 교반 시간에 따라 pH가 증가하는 것으로 나타났다.

#### 1.5 불화규산 혼입 및 교반시간에 따른 pH I

3.1에서 5분간 교반하여 용출된 순환잔골재가 혼입된 용액에 불화규산을 혼입, 교반시간에 따라 pH를 측정한 시험결과는 아래와 같이 요약된다.

| 구분     | 교반 전 pH | 교반시간에 따른 pH |      |      |       | 비고             |
|--------|---------|-------------|------|------|-------|----------------|
|        |         | 0분          | 1분   | 3분   | 5분    |                |
| 8g 혼입  | 11.53   | 4.39        | 5.85 | 9.84 | 10.32 | 2회 이상 측정<br>평균 |
| 10g 혼입 | 11.52   | 3.84        | 4.89 | 8.24 | 9.52  |                |
| 12g 혼입 | 11.51   | 3.63        | 4.17 | 6.58 | 8.64  |                |

용출된 순환잔골재에 대하여 불화규산을 8g, 10g, 12g을 투입한 경우의 특성을 평가한 결과, 불화규산 투입 직후 pH는 5.0이하의 산성영역을 나타내었으며, 교반 시간 3분 이후로 불화규산 10g이하에서는 약 알칼리상태인 10이하의 pH를 나타냄. 최대 5분 교반 시간 동안의 10이하의 pH영역을 갖는 것은 10g이상의 불화규산이 요구된다.

#### 1.6. 불화규산 혼입 및 교반시간에 따른 pH II

3.2의 시험은 3.1에서 용출된 순환잔골재를 이용하여 교반을 실시하는 2단계의 공정으로 실시하였으며, 3.3에서는 증류수에 순환잔골재를 투입, 불화규산을 혼입 후 교반을 실시하는 1단계 공정으로 pH를 측정하였으며, 시험결과는 아래와 같이 요약된다.

| 구분     | 교반 전 pH | 불화규산 혼입 후 교반시간에 따른 pH |      |       |       | 비고             |
|--------|---------|-----------------------|------|-------|-------|----------------|
|        |         | 0분                    | 1분   | 3분    | 5분    |                |
| 4g 혼입  | 10.64   | 3.80                  | 9.15 | 10.78 | 11.04 | 2회 이상 측정<br>평균 |
| 6g 혼입  | 10.45   | 3.50                  | 6.54 | 9.24  | 10.20 |                |
| 8g 혼입  | 10.36   | 3.30                  | 4.01 | 8.04  | 9.80  |                |
| 10g 혼입 | 10.52   | 3.00                  | 3.52 | 7.85  | 8.24  |                |

순환잔골재를 증류수에 투입 후, 불화규산을 4g, 6g, 8g, 10g을 혼입한 경우의 특성을 평가한 결과, 비 용출된 순환잔골재에 대하여 불화규산 투입 직후 pH는 3.0이하의 산성영역을 나타내었으며, 이 시험체를 각각 교반한 경우 pH는 불화규산의 투입량과 반비례하여 상승하는 것으로 나타났다.

#### 1.7 비중 및 흡수율

본 과업에 적용된 일반잔골재, 순환잔골재, 개질 순환잔골재에 대해 수행된 흡수율 시험결과는 아래와 같이 요약된다. 일반잔골재와 비교하여 순환골재 및 개질순환골재의 흡수율이 높은 것으로 나타났으며, 개질을 통하여 순환골재의 흡수율을 저감시킬 수 있는 것으로 판단된다. 흡수율 저감에 따른 비중의 상승도 동반됨이 확인되었다.

| 구분   | 흡수율  | 비중   | 비고          |
|------|------|------|-------------|
| 일반   | 0.54 | 2.54 | 2회 이상 측정 평균 |
| 순환   | 4.27 | 2.19 |             |
| 개질순환 | 3.85 | 2.27 |             |

### 1.8 모르타르 플로우, 응결

일반잔골재, 순환잔골재, 개질 순환잔골재를 사용한 모르타르의 플로우 및 응결은 아래 표와 같이 요약된다. 순환잔골재는 일반잔골재에 비하여 상대적으로 플로우가 작았으며, 개질 순환잔골재의 플로우는 순환잔골재의 경우보다 플로우가 큰 것으로 확인된다. 순환골재 입형 및 높은 흡수율로 인하여 낮은 플로우가 나타나며, 개질을 통하여 골재 성능이 향상되는 것으로 판단된다. 모르타르 응결에서는 상대적인 차이가 있었으나 모든 수준에서 초결 및 종결은 규정범위를 만족하는 것으로 나타났다.

| 구분   | 플로우(mm) | 초결(분) | 종결(분) | 비고      |
|------|---------|-------|-------|---------|
| 일반   | 180     | 250   | 450   | 2회이상 측정 |
| 순환   | 130     | 200   | 400   |         |
| 개질순환 | 150     | 220   | 410   |         |

### 1.9 휨강도

일반잔골재, 순환잔골재, 개질 순환잔골재를 사용한 모르타르의 휨강도 시험 결과를 아래 표와 같이 요약한다. 시험결과, 모든 시험체는 양생기간의 증가에 따라 휨강도가 증가하였으며, 골재 종류에 따라 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

| 구분   | 휨강도 (MPa) |      |      | 비고    |
|------|-----------|------|------|-------|
|      | 3일        | 7일   | 28일  |       |
| 일반   | 3.38      | 4.46 | 6.15 | 3회 측정 |
| 순환   | 3.13      | 3.87 | 6.12 |       |
| 개질순환 | 3.09      | 4.22 | 5.03 |       |

### 1.10 압축강도

일반잔골재, 순환잔골재, 개질 순환잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도 시험 결과를 아래 표와 같이 요약한다. 시험결과는 일반골재와 비교하여 순환골재 시험체의 강도가 낮은 것으로 나타났으며, 순환골재를 개질한 경우 일반골재의 강도값에 도달하지는 못하였으나, 개질 전 순환골재 시험체 보다 강도값이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 개질과정을 통하여 골재의 흡수율이 낮아져 강도발현에 유리한 것으로 판단된다. 잔골재의 특성상 골재의 함수율을 제어하는 것은 매우 어려우나, 이를 감안하더라도 개질을 통한 골재품질의 향상과 모르타르 압축강도의 관계가 분명하게 나타났다.

| 구분   | 압축강도 (MPa) |       |       | 비고    |
|------|------------|-------|-------|-------|
|      | 3일         | 7일    | 28일   |       |
| 일반   | 15.35      | 20.11 | 22.70 | 3회 측정 |
| 순환   | 12.03      | 13.67 | 16.20 |       |
| 개질순환 | 10.88      | 16.91 | 17.16 |       |

### 1.11 SEM(주사전자현미경) 분석

4장의 모르타르 시험체에서 분석시료를 채취, SEM 분석을 실시한 결과는 아래과 같이 나타난다.

SEM분석에서 그림 5.2와 5.3은 각각 순환잔골재 불화규산처리 전과 후의 분석임.

이 가운데, 그림 5.2의 b, f와 그림 5.3의 b, f를 비교하면, 확연한 미세구조 차이가 나타난다. 불화규산 처리 후의 순환잔골재를 사용한 모르타르(그림 5.3)에서 보다 치밀한 구조(침상형 조직, C-A-S-H, 에트링자이트( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ )가 나타났다. 이것은 일반골재를 사용한 모르타르의 분석결과와 상대적으로 유사하다.

EDS분석에서 그림 5.4의 d, f는 각각 불화규산 처리 전 후의 순환잔골재를 나타낸다.

f(불화규산 처리 후)의 경우, O, Si, Ca가 상대적으로 분포가 높다고 볼 수 있다.

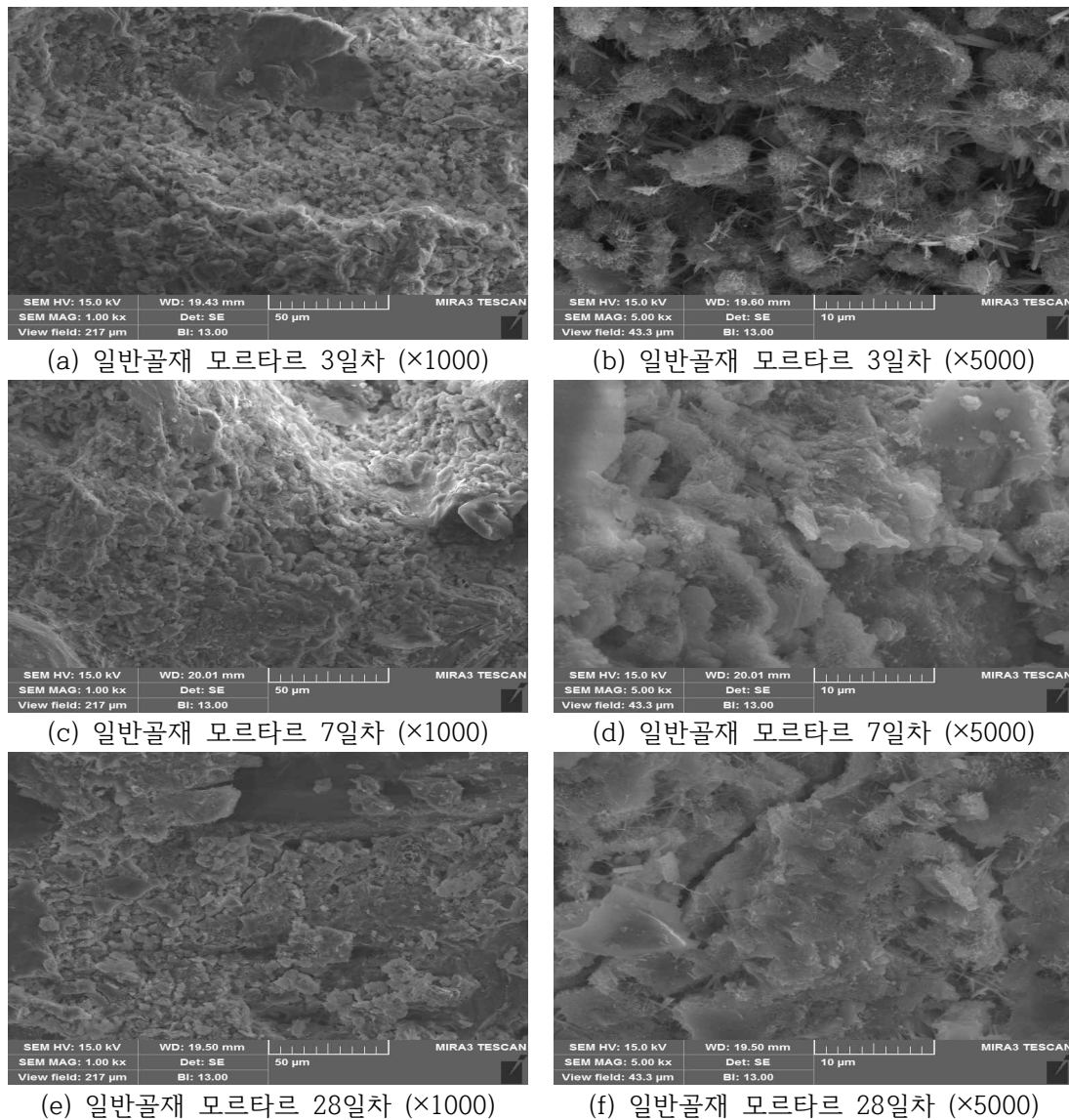
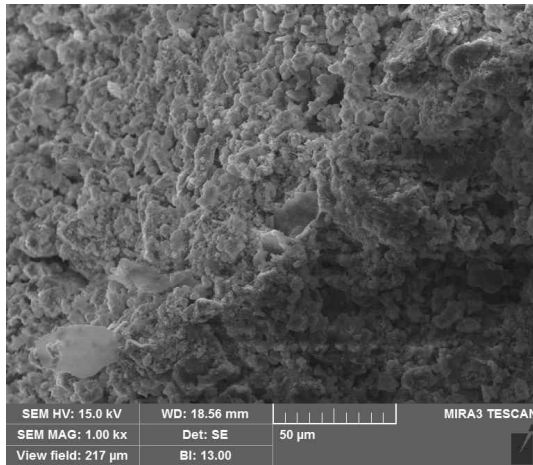
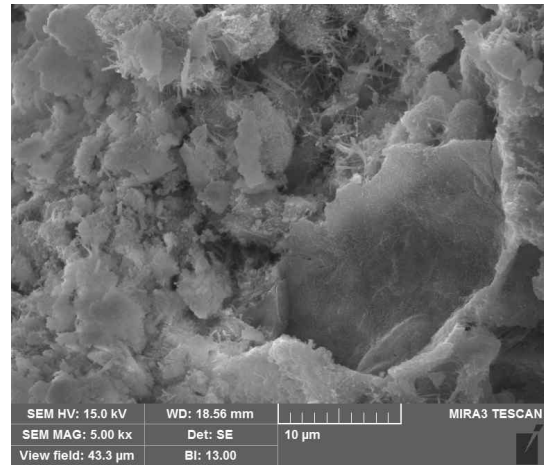


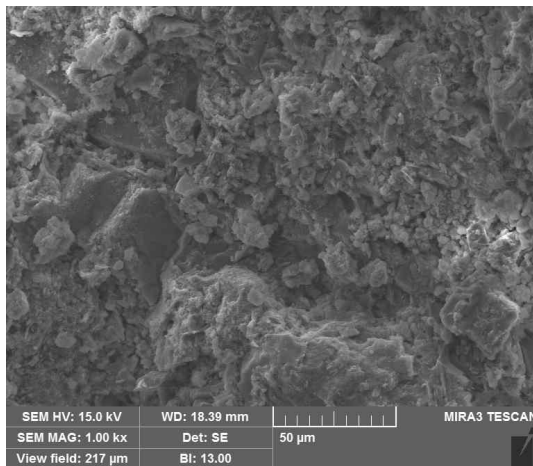
그림 5.1 일반골재 모르타르 양생별 SEM 분석



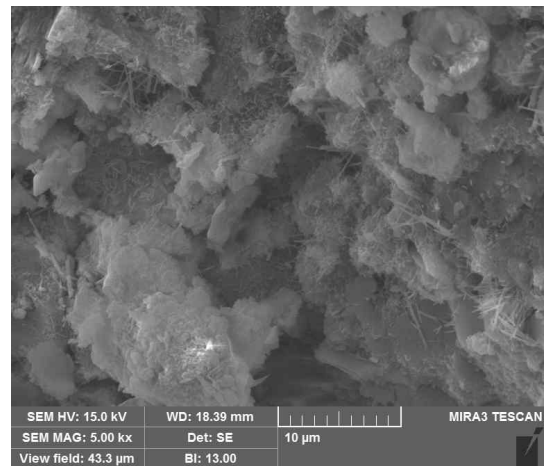
(a) 순환골재 모르타르 3일차 (×1000)



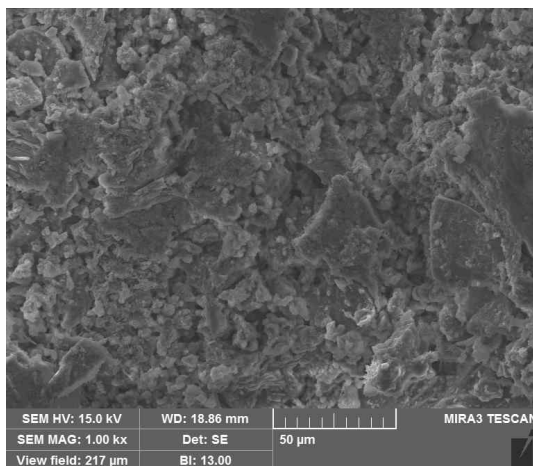
(b) 순환골재 모르타르 3일차 (×5000)



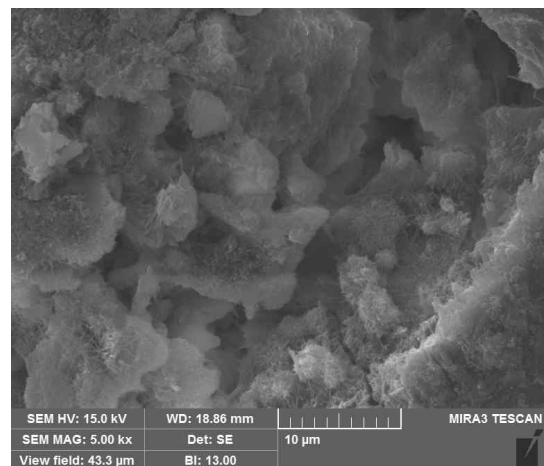
(c) 순환골재 모르타르 7일차 (×1000)



(d) 순환골재 모르타르 7일차 (×5000)

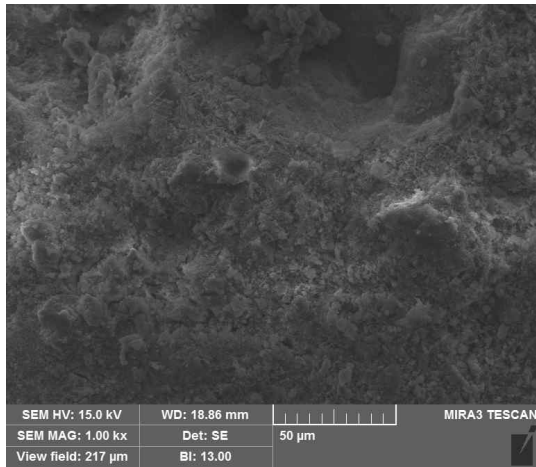


(e) 순환골재 모르타르 28일차 (×1000)

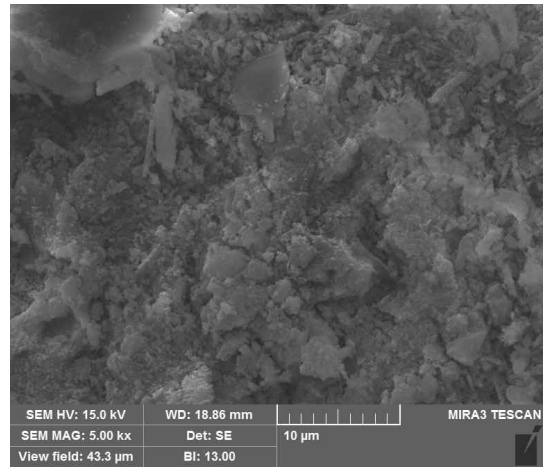


(f) 순환골재 모르타르 28일차 (×5000)

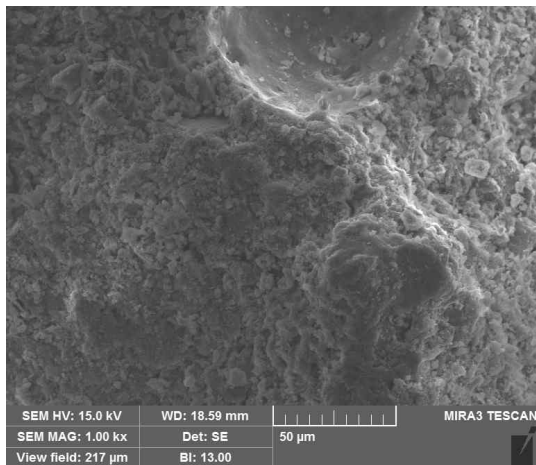
그림 5.2 순환골재 모르타르 양생별 SEM 분석



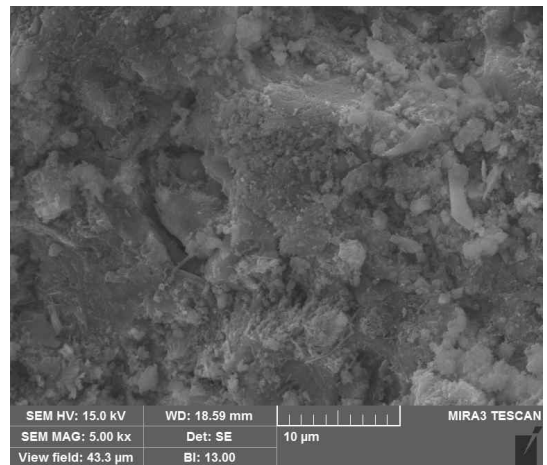
(a) 개질순환골재 모르타르 3일차 (×1000)



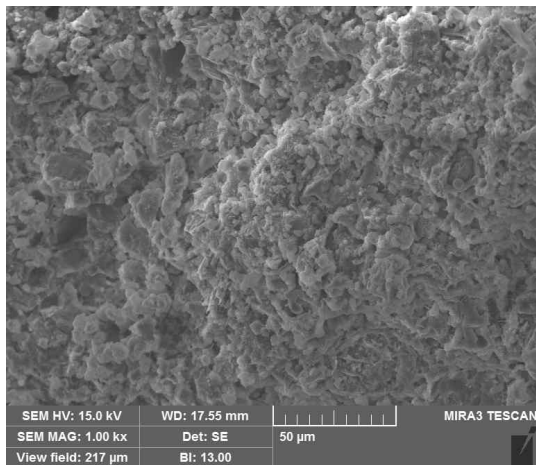
(b) 개질순환골재 모르타르 3일차 (×5000)



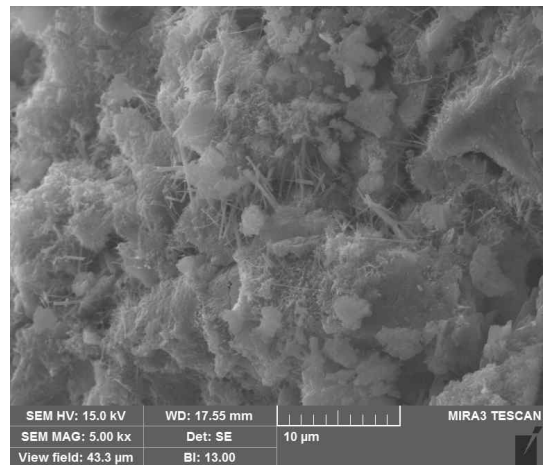
(c) 개질순환골재 모르타르 7일차 (×1000)



(d) 개질순환골재 모르타르 7일차 (×5000)

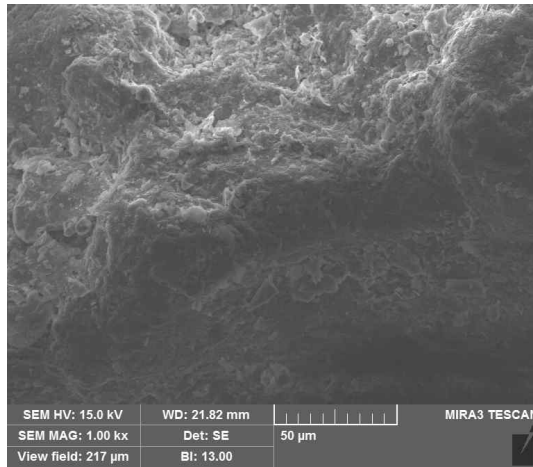


(e) 개질순환골재 모르타르 28일차 (×1000)

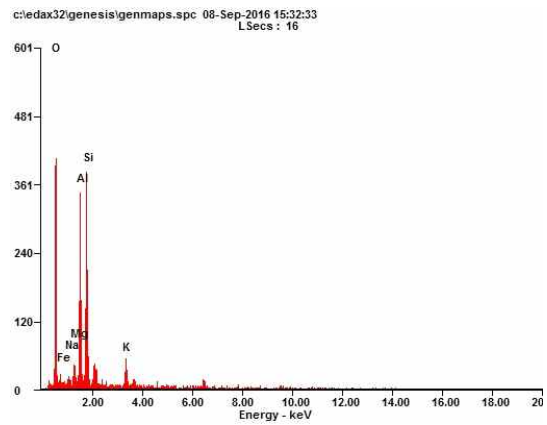


(f) 개질순환골재 모르타르 28일차 (×5000)

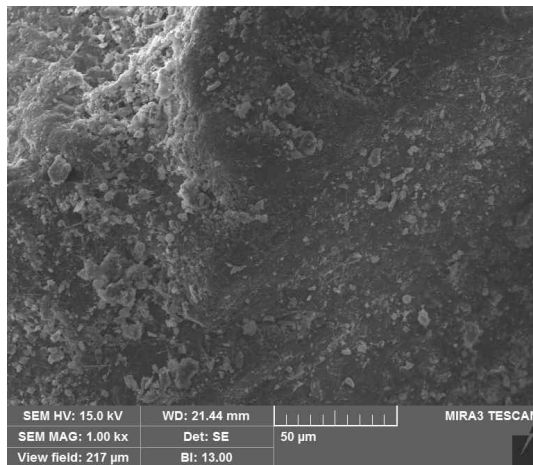
그림 5.3 개질순환골재 모르타르 양생별 SEM 분석



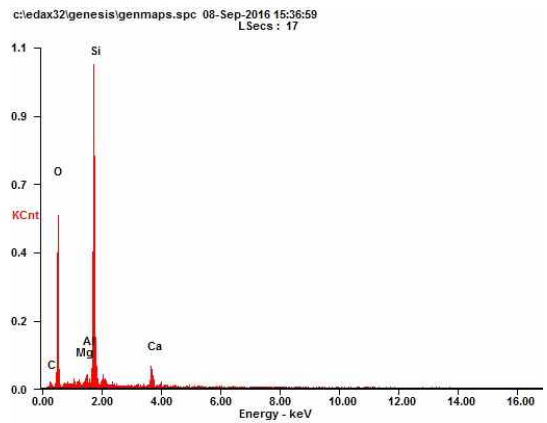
(a) 일반골재 (×1000)



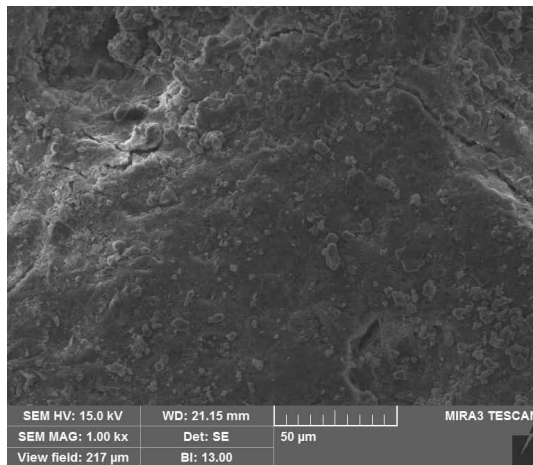
(b) 일반골재 성분분석



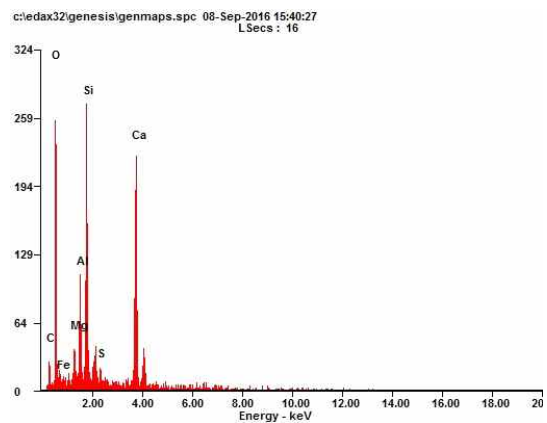
(c) 순환골재 (×1000)



(d) 순환골재 성분분석



(e) 개질순환골재 (×1000)



(f) 개질순환골재 성분분석

그림 5.4 일반골재, 순환골재, 개질순환골재 SEM/EDS 분석

## 1.12 TG/DTA(수화물 탈수온도) 분석

아래 그림은 TG-DTA를 나타낸 그래프이다. DTA상에서 100℃까지는 경화체 내의 물리적 결합수가 증발하였으며, 이후 140~180℃사이에서 C3A 에트링가이트가, 270~330℃사이에서 에트링가이트와 알루미늄에이트게 수화물이, 570℃부근에서 알루미늄에이트게 수화물의 물리적 탈수가 발생하는 것으로 나타났다. 순환골재, 개질순환골재 모르타르의 경우, 일반골재 모르타르보다 상대적으로 수산화칼슘의 함유량이 낮은 것으로 나타났으며, 탄산칼슘의 함유량은 일반골재, 개질순환골재 모르타르가 순환골재 모르타르에 비해 낮게 측정되는 결과, 불화규산을 이용

한 순환골재의 개질이 유효한 것으로 판단된다.

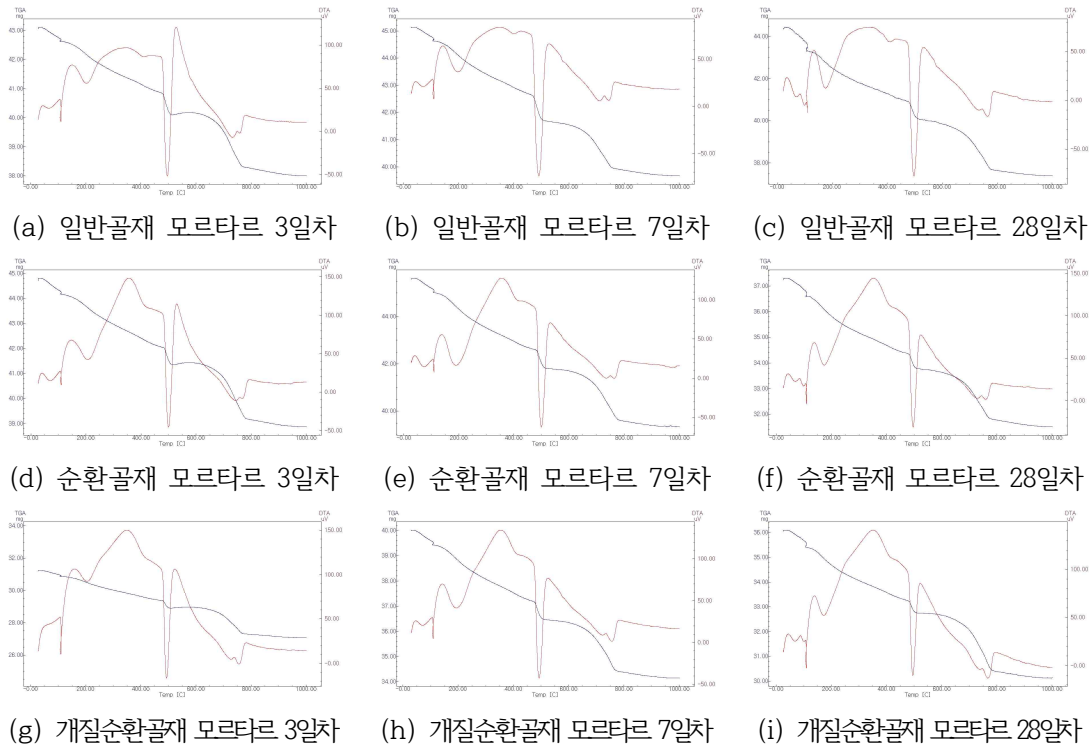


그림 5.5 일반골재, 순환골재, 개질순환골재 모르타르 TG/DTA 분석

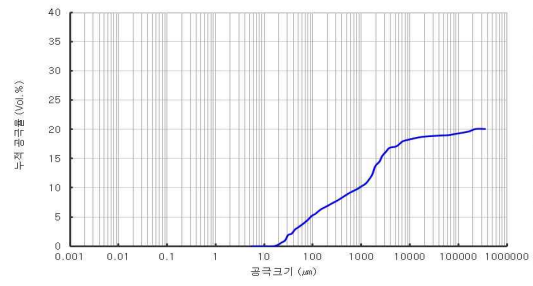
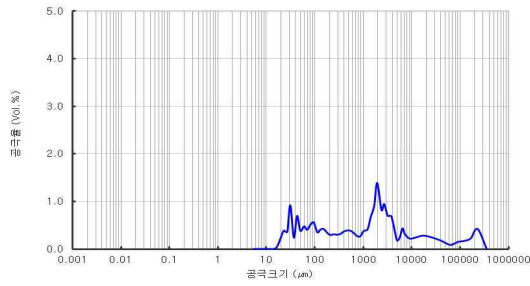
| 구분         | Ca(OH) <sub>2</sub> 함유율 (%) | CaCO <sub>3</sub> 함유율 (%) | 비고                                                                                                                                                |
|------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 일반 (3일)    | 2.96                        | 4.54                      | - 모든 시료는 Ca(OH) <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> 열분해 구간에서 중량변화가 발생하며, 이에 따라 분석시료 내에 Ca(OH) <sub>2</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub> 가 존재하고 있는 것으로 판단된다. |
| 일반 (7일)    | 3.95                        | 4.18                      |                                                                                                                                                   |
| 일반 (28일)   | 3.12                        | 5.56                      |                                                                                                                                                   |
| 순환 (3일)    | 2.71                        | 5.33                      |                                                                                                                                                   |
| 순환 (7일)    | 2.75                        | 5.20                      |                                                                                                                                                   |
| 순환 (28일)   | 2.42                        | 4.65                      |                                                                                                                                                   |
| 개질순환 (3일)  | 2.18                        | 3.97                      |                                                                                                                                                   |
| 개질순환 (7일)  | 3.00                        | 4.88                      |                                                                                                                                                   |
| 개질순환 (28일) | 2.22                        | 5.54                      |                                                                                                                                                   |

### 5.3 MIP(수은압입법에 의한 기공율) 분석

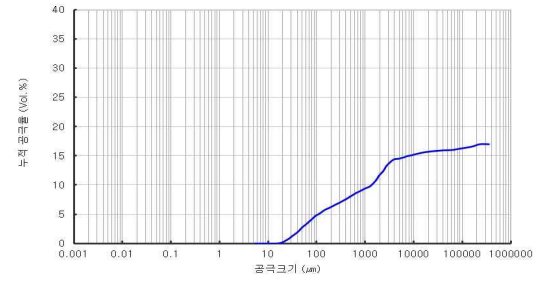
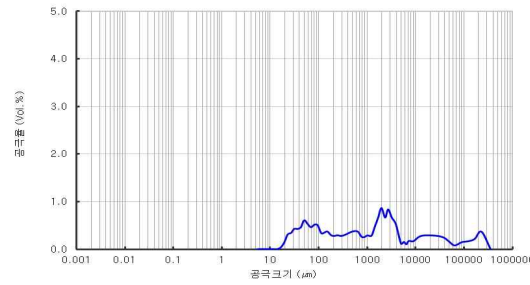
아래 표는 미세공극 분석표이다.

| 구분         | Total intrusion Vol. (mL/g) | Total Pore Area (m <sup>2</sup> /g) | Average Pore Diameter (nm) | Porosity (%) |
|------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------|
| 일반 (3일)    | 0.1044                      | 2.899                               | 144.0                      | 20.0254      |
| 일반 (7일)    | 0.0848                      | 2.389                               | 142.1                      | 16.9476      |
| 일반 (28일)   | 0.0842                      | 2.783                               | 121.0                      | 16.9502      |
| 순환 (3일)    | 0.1068                      | 5.646                               | 75.7                       | 20.2949      |
| 순환 (7일)    | 0.0887                      | 1.315                               | 269.8                      | 16.7423      |
| 순환 (28일)   | 0.0865                      | 1.292                               | 267.9                      | 15.9907      |
| 개질순환 (3일)  | 0.1039                      | 1.770                               | 234.7                      | 19.4283      |
| 개질순환 (7일)  | 0.0761                      | 0.723                               | 421.3                      | 14.5711      |
| 개질순환 (28일) | 0.0846                      | 0.573                               | 590.2                      | 15.9030      |

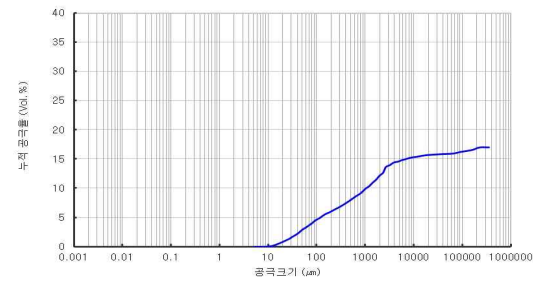
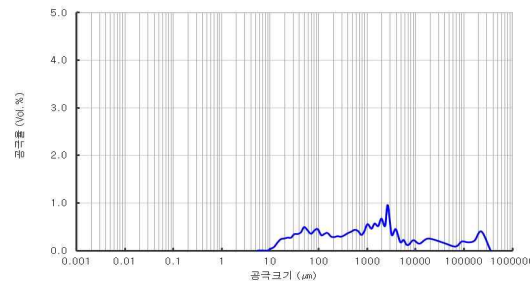
아래 그림에서 좌측열은 미세공극분포, 우측열은 누적공극분포곡선을 나타낸다.



일반잔골재 모르타르 (3일)

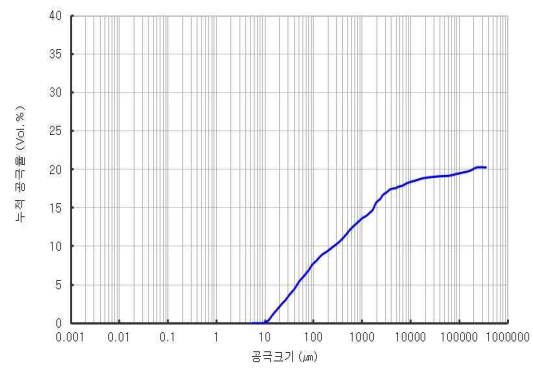
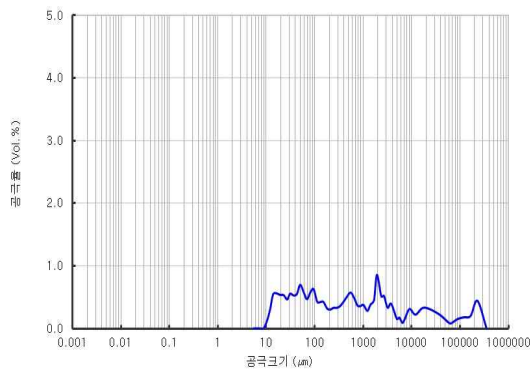


일반잔골재 모르타르 (7일)

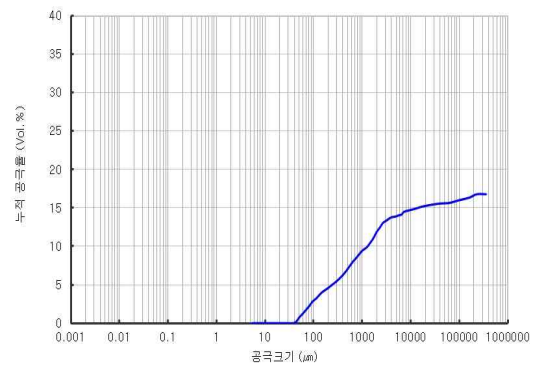
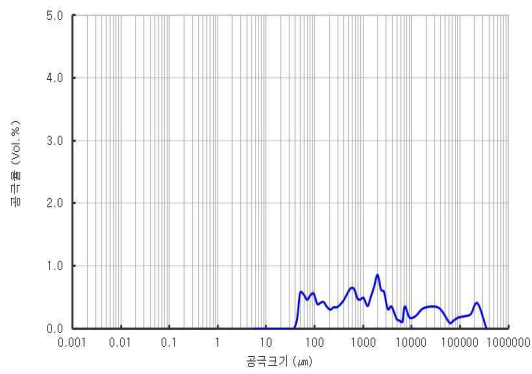


일반잔골재 모르타르 (28일)

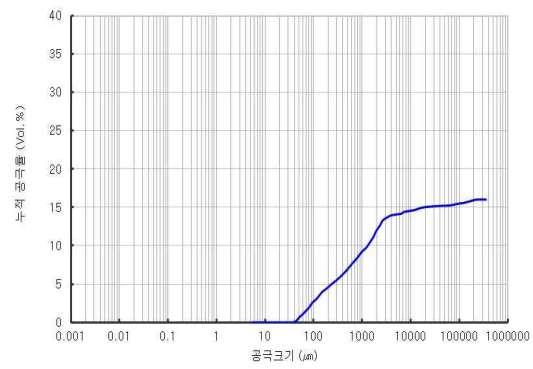
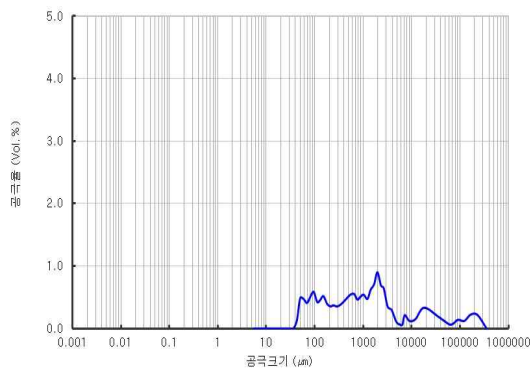
그림 5.6 일반골재 모르타르 미세공극분포 및 누적공극분포



순환잔골재 모르타르 (3일)

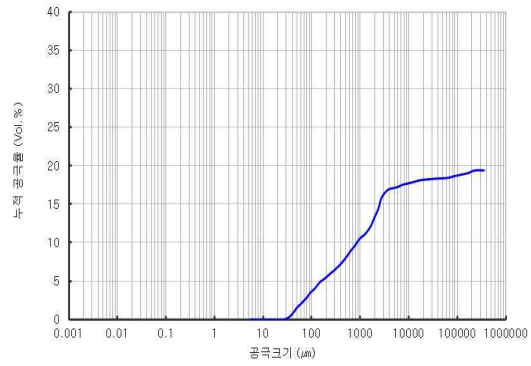
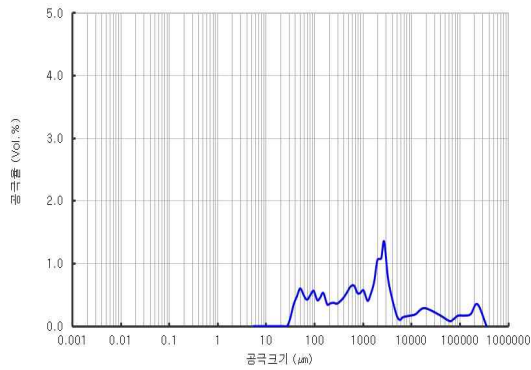


순환잔골재 모르타르 (7일)

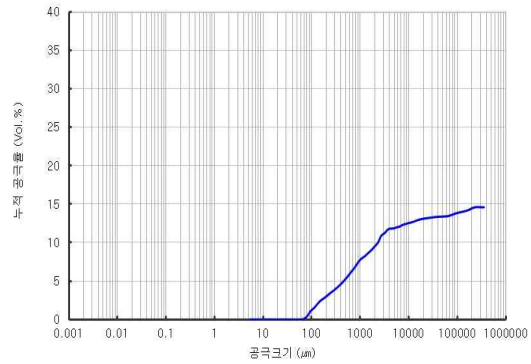
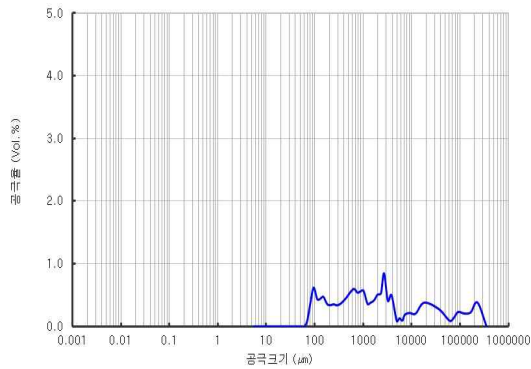


순환잔골재 모르타르 (28일)

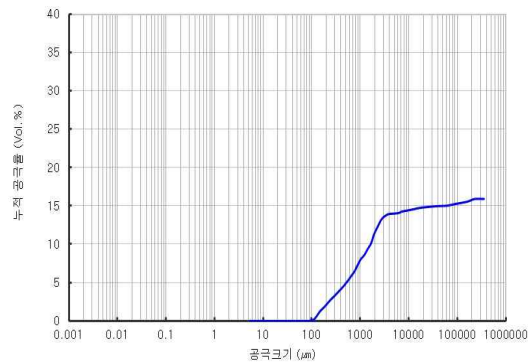
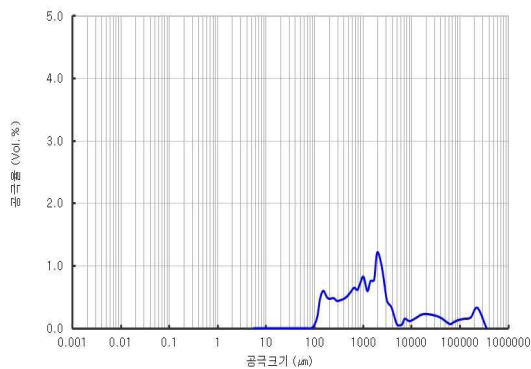
그림 5.7 순환골재 모르타르 미세공극분포 및 누적공극분포



개질순환잔골재 모르타르 (3일)



개질순환잔골재 모르타르 (7일)



개질순환잔골재 모르타르 (28일)

그림 5.8 개질 순환골재 모르타르 미세공극분포 및 누적공극분포

### 1.13 XRD(X선 회절분석법) 분석

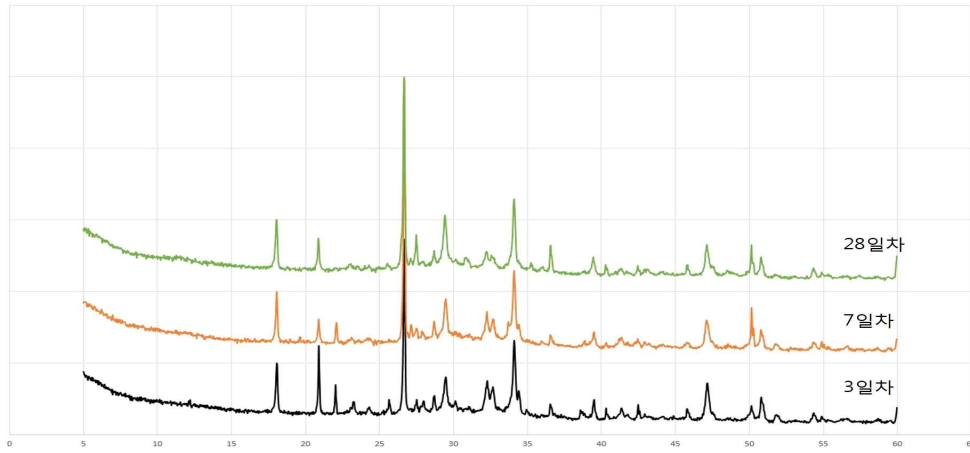
일반골재, 순환골재, 개질순환골재를 이용한 모르타르 시험체에 관한 XRD 성분분석을 실시하였으며, 그 결과를 아래와 같이 요약한다.

재령별 발달 과정 중 미개질의 경우 모노설페이트의 생성량이 초기에 낮은 편이나 28일에는 다른 배합과 유사한 경향 에트링 가이트에서 모노설페이트의 전이가 늦어진다는 것은 수화속도가 느리다는 것을 의미함.

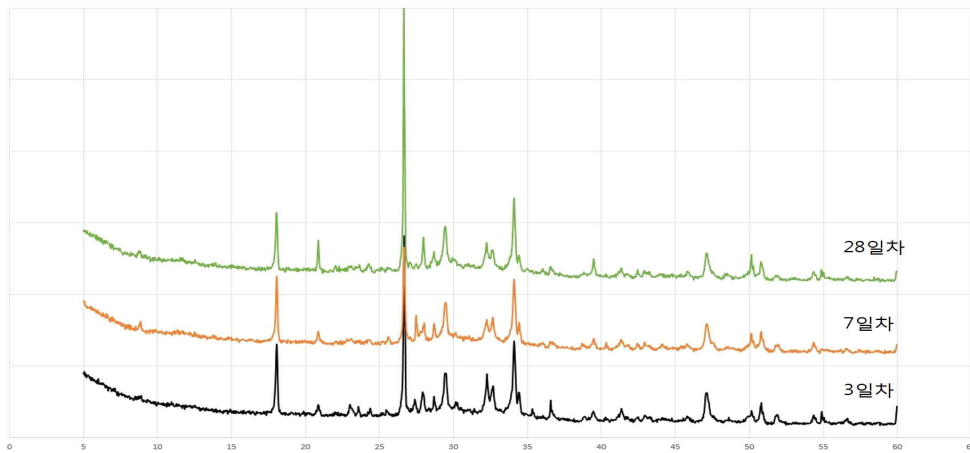
미개질 골재를 사용할 경우 수산화칼슘양에 의해 수화속도가 빠른 것으로 오인할 수도 있으나 초기 모노설페이트의 출현이 늦어지는 것은 수화속도가 감소되는 것으로 판단할 수 있음.

개질의 경우 CSH 피크 상대적으로 높음.

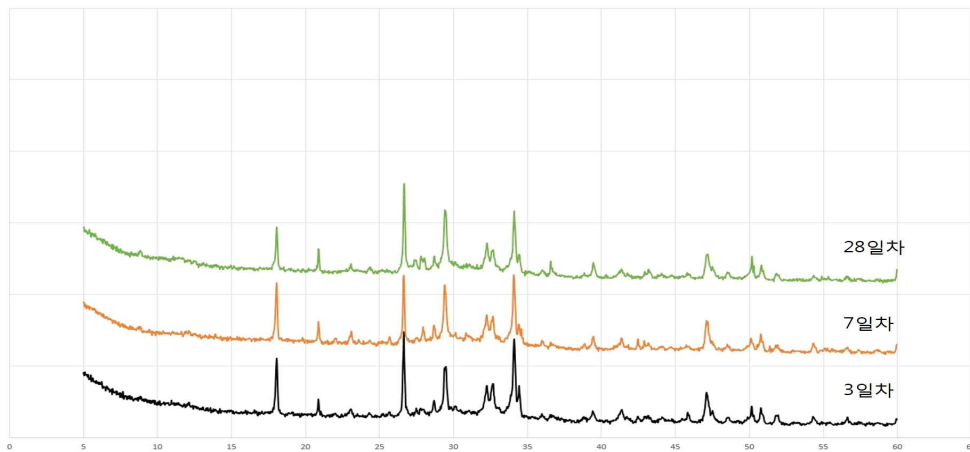
CSH의 생성량은 개질 후 증가되는 것으로 나타나고 있는데 이는 규불화수소산에 의해 Si이온의 공급으로 인한 것으로 판단됨. 장기적으로도 CSH의 생성량이 지속적으로 증가하는 형태로 나타남



일반잔골재 모르타르 (3일, 7일, 28일)



순환잔골재 모르타르 (3일, 7일, 28일)



개질순환잔골재 모르타르 (3일, 7일, 28일)  
그림 5.9 일반, 순환, 개질순환 모르타르 XRD 분석결과

## 2. 습식 표면개질에서의 초음파 진동의 촉진반응 효과 검증

### 2.1 시험평가 목적

순환골재는 천연골재와 비교하여 흡수율과 비중에 기인한 물리적 특성이 떨어지고 따라서 이를 이용한 순환골재콘크리트 역시 압축강도를 비롯한 제본 공학적 특성이 저하되어, 기술적 신뢰도가 낮은 실정이다. 이에 본 시험분석(이하, 과업)의 주요 목적은 순환골재(잔골재에 국한함) 표면개질 및 평가를 위하여 순환골재 개질용 용액 적정, 개질순환골재 혼입 모르타르의 기초물성 및 평가시험(화학분석을 포함함)을 진행하는데 그 목적이 있다.

### 2.2 시험평가 내용 및 범위

시험은 순환잔골재로부터 용출되는 알칼리에 의한 pH변화를 비롯한 순환잔골재 개질을 위한 수용액 적정 특성 및 개질된 순환잔골재를 혼입한 모르타르의 기초물성 시험을 진행한다.

- 1) 순환잔골재 pH측정시험
- 2) 순환잔골재 개질을 위한 규불화수소산 수용액 적정 시험
- 3) 개질 순환잔골재 혼입 모르타르의 물성시험

|                                  |                                                             |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 순환잔골재 pH 측정시험                    | 교반 시간에 따른 pH 측정 (증류수)                                       |
| 순환잔골재 개질을 위한<br>규불화수소산 수용액 적정 시험 | 초음파 교반 시간에 따른 pH 측정 (규불화수소산)                                |
| 개질 순환잔골재 혼입<br>모르타르의 물성시험        | 응결시간, 밀도, 흡수율, 휨강도, 압축강도<br>화학분석 실험 (SEM, TG/DTA, MIP, XRD) |

### 2.3 시험체 계획 및 방법

1장 실험목적에 따라 시험체 제작을 아래와 같이 계획한다.

규불화수소산 적정 시험의 변수 설정은 규불화 수소산 첨가 시 교반시간에 따른 pH값으로 구분한다. 또한, 모르타르 물성시험은 일반잔골재, 순환잔골재 및 규불화수소산으로 개질된 순환잔골재의 혼입으로 구분한다. 모르타르 시험체는 40×40×160 mm 시험체로 제작하여 기초물성 및 미세분석을 실시한다.

#### 1) pH측정

pH측정은 순환골재를 증류수 및 (규불화수소산) 수용액 침지 전/후, 교반시간에 따라 각 3회씩 측정하였으며, 그 평균값을 기록하였다.

#### 2) 모르타르의 밀도 및 흡수율 시험

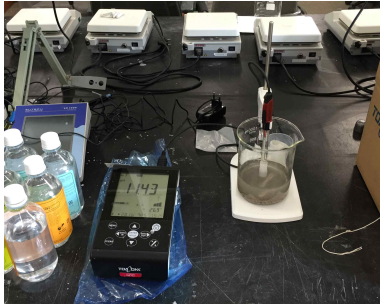
모르타르의 밀도 및 흡수율은 KS F 2504에 준하여 실시하였다. 대상은 천연잔골재 1종, 순환잔골재 1종, 개질순환잔골재 1종으로 실시하였다.

#### 3) 모르타르 플로우, 응결 및 휨강도, 압축강도

플로우, 응결 및 압축강도 시험은 천연잔골재, 순환잔골재, 개질순환잔골재를 혼입하여 모르타르 시험체를 제작하였고, 각각 KS F 2402, 2436, 2405에 준하여 측정하였다.

#### 4) 화학분석시험

화학시험분석은 SEM, TG/DTA, MIP, XRD 네 가지이며, 물리역학적 시험을 기반으로 우수한 결과를 나타낸 3가지 수준에 대하여 시험을 실시하였다.



pH 측정



규불화수소산 적정



순환잔골재 개질



밀도/흡수율 시험



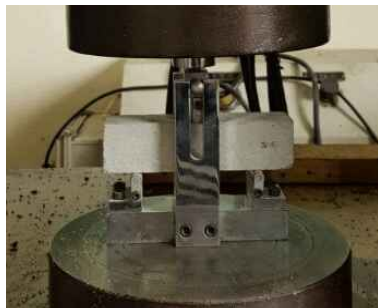
모르타르 시험체



플로우 시험



응결 시험



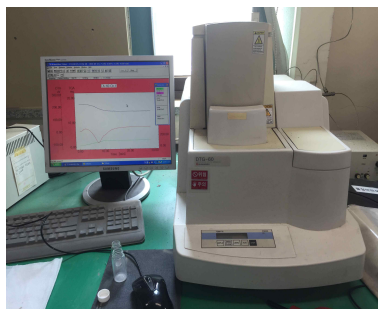
힘강도 시험



압축강도 시험



SEM 측정시험



TG/DTA 측정시험



MIP 측정시험

그림 2.1 주요시험 수행 사진

## 2.4 순환잔골재 교반시간에 따른 pH

본 과업에 적용된 순환잔골재에 대하여 증류수에 침지 시 교반시간에 따라 pH를 측정한 시험결과는 아래와 같이 요약된다.

| 구분 | 교반시간에 따른 pH |       |       |       |       | 비고          |
|----|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
|    | 0분          | 1분    | 3분    | 5분    | 7분    |             |
| 1  | 10.42       | 10.82 | 10.83 | 11.12 | 11.21 | 2회 이상 측정 평균 |
| 2  | 10.36       | 10.78 | 10.81 | 11.09 | 11.18 |             |
| 3  | 10.45       | 10.83 | 10.86 | 11.15 | 11.26 |             |
| 4  | 10.57       | 10.85 | 10.87 | 11.18 | 11.24 |             |

본 실험에서 선정된 순환잔골재는 증류수에 침지 후 초음파 교반 시 5분을 기점으로 하여 약 11 정도의 pH가 나타났으며, 교반 시간에 따라 pH가 증가하는 것으로 나타났다.

## 2.5 규불화수소산 혼입 및 교반시간에 따른 pH II

3.1에서는 초음파 진동에 의한 교반 방식을 통한 순환잔골재의 pH특성이다. 3.2에서는 증류수에 순환잔골재를 투입, 규불화수소산을 6g 혼입 후 교반을 실시하는 1단계 공정으로 pH를 측정하였으며, 시험결과는 아래와 같이 요약된다.

| 구분    | 교반 전 pH | 규불화수소산 혼입 후 교반시간에 따른 pH |      |      |      |      | 비고          |
|-------|---------|-------------------------|------|------|------|------|-------------|
|       |         | 0분                      | 1분   | 3분   | 5분   | 7분   |             |
| 6g 혼입 | 10.64   | 4.18                    | 5.08 | 7.09 | 7.68 | 8.12 | 2회 이상 측정 평균 |
|       | 10.53   | 4.20                    | 5.24 | 7.02 | 7.54 | 7.98 |             |
|       | 10.58   | 4.12                    | 5.15 | 6.89 | 7.62 | 8.59 |             |
|       | 10.61   | 4.34                    | 5.02 | 7.05 | 7.71 | 8.34 |             |

순환잔골재를 증류수에 투입 후, 규불화수소산을 6g을 혼입한 경우의 특성을 평가한 결과, 비용출된 순환잔골재에 대하여 규불화수소산 투입 직후 pH는 4.0이하의 산성영역을 나타내었으며, 이 시험체의 pH가 중성이 되는 교반 시간은 3분이었으며, 7분의 교반시간에서 pH는 약 8정도였다.

## 2.6 비중 및 흡수율

본 과업에 적용된 일반잔골재, 순환잔골재, 개질 순환잔골재에 대해 수행된 밀도 및 흡수율 시험결과는 아래와 같이 요약된다. 일반잔골재와 비교하여 순환골재 및 개질순환골재의 흡수율이 높은 것으로 나타났으며, 개질을 통하여 순환골재의 흡수율을 저감시킬 수 있는 것으로 판단된다.

| 구분   | 흡수율  | 표면건조 포화 상태의 밀도         | 절대건조 상태의 밀도            | 비고          |
|------|------|------------------------|------------------------|-------------|
| 일반   | 6.2  | 2,207kg/m <sup>3</sup> | 2,070kg/m <sup>3</sup> | 2회 이상 측정 평균 |
| 순환   | 9.65 | 2,094kg/m <sup>3</sup> | 1,892kg/m <sup>3</sup> |             |
| 개질순환 | 8.67 | 2,043kg/m <sup>3</sup> | 1,866kg/m <sup>3</sup> |             |

## 2.7 모르타르 플로우, 응결

일반잔골재, 순환잔골재, 개질 순환잔골재를 사용한 모르타르의 플로우 및 응결은 아래 표와 같이 요약된다. 순환잔골재는 일반잔골재에 비하여 상대적으로 플로우가 작았으며, 개질 순환잔골재의 플로우는 순환잔골재의 경우보다 플로우가 큰 것으로 확인된다. 순환골재 입형 및 높은 흡수율로 인하여 낮은 플로우가 나타나며, 개질을 통하여 골재 성능이 향상되는 것으로 판단된다. 모르타르 응결에서는 상대적인 차이가 있었으나 모든 수준에서 초결 및 중결은 규정범위를 만족하는 것으로 나타났다.

| 구분   | 플로우(mm) | 초결(분) | 종결(분) | 비고      |
|------|---------|-------|-------|---------|
| 일반   | 185     | 280   | 500   | 2회이상 측정 |
| 순환   | 135     | 230   | 450   |         |
| 개질순환 | 140     | 220   | 450   |         |

## 2.8 휨강도

일반잔골재, 순환잔골재, 개질 순환잔골재를 사용한 모르타르의 휨강도 시험 결과를 아래 표와 같이 요약한다. 시험결과, 모든 시험체는 양생기간의 증가에 따라 휨강도가 증가하였으며, 골재 종류에 따라 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

| 구분   | 휨강도 (MPa) |      |      | 비고    |
|------|-----------|------|------|-------|
|      | 3일        | 7일   | 28일  |       |
| 일반   | 3.21      | 4.28 | 6.45 | 3회 측정 |
| 순환   | 2.84      | 3.91 | 6.05 |       |
| 개질순환 | 2.91      | 4.21 | 6.32 |       |

## 2.9 압축강도

일반잔골재, 순환잔골재, 개질 순환잔골재를 사용한 모르타르의 압축강도 시험 결과를 아래 표와 같이 요약한다. 시험결과는 일반골재와 비교하여 순환골재 시험체의 강도가 낮은 것으로 나타났으며, 순환골재를 개질한 경우 일반골재의 강도값에 도달하지는 못하였으나, 개질 전 순환골재 시험체 보다 강도값이 향상되는 것을 확인할 수 있다. 개질과정을 통하여 골재의 흡수율이 낮아져 강도발현에 유리한 것으로 판단된다. 잔골재의 특성상 골재의 함수율을 제어하는 것은 매우 어려우나, 이를 감안하더라도 개질을 통한 골재품질의 향상과 모르타르 압축강도의 관계가 분명하게 나타났다.

| 구분   | 압축강도 (MPa) |       |       | 비고    |
|------|------------|-------|-------|-------|
|      | 3일         | 7일    | 28일   |       |
| 일반   | 14.21      | 19.41 | 23.84 | 3회 측정 |
| 순환   | 12.21      | 12.64 | 17.72 |       |
| 개질순환 | 11.84      | 15.34 | 18.65 |       |

## 2.10 SEM(주사전자현미경) 분석

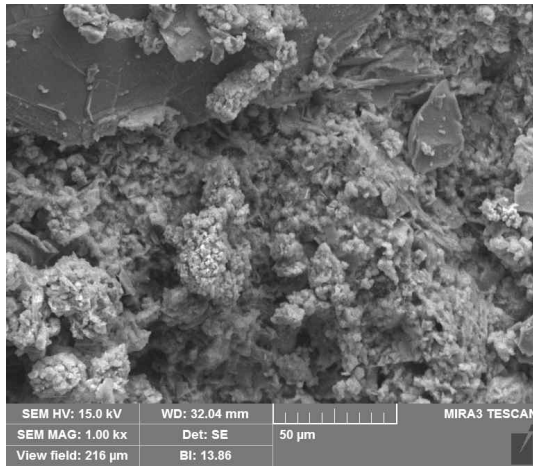
4장의 모르타르 시험체에서 분석시료를 채취, SEM 분석을 실시한 결과는 아래와 같이 나타난다. 일반 골재를 사용한 시료는 3일 재령에서 비교적 간격이 있는 수화조직을 보이고 있으나 재령이 지남에 따라 치밀한 구조의 수화물 조직들을 보이고 있다.

3일 재령에서의 순환골재와 개질 순환 골재의 일반 골재를 사용한 것에 비하여 에트링가이트 수화물의 간격이 넓고 수화물 주위로 겔상의 수화물들이 존재하는 것으로 나타났다.

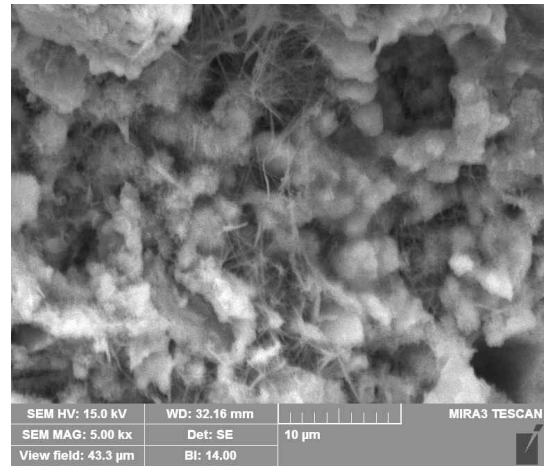
7일 재령에서의 순환골재와 개질 순환 골재에서는 일반 골재를 사용한 것에 비하여 수화물의 밀도가 낮으며 육각판상의 수산화칼슘 결정이 관찰되었다.

28일 재령에서의 일반 골재를 사용한 경우에는 수화물의 발달로 조직을 치밀하게 채우고 있는 것으로 나타났다. 순환골재를 사용한 경우에는 비교적 초기 재령에서 비어있던 수화물 사이의 간격을 작은 수화물들이 채워나가고 있는 것을 관찰할 수 있었다.

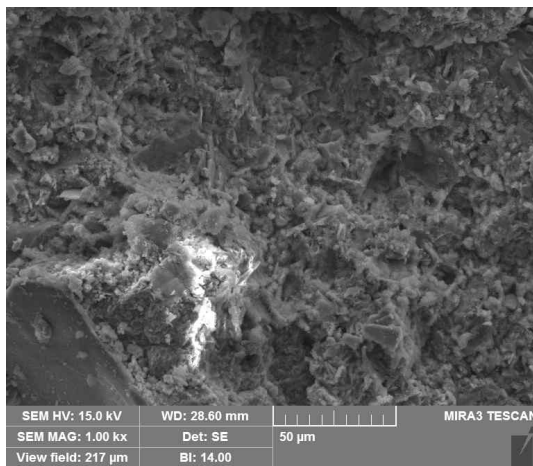
순환골재와 초음파 개질 골재에 나타나는 주요 수화물은 CSH, 에트링가이트, 수산화칼슘이 관찰되었다. 침상형 수화물인 에트링가이트의 밀도는 순환골재에 비하여 개질 순환골재가 높은 것으로 관찰되었다.



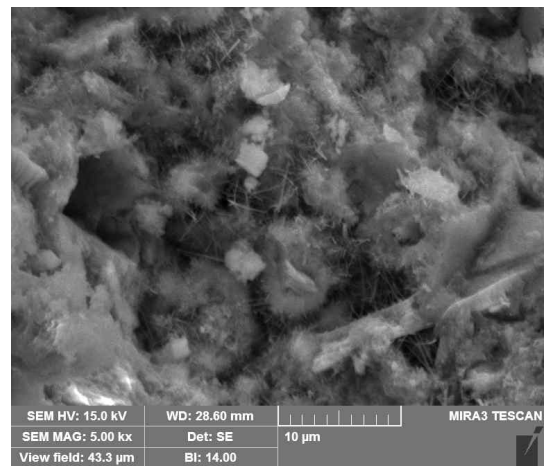
(a) 일반골재 모르타르 3일차 (×1000)



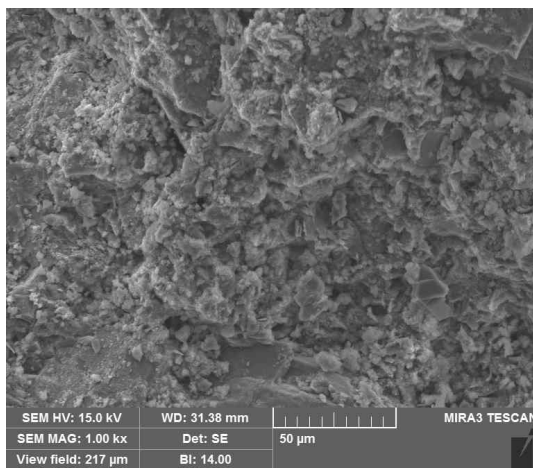
(b) 일반골재 모르타르 3일차 (×5000)



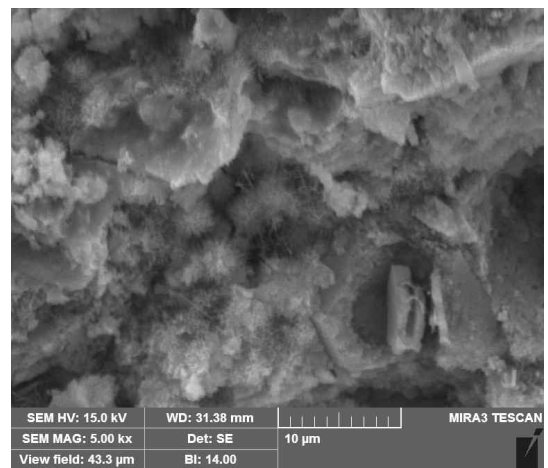
(c) 일반골재 모르타르 7일차 (×1000)



(d) 일반골재 모르타르 7일차 (×5000)

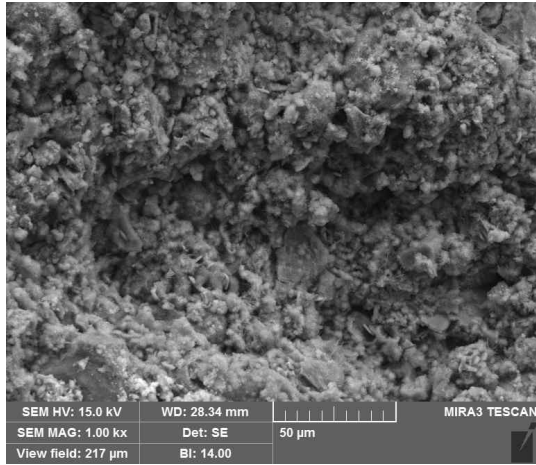


(e) 일반골재 모르타르 28일차 (×1000)

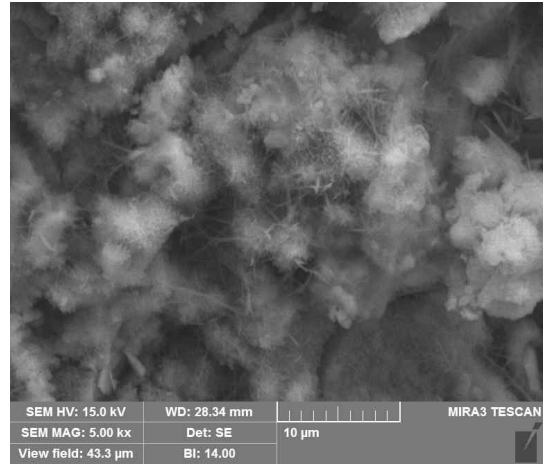


(f) 일반골재 모르타르 28일차 (×5000)

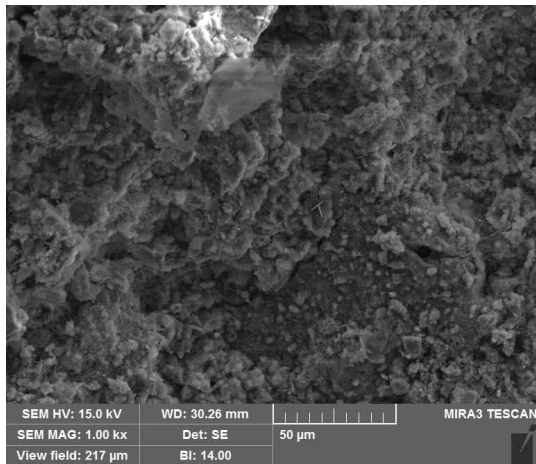
그림 5.1 일반골재 모르타르 양생별 SEM 분석



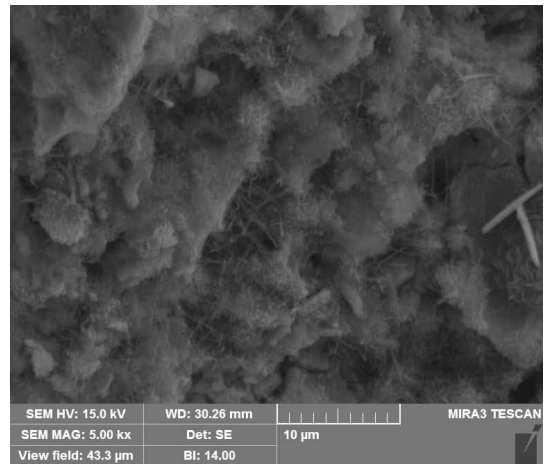
(a) 순환골재 모르타르 3일차 (×1000)



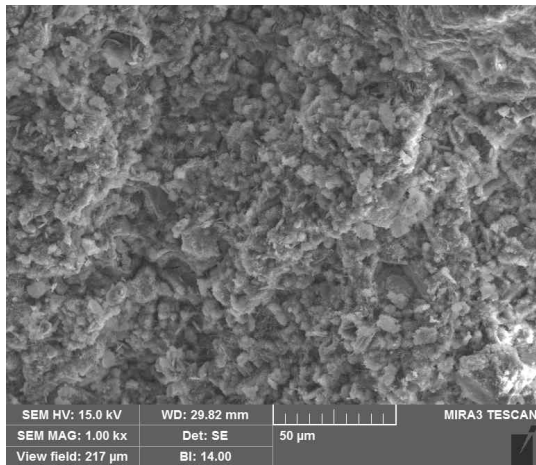
(b) 순환골재 모르타르 3일차 (×5000)



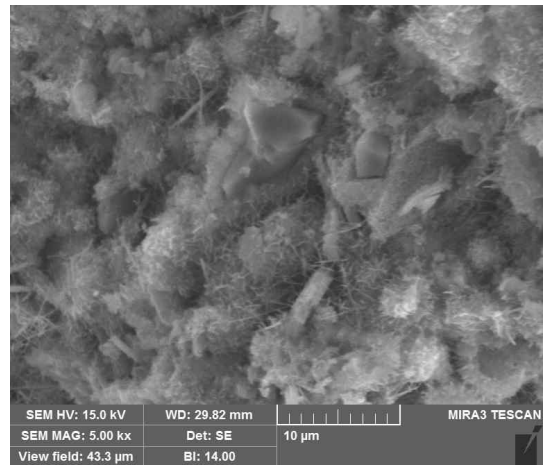
(c) 순환골재 모르타르 7일차 (×1000)



(d) 순환골재 모르타르 7일차 (×5000)

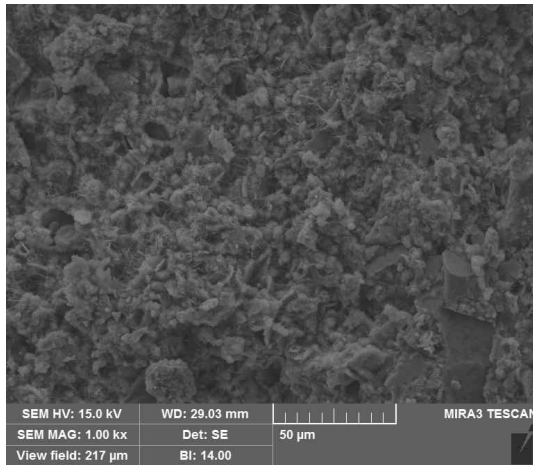


(e) 순환골재 모르타르 28일차 (×1000)

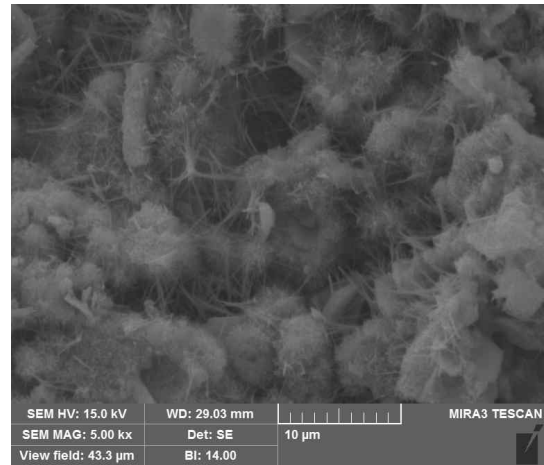


(f) 순환골재 모르타르 28일차 (×5000)

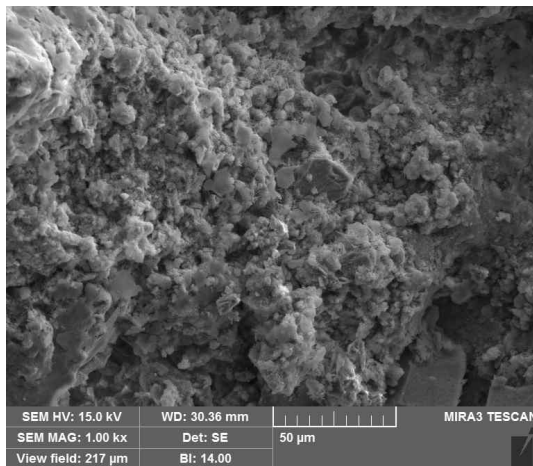
그림 5.2 순환골재 모르타르 양생별 SEM 분석



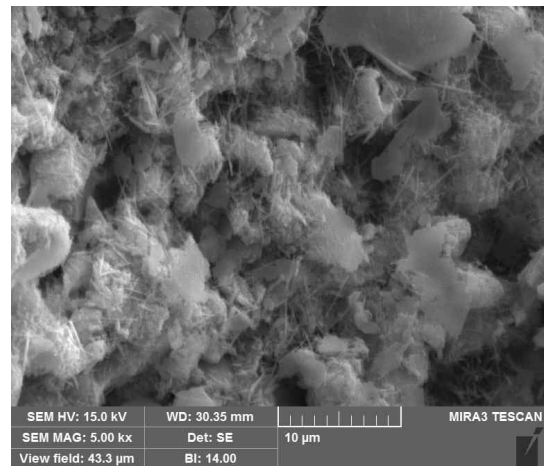
(a) 개질순환골재 모르타르 3일차 (×1000)



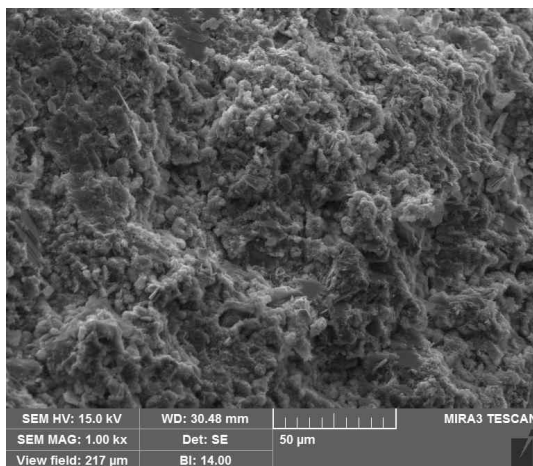
(b) 개질순환골재 모르타르 3일차 (×5000)



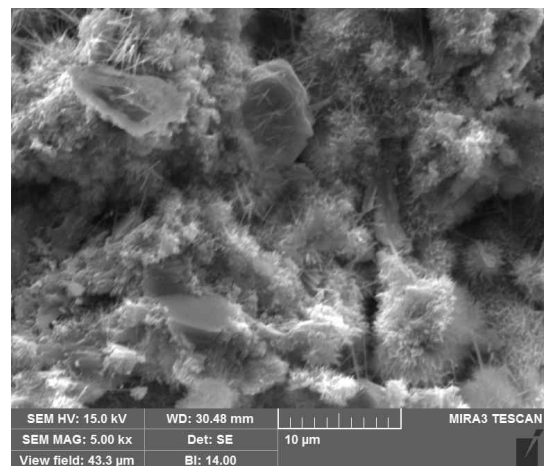
(c) 개질순환골재 모르타르 7일차 (×1000)



(d) 개질순환골재 모르타르 7일차 (×5000)



(e) 개질순환골재 모르타르 28일차 (×1000)



(f) 개질순환골재 모르타르 28일차 (×5000)

그림 5.3 개질순환골재 모르타르 양생별 SEM 분석

## 2.11 TG/DTA(수화물 탈수온도) 분석

아래 그림은 TG-DTA를 나타낸 그래프이다. DTA상에서 100℃까지는 경화체 내의 물리적 결합수가 증발하였으며, 이후 140~180℃사이에서 C3A 에트링가이트가, 270~330℃사이에서 에트링가이트와 알루미늄하이드록사이드에 수화물이, 570℃부근에서 알루미늄하이드록사이드에 수화물의 물리적 탈수가 발생하는 것으로 나타났다. 3일 재령에서 수산화칼슘의 함유량은 일반골재>순환>개질 순환의 순으로 순으로 나타났으며, 규불화수소산을 이용한 순환골재의 초음파 개질은 내부의 수산화칼슘량을 저감하는데 유효한 것으로 판단된다. 탄산칼슘의 함유량은 개질 순환>순환>일반골재의 순으로 나타나 탄산칼슘의 저감에는 초음파 개질의 효율이 저감되는 것으로 나타났다.

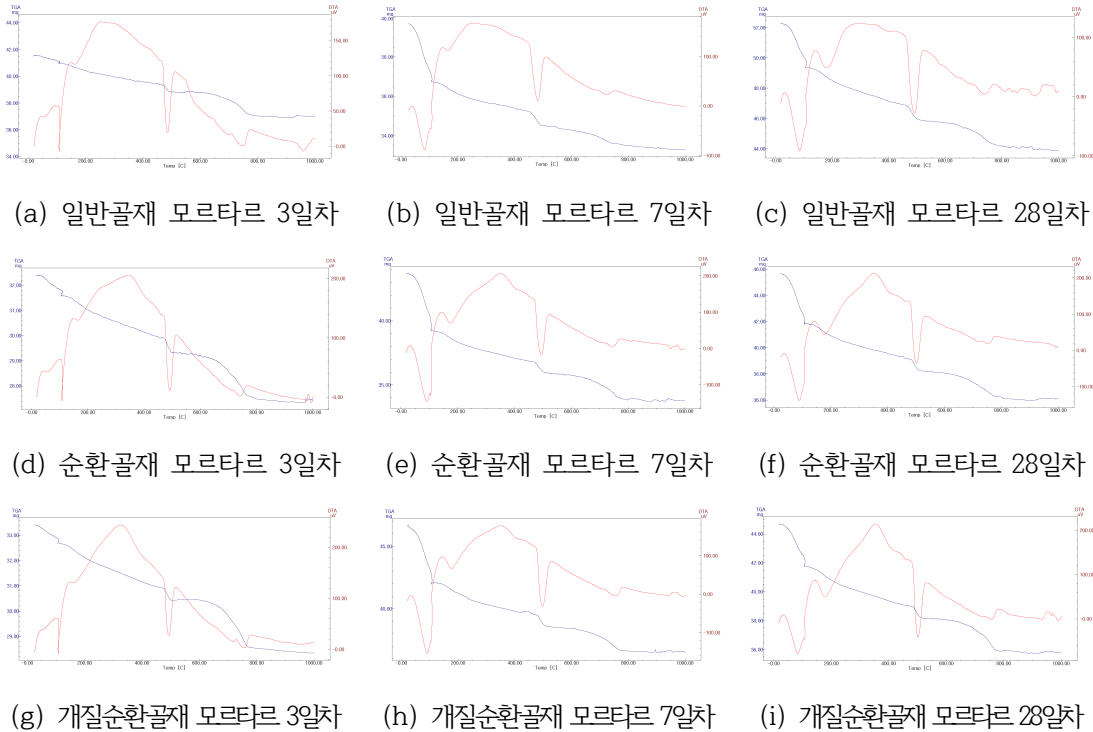


그림 5.5 일반골재, 순환골재, 개질순환골재 모르타르 TG/DTA 분석

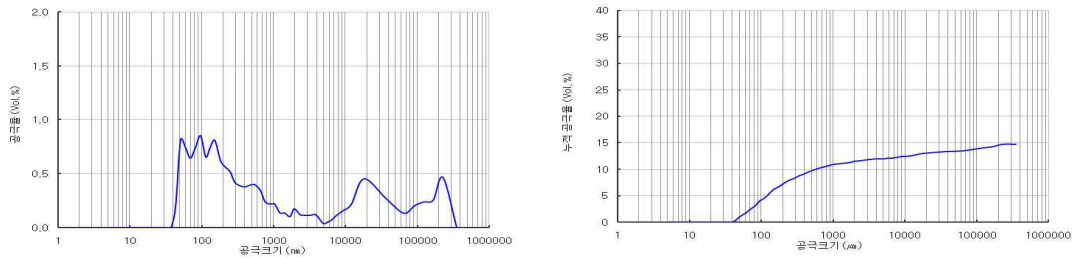
| 구분         | Ca(OH) <sub>2</sub> 함유율 (%) | CaCO <sub>3</sub> 함유율 (%) | 비고                                                                                                        |
|------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 일반 (3일)    | 2.94                        | 7.95                      | - 시료의 열분해 구간은 크게 두 가지로 나타나며, Ca(OH) <sub>2</sub> 는 450~550℃의 구간과 CaCO <sub>3</sub> 는 550~850℃의 구간으로 구분된다. |
| 일반 (7일)    | 3.26                        | 4.41                      |                                                                                                           |
| 일반 (28일)   | 3.44                        | 5.91                      |                                                                                                           |
| 순환 (3일)    | 3.60                        | 10.20                     |                                                                                                           |
| 순환 (7일)    | 3.86                        | 8.50                      |                                                                                                           |
| 순환 (28일)   | 3.16                        | 8.33                      |                                                                                                           |
| 개질순환 (3일)  | 2.94                        | 10.69                     |                                                                                                           |
| 개질순환 (7일)  | 3.93                        | 7.43                      |                                                                                                           |
| 개질순환 (28일) | 2.61                        | 9.15                      |                                                                                                           |

## 2.12 MIP(수은압입법에 의한 기공율) 분석

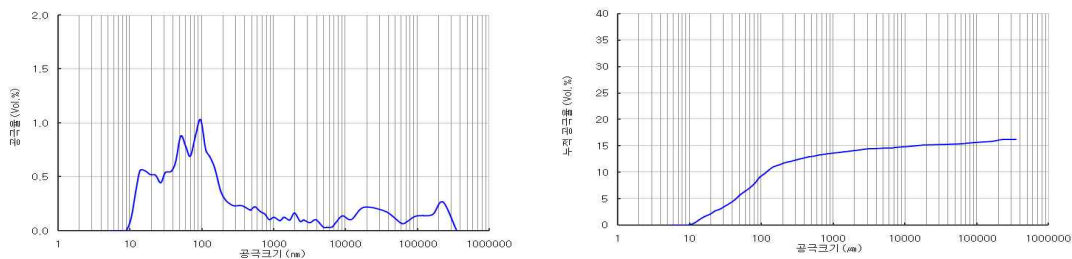
아래 표는 미세공극 분석표이다. 전공극률(%)은 개질순환잔골재 모르타르 > 일반잔골재 모르타르 > 순환잔골재 순으로 나타났다.

| 구분         | Total intrusion Vol. (mL/g) | Total Pore Area (m <sup>2</sup> /g) | Average Pore Diameter (nm) | Median Pore Diameter (nm) | Porosity (%) |
|------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|
| 일반 (3일)    | 0.0769                      | 1.773                               | 173.6                      | 245.2                     | 14.7435      |
| 일반 (7일)    | 0.0838                      | 5.983                               | 56.0                       | 96.2                      | 16.1602      |
| 일반 (28일)   | 0.0793                      | 3.867                               | 82.0                       | 118.5                     | 15.3260      |
| 순환 (3일)    | 0.0786                      | 0.464                               | 677.8                      | 905.7                     | 14.420       |
| 순환 (7일)    | 0.0899                      | 1.259                               | 285.6                      | 603.4                     | 15.5902      |
| 순환 (28일)   | 0.0905                      | 1.491                               | 242.8                      | 547.4                     | 16.5117      |
| 개질순환 (3일)  | 0.0877                      | 0.552                               | 636.1                      | 868.6                     | 15.7103      |
| 개질순환 (7일)  | 0.0915                      | 1.341                               | 272.8                      | 578.1                     | 16.6514      |
| 개질순환 (28일) | 0.0897                      | 1.452                               | 233.8                      | 543.8                     | 16.3871      |

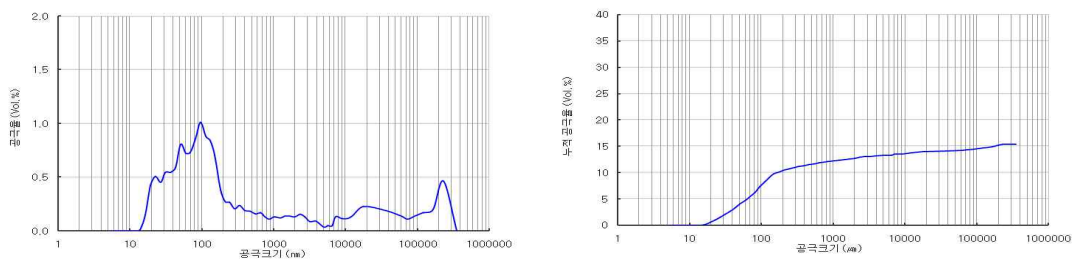
아래 그림에서 좌측열은 미세공극분포, 우측열은 누적공극분포곡선을 나타낸다.



일반잔골재 모르타르 (3일)

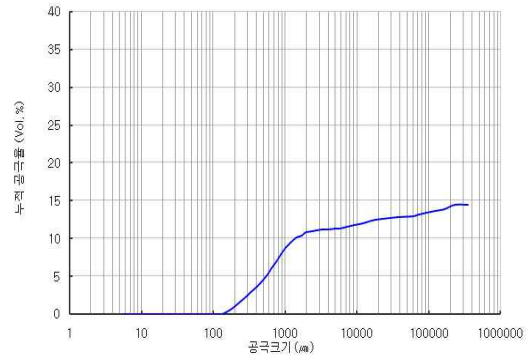
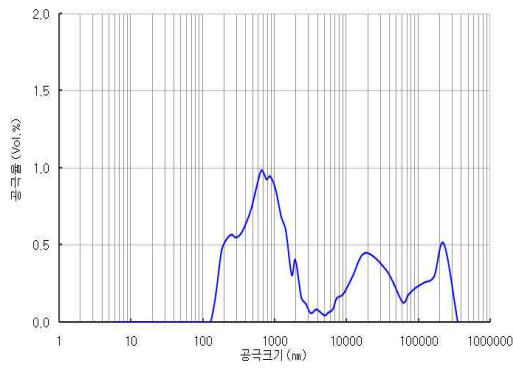


일반잔골재 모르타르 (7일)

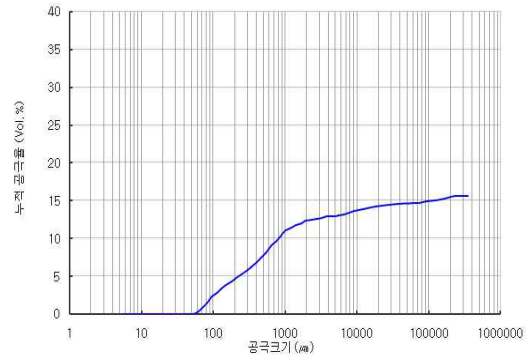
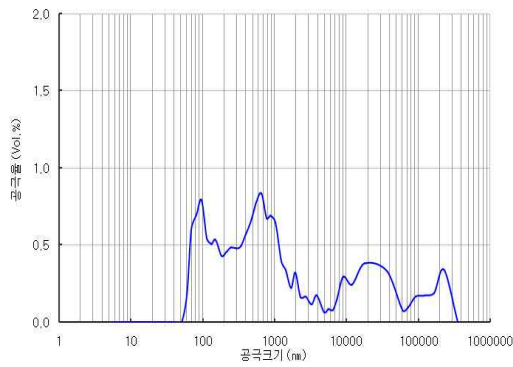


일반잔골재 모르타르 (28일)

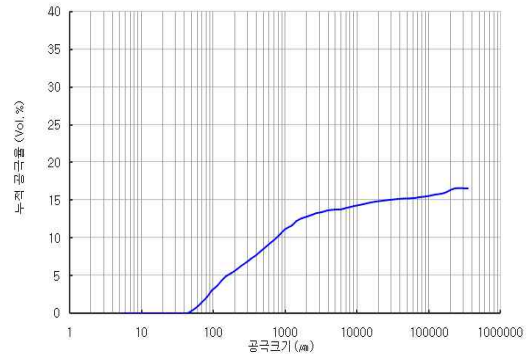
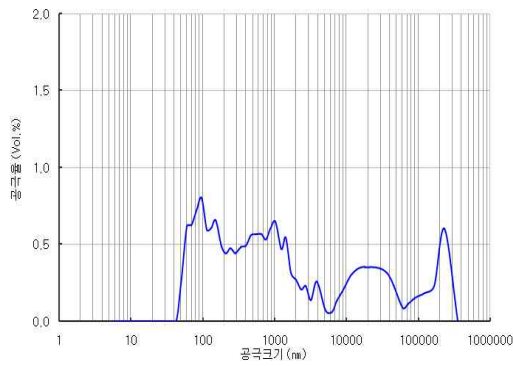
그림 5.6 일반골재 모르타르 미세공극분포 및 누적공극분포



순환잔골재 모르타르 (3일)

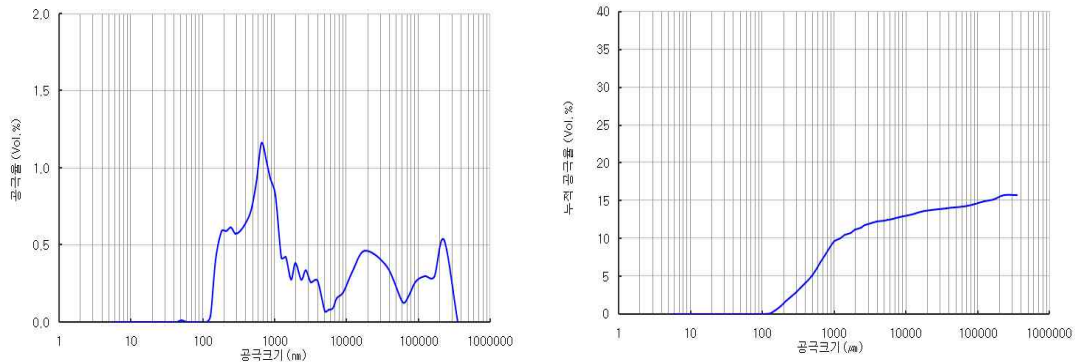


순환잔골재 모르타르 (7일)

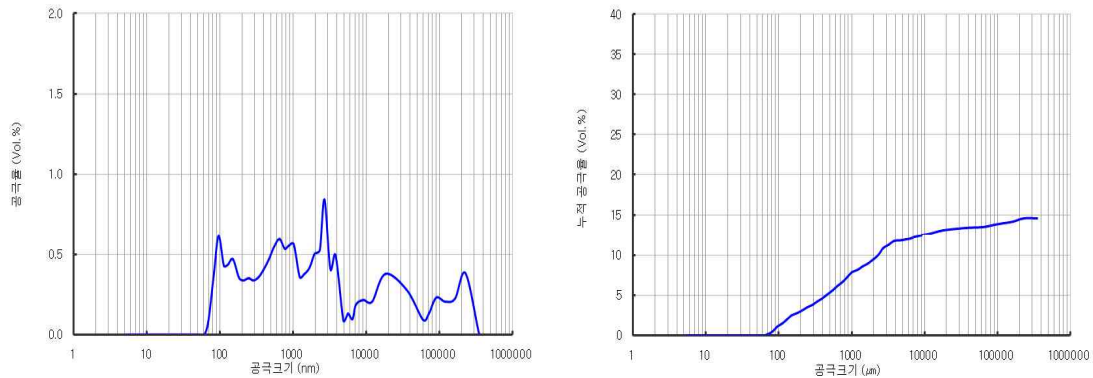


순환잔골재 모르타르 (28일)

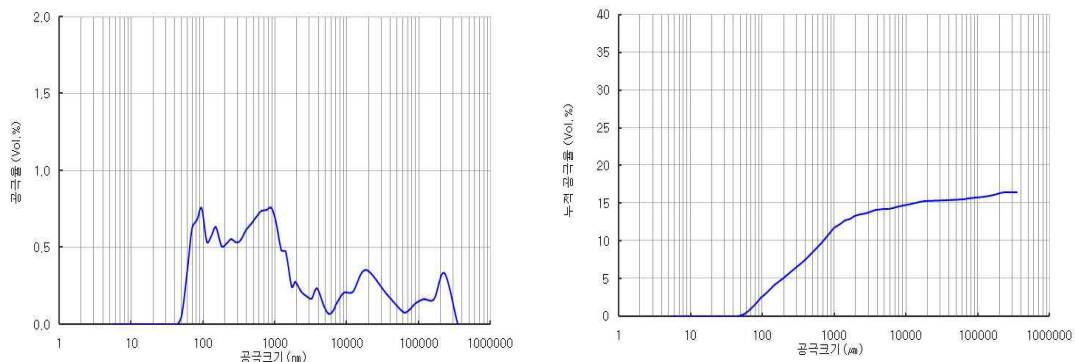
그림 5.7 순환골재 모르타르 미세공극분포 및 누적공극분포



개질순환잔골재 모르타르 (3일)



개질순환잔골재 모르타르 (7일)



개질순환잔골재 모르타르 (28일)

그림 5.8 개질 순환골재 모르타르 미세공극분포 및 누적공극분포

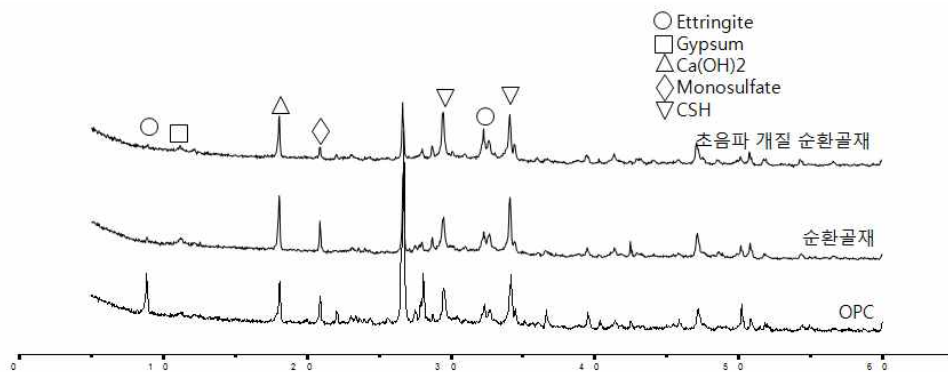
### 2.13 XRD(X선 회절분석법) 분석

일반골재, 순환골재, 개질순환골재를 이용한 모르타르 시험체에 관한 XRD 성분분석을 실시하였으며, 그 결과를 아래와 같이 요약한다. 3일 재령에서 순환골재를 사용한 경우 일반 골재를 사용한 것에 비교하였을 때, 에트링가이트 피크는 낮으며, 모노설페이트 피크는 높게 나타났다. 수산화칼슘 피크와 CSH는 높은 것으로 나타났다. 초음파 개질 순환골재는 순환골재와 비교하였을 때, 에트링가이트와 모노설페이트가 낮게 나타났다. 수산화칼슘의 피크는 낮으며, CSH가 높은 것으로 나타났다. 7일 재령에서 순환골재를 사용한 경우 일반 골재를 사용한 것과 비교하였을 때, 에트링가이트 피크와 모노설페이트가 낮은 것으로 나타났다. 수산화칼슘 피크와 CSH는 높은 것으로 나타났다. 초음파 개질 순환골재는 순환골재와 비교하였을 때, 에트링가이트와 모노설페이트는 유사한 피크가 나타났다. 수산화칼슘과 CSH는 유사한 것으로 나타났다. 28일 재령에서는 순환골재를 사용한 경우 일반 골재를 사용한 것과 비교하였을 때, 에트링가이트와 모노설페이트가 낮게 나타났다. 수산화칼슘 피크와 CSH가 높게 나타났다.

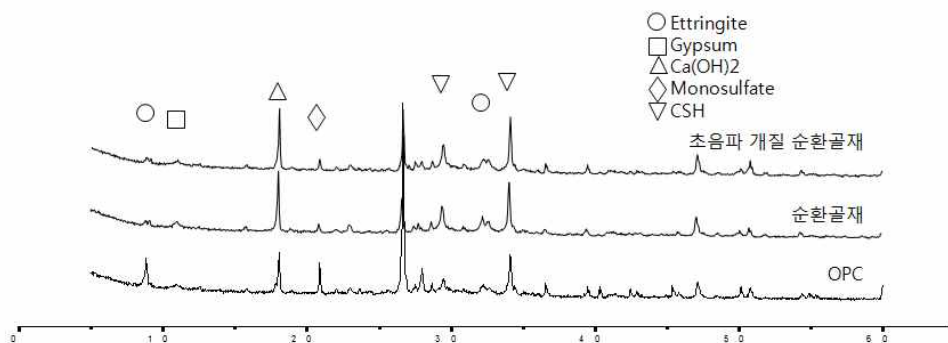
초음파 개질 순환골재는 순환골재와 비교하였을 때, 에트링 가이트와 모노설페이트는 높은

것으로 나타났다. 수산화칼슘은 순환골재와 유사한 피크가 나타났으며, CSH는 높게 나타났다. 이를 종합하여 볼 때, 순환골재를 사용할 경우 C3A의 수화반응을 지연시키고 수산화칼슘과 CSH 수화물의 생성량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 순환골재 내부의 수산화칼슘이 탄산화되면서 생성된 탄산칼슘에 의한 C3A의 수화지연 효과로 에트링가이트의 생성량이 감소되나 순환골재 내부의 수산화칼슘에 의해 CSH 수화물이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

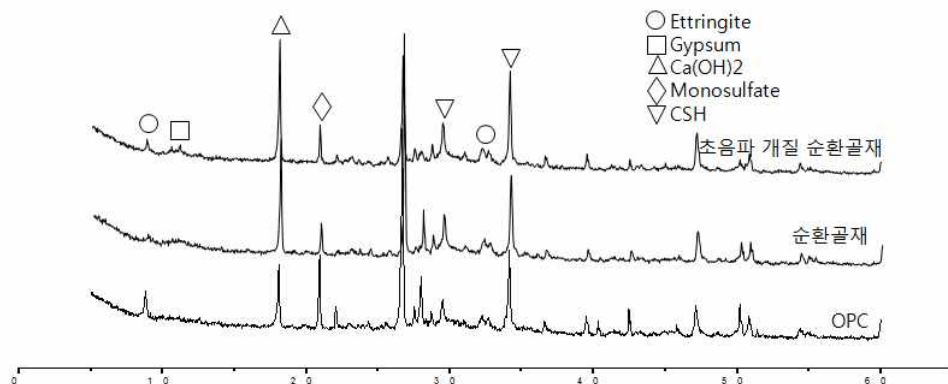
초음파 개질 순환골재의 경우 규불화수소산에 의해 순환골재 표면의 수산화칼슘이 칼슘실리케이트로 개질되면서 전체 수산화칼슘의 양이 감소하며, CSH의 피크가 증가한 것으로 판단된다. 초음파 개질 순환골재 내의 규불화수소산과 반응하지 못한 탄산칼슘에 의한 C3A의 수화지연은 존재하나 28일 재령에서 순환골재에 비하여 에트링가이트의 모노설페이트 전환량이 높은 것으로 판단된다. 초음파 개질 순환골재는 순환골재를 사용한 것에 비하여 초기 CSH의 수화를 촉진하며, C3A의 수화 지연을 저감하는 효과가 있는 것으로 판단된다.



3일 재령 모르타르



7일 재령 모르타르



28일 재령 모르타르

그림 5.9 일반, 순환, 개질순환 모르타르 XRD 분석결과

---

3. 본 개발기술과 관련한 법, 규제

4. 개발기술을 통한 양산과정의 예상 문제들과 환경적 안전성 확보와 양산과정에서의 다양한 계절적 요인을 고려한 향후 연구방향

---

### 3. 본 개발기술과 관련한 법, 규제현황

#### 3. 1. 건설폐기물의 국가 정책 추진 방향

○ 환경부에서 건설폐기물을 친화경적으로 적정처리하고 재활용을 촉진하기 위한 목표 및 단계적 정책 수립·추진이 필요함에 따라 2012년 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 제8조 규정에 의하여“제2차 건설폐기물 재활용 기본계획”을 수립함.

○ 기본계획의 정책목표는“생태환경보전 및 자원순환성 강화 인프라 구축으로 3대 추진전략 중 환경보전 및 자원순환성 강화”를 기본으로 7대 중점 추진과제내에 15개 이행과제로 계획을 제안하고 있음.

○ 이에 따르면 건설폐기물 재활용의 생태환경보전 및 관리 강화 중“순환골재 환경성 관리 강화의 계획을 기본으로 순환골재 활용에 따른 환경성(pH) 문제”를 개선하기 위한 방안을 수립하였으며, 건설폐기물의 재활용 촉진시 적정처리에 의한 2차환경오염 방지 및 유해/오염 건설폐기물의 관리강화 추진을 위하여 2012년 11월 환경부 건설폐기물의 처리 및 재활용 관련 업무처리지침 에서 순환골재 환경관리(pH)를 시행함(환경부 예규 제471호 공포).

○ 2013년 12월 “건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률 시행령”에서는 “순환골재를 배수층 설치용으로 사용할 때에는 수소이온농도지수(pH)가 9.8 이하인 순환골재를 사용하는 경우로 한정. 다만, 배수로나 집수정 등 배출수로 인한 환경오염을 방지하기 위한 시설을 설치하는 경우에는 그러하지 아니하다.”로 개정하였음.

### 4. 개발기술을 통한 양산과정의 예상 문제들과 환경적 안전성 확보

#### 4.1 순환골재 활용에 따른 환경성(pH) 문제점

○ 폐콘크리트는 콘크리트 구조물 또는 구조물 중 콘크리트 부분을 해체하여 발생한 것으로 콘크리트 제조당시의 재료가 포함됨. 콘크리트는 시멘트와 골재 그리고 적절한 배합수를 혼합하여 제조하므로 폐콘크리트에도 시멘트와 골재가 모두 포함됨.

○ 순환골재의 주요 구성은 콘크리트 제조시 사용한 천연골재이며, 여기에는 분리가 되지 않은 시멘트나 모르타르가 부착되어 있거나 잘게 부서진 시멘트 미분이 포함됨.

○ 이 순환골재에 부착된 시멘트나 미분 등은 순환골재의 품질을 저하시키는 주요 재료로 이를 분리시키는 기술이 순환골재의 품질을 향상시키는 기술이라 할 수 있음.

○ 순환골재에 포함된 시멘트는 주요성분이 석회(CaO)로 물과 반응하여 경화되어 수화물(C-S-H)와 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)를 생성. 이 수산화칼슘은 물에 용해되어 강알칼리성을 띄는 주요 성분으로 시멘트를 포함한 순환골재 또한 강알칼리성을 나타내나 환경적 측면에서 크게 고려하지는 않음.

○ 08년 11월, 시화호 주변에서 연약지반처리(Sand Mat)재료로 순환골재를 사용한 공사현장에서 강알칼리성 침출수가 발생하여 주변 생태계에 피해를 주었다는 내용이 언론(2008년 11월 9일 MBC 9시 뉴스)에 보도됨.

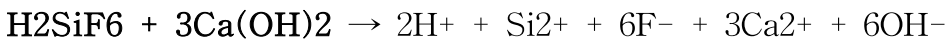
○ 2008년 12월경 순환골재의 알칼리수 침출 현장조사를 실시하여 순환골재 침출수의 pH가 10~12의 강알칼리성임을 확인, 순환골재의 알칼리 침출수에 대한 대책의 필요성을 인식

함.

- 2009년 6월에는 택지조성공사 현장에 사용된 순환골재가 우수에 노출되어 알칼리 침출수가 인근 지역으로 유출되어 문제가 발생할 수 있음을 언론에서 보도(2009년 6월 22일 SBS 뉴스)함.
- 순환골재는 토양오염우려기준 및 지정폐기물 유해물질 함유기준을 모두 만족하였으나, 수질오염 배출허용기준 중 pH는 11이상의 강알칼리성을 나타내어 만족시키지 못하였음.
- 또한 순환골재의 알칼리성은 20mm이하의 순환골재의 영향이 큰 것으로 분석되었으며, column 시험 등을 통하여 순환골재의 pH가 9.8이하이면 토양을 통한 침출수의 pH가 중성 범위에 포함될 수 있음을 확인함.
- 외국의 경우 순환골재의 알칼리 침출수가 주변 식생에 영향을 주지 않도록 알칼리 침출이 우려되는 지역은 사용을 제한하고 있음.
- 이에 국내에서도 알칼리수 침출이 우려되는 지역에 순환골재의 사용을 제한하는 방안을 제안하여 환경부에서 검토 중임.
- 상기의 순환골재 알칼리수 침출을 고려한 사용제한 방안은 국내 순환골재의 재활용 촉진 정책에 대비하여 순환골재의 사용을 억제하는 방안이므로 순환골재의 사용 제한이 없으면, 환경적 문제를 해결할 수 있는 대책이 필요한 상황임.

#### 4.2 본 연구개발을 통한 환경적 안전성 확보 방안.

##### 4.2.1 화학반응식



불화규산과 순환골재의 표면에 부착된 모르타르(또는 페이스트) 내 수산화칼슘은 상기와 같은 화학적 반응을 일으킨다.

결과1:  $\text{OH}^-$ 의 저감에 따른 pH저감이 나타남

결과2: 수산화칼슘이 규불화수소산과 반응하면서 무기미분체인  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ 가 생성되는 화학반응을 수반한다.

##### 4.2.2 환경적 안전성 확보

- $\text{CaF}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ 가 생성, 습식반응 후 발생하는 폐수내에서 응집침전되는 형태임. 이는 기존의 폐수에서 불소를 제거함에 있어서 적용되는 방법중에 하나인 응집침전법과 동일한 원리이며, 기존의 산(염산, 황산)처리 방법에 비하여 환경적으로 안전한 방법임.
- 응집침전된 반응물은 별도로 회수하여, 경화체형태로 최종 폐기처분 가능하며, 기존의 미분말(또는 슬러지)의 경화체형태의 처리방법과 동일하지만 발생량도 적으며, 환경적으로 안정된 형태임
- 또한, 반응조(습식개질)내의 pH는 계측장비를 통하여 실시간으로 관리하는 방법을 통하여 안정적이고 일정한 양을 주입함으로서 불화규산의 과다 또는 과소 투입을 방지할수 있음.

##### 4.2.3 양산과정에서의 계절적 요인의 고려

- 기본적으로 상기 화학 반응식은 발열반응에 해당하기 때문에 습식처리방법상 계절적으로 이로운 방법임. 하지만, 영하에 가까운 동절기의 경우에는 물리적인 외력(기계적 교반)을 함께 수반한다면 반응시간의 지연은 예상되지만, 동일한 저감효과를 기대할 수 있음.

## 제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

### 1. 목표 달성도

| 세부 연구 목표<br>(연구계획서의 목표)    | 비중<br>(%) | 달성도<br>(%) | 자체평가                                                 |
|----------------------------|-----------|------------|------------------------------------------------------|
| 순환골재 표면개질                  | 30        | 100%       | • 산업부산물 활용기술을 달성하였음. (특허)                            |
| 습식반응촉진기술                   | 30        | 100%       | • 습식 반응매체 선정 및 계면 반응 활성화 매커니즘<br>• 초음파 진동원리 적용성 (특허) |
| 2차오염수 및 슬러지 처리             | 20        | 50%        | • 기존 폐기물 정화기술                                        |
| (개질)순환골재를 이용한 콘크리트<br>최적설계 | 20        | 100%       | • 프로그램개발                                             |
| 합계                         | 100점      |            |                                                      |

| 과제명                                                          | 주관연구기관                    | 연구<br>책임자 | 총 연구기간                    | 최소성과목표                                                     | 최종성과목표                                             |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------|---------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 산업부산물을 활용한 습식 순환골재 표면개질 (pH8 및 흡수율 5%이하) 과 순환골재 콘크리트 적용기술 개발 | 강원대학교<br>산학협력단<br>삼척캠퍼스분단 | 박원준       | '15.6.18~'17.6.17<br>(2년) | SCI(E)학술지1건<br>특허출원1건<br>소프트웨어1건                           | SCI(E)학술지3건<br>특허출원2건<br>특허등록1건<br>소프트웨어1건<br>기타1건 |
| 최소성과목표 달성완료                                                  |                           |           |                           | 현재 달성성과                                                    | 미달성 성과                                             |
|                                                              |                           |           |                           | 2017.04.07.기준<br>SCI(E)학술지1건<br>특허출원2건<br>소프트웨어1건<br>기타 1건 | SCI(E)학술지2건<br>특허등록1건                              |

| 미달성 성과 상세내용 |                                                         | 향후 추진계획(현재~17년12월) |   |      |   |   |      |    |      |    |  |
|-------------|---------------------------------------------------------|--------------------|---|------|---|---|------|----|------|----|--|
|             |                                                         | 4                  | 5 | 6    | 7 | 8 | 9    | 10 | 11   | 12 |  |
| SCI급 논문 2편  | • (심사중) 규불화수소산 효과 검증                                    | 투고완료               |   | 게재예상 |   |   |      |    |      |    |  |
|             | • (투고예정)초음파진동 적용 저감기술                                   | 투고예정               |   |      |   |   | 게재예상 |    |      |    |  |
| 특허 등록 1건    | • 등록 1건<br>• 출원특허(16년 11월 2건)의 심사경과에 따라 변동가능성(17년 내 가능) |                    |   |      |   |   |      |    | 등록예상 |    |  |

### 2. 관련 분야 기여도

국내 순환골재 생산기술은 주로 건식으로 활발하게 개발이 진행중이나, 최근에는 탄산화, 이물질 분리, 세척 등의 목적으로 습식공정이 추가되고 있다. 이러한 과정에서 본 연구개발을 통해 이루어진 표면개질 기술은 습식 처리공정에서의 부유이물질 선별-세척과정에 추가적인 공정으로서 기여할 수 있다.

다음 표에서 제시된 국내 순환골재 생산 신기술 분류에서 보는 바와 같이, 거의 모든 기술은 골재표면 박리(부착 모르타르 제거)기술에 초점을 두었으며, 일부 건식탄산화를 통한 pH저감 기술 개발의 적용도 확인되었다.

| 품<br>질  | 생산방법                       | 폐콘크<br>리트(t) | 비율    |       |                |       |       |          |       |            |       |       |           | 톤당전력사<br>용량<br>(KWh/ton) | 선별          |
|---------|----------------------------|--------------|-------|-------|----------------|-------|-------|----------|-------|------------|-------|-------|-----------|--------------------------|-------------|
|         |                            |              | 도로공사용 | 굵은골재  | 잔골재            | 토사    | 석분    | 바이<br>패스 | 이물질   |            |       |       |           |                          |             |
|         |                            |              |       |       |                |       |       |          | 고철    | 가연성<br>폐기물 | 폐슬러지  | 기타    | 목재,<br>비닐 |                          |             |
| 고       | 임팩트크러셔(3회)                 | 1            | -     | 0.259 | -              | 0.244 | 0.496 | -        | 0.001 | -          | -     | -     | -         | 2.4                      | 자력선별<br>송풍기 |
|         |                            | 1.581        | -     | 0.409 | -              | 0.386 | 0.784 | -        | 0.002 | -          | -     | -     | -         |                          |             |
| 중       | 임팩트크러셔(3회)                 | 1            | -     | -     | 0.238          | 0.349 | 0.409 | -        | 0.004 | -          | -     | -     | -         | 3.5                      | 자력선별<br>송풍기 |
|         |                            | 1.581        | -     | -     | 0.376          | 0.552 | 0.647 | -        | 0.006 | -          | -     | -     | -         |                          |             |
| 중       | 임팩트크러셔(3회)                 | 1            | -     | -     | 0.085          | 0.309 | 0.336 | 0.267    | 0.002 | -          | -     | 0.001 | -         | 2.4                      | 자력선별<br>송풍기 |
|         |                            | 1.581        | -     | -     | 0.134          | 0.489 | 0.531 | 0.422    | 0.003 | -          | -     | 0.002 | -         |                          |             |
| 중       | 시멘트페이스트박리기<br>(습식)<br>(8회) | 1            | -     | -     | 0.748          | 0.205 | -     | -        | 0.005 | 0.001      | 0.041 | -     | -         | 2.37                     | 자력선별        |
|         |                            | 1.581        | -     | -     | 1.183          | 0.324 | -     | -        | 0.008 | 0.002      | 0.065 | -     | -         |                          |             |
| 고       | 임팩트크러셔(5회)                 | 1            | -     | 0.26  | 0.261          | 0.126 | 0.347 | -        | 0.003 | -          | -     | 0.003 | -         | 3.27                     | 자력선별        |
|         |                            | 1.581        | -     | 0.411 | 0.413          | 0.199 | 0.549 | -        | 0.005 | -          | -     | 0.005 | -         |                          |             |
| 고/<br>중 | 전기가열회전(9회)                 | 1            | -     | 0.34  | 0.39           | 0.207 | -     | -        | 0.014 | -          | 0.047 | -     | 0.002     |                          | 자력선별        |
|         |                            | 1.581        | -     | 0.538 | 0.617          | 0.327 | -     | -        | 0.022 | -          | 0.074 | -     | 0.003     |                          |             |
| 고       | 멀티콘크러셔(9회)                 | 1            | -     | 0.158 | 0.071<br>0.329 | 0.31  | 0.125 | -        | 0.008 |            | -     | -     | -         | 2.75                     | 자력선별        |
|         |                            | 1.581        | -     | 0.25  | 0.112<br>0.52  | 0.49  | 0.198 | -        | 0.013 |            | -     | -     | -         |                          |             |
| 고       | 복합마쇄기(3회)                  | 1            | 0.848 | 0.028 | -              | -     | 0.12  | -        | 0.003 | -          | -     | -     | -         | 3.3                      | 자력선별        |
|         |                            | 1.581        | 1.341 | 0.044 | -              | -     | 0.19  | -        | 0.005 | -          | -     | -     | -         |                          |             |
| 고       | 복합마쇄기(3회)                  | 1            | 0.68  | 0.076 | -              | -     | 0.239 | -        | 0.005 | -          | -     | -     | 0.001     | 2.9                      | 자력선별        |
|         |                            | 1.581        | 1.075 | 0.12  | -              | -     | 0.378 | -        | 0.008 | -          | -     | -     | 0.002     |                          |             |
| 고       | 복합마쇄기(3회)                  | 1            | 0.71  | 0.079 | -              | -     | 0.208 | -        | 0.003 | -          | -     | -     | -         | 2.6                      | 자력선별        |
|         |                            | 1.581        | 1.123 | 0.125 | -              | -     | 0.329 | -        | 0.005 | -          | -     | -     | -         |                          |             |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|-------|--------|-------|----------------|------|----------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|------|------|------|----------------|-------|----------------|--------|-------|-----|--------|--------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|------|-----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|-----|------|-----|------|
| 기 술 명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      | 회전속도가 다른 두 개의 드럼이 장착된 수조를 이용하여 건설폐기물 처리 과정에서 생산되는 순환골재의 유기이물질 제거 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 기 술 개 요                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                      | ◦ 상호 회전속도를 달리하는 두 대의 드럼이 수조내부에서 회전운동을 하고 골재와 이물질의 비중치를 이용하여 분리된 골재를 회전하는 드럼이 장착된 버킷을 이용하여 이물질이 제거된 순수한 골재만을 분리하는 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 검<br>증<br>내<br>용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 검<br>증<br>결<br>과     | ◦ 전체 공정 처리용량 : 평균 153ton/hr(최소 149, 최대 156)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | ◦ 신기술 공정 처리용량 : 약 61ton/hr(최소 47, 최대 66)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | ◦ 물질수지 측정결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | <table><tr><td rowspan="3">구분</td><td colspan="2">합계</td><td colspan="2">순환골재</td><td colspan="2">토사</td><td colspan="2">석분</td><td colspan="2">유기이물질<br/>(신기술)</td><td colspan="2">기타유기·무기<br/>이물질</td></tr><tr><td>배출</td><td>비율</td><td>배출</td><td>비율</td><td>배출</td><td>비율</td><td>배출</td><td>비율</td><td>배출</td><td>비율</td><td>배출</td><td>비율</td></tr><tr><td>ton/hr</td><td>%</td><td>ton/hr</td><td>%</td><td>ton/hr</td><td>%</td><td>ton/hr</td><td>%</td><td>ton/hr</td><td>%</td><td>ton/hr</td><td>%</td></tr><tr><td>결과</td><td>153</td><td>100.0</td><td>64</td><td>42.04</td><td>50</td><td>32.77</td><td>36</td><td>23.77</td><td>0.3</td><td>0.21</td><td>1.9</td><td>1.21</td></tr></table> |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      | 구분      | 합계      |          | 순환골재     |          | 토사       |      | 석분   |      | 유기이물질<br>(신기술) |       | 기타유기·무기<br>이물질 |        | 배출    | 비율  | 배출     | 비율     | 배출    | 비율    | 배출   | 비율   | 배출   | 비율  | 배출  | 비율   | ton/hr | %    | ton/hr | %    | ton/hr | %    | ton/hr | %    | ton/hr | %    | ton/hr | %    | 결과   | 153 | 100.0 | 64 | 42.04 | 50 | 32.77 | 36 | 23.77 | 0.3 | 0.21 | 1.9 | 1.21 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 합계      |         | 순환골재     |          | 토사       |       | 석분     |       | 유기이물질<br>(신기술) |      | 기타유기·무기<br>이물질       |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 배출      | 비율      | 배출       | 비율       | 배출       | 비율    | 배출     | 비율    | 배출             | 비율   | 배출                   |         | 비율      |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ton/hr  | %       | ton/hr   | %        | ton/hr   | %     | ton/hr | %     | ton/hr         | %    | ton/hr               | %       |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 153     | 100.0   | 64       | 42.04    | 50       | 32.77 | 36     | 23.77 | 0.3            | 0.21 | 1.9                  | 1.21    |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | ◦ 신기술 공정 통과 전·후 유기이물질 제거효율                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | <table><tr><td>구분</td><td>단위</td><td>품질<br/>기준</td><td>평균</td><td>1차</td><td>2차</td><td>3차</td><td>4차</td><td>5차</td><td>6차</td></tr><tr><td>통과전</td><td rowspan="3">%</td><td rowspan="2">1.0이하</td><td>1.3</td><td>1.1</td><td>1.2</td><td>1.3</td><td>1.3</td><td>1.4</td><td>1.2</td></tr><tr><td>통과후</td><td>0.2</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.3</td><td>0.2</td><td>0.2</td></tr><tr><td>제거효율</td><td>-</td><td>81.3</td><td>81.8</td><td>75.0</td><td>84.6</td><td>76.9</td><td>85.7</td><td>83.3</td></tr></table>                                                                                                                                                                   |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      | 구분      | 단위      | 품질<br>기준 | 평균       | 1차       | 2차       | 3차   | 4차   | 5차   | 6차             | 통과전   | %              | 1.0이하  | 1.3   | 1.1 | 1.2    | 1.3    | 1.3   | 1.4   | 1.2  | 통과후  | 0.2  | 0.2 | 0.3 | 0.2  | 0.3    | 0.2  | 0.2    | 제거효율 | -      | 81.3 | 81.8   | 75.0 | 84.6   | 76.9 | 85.7   | 83.3 |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 단위                   | 품질<br>기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 평균      | 1차      | 2차       | 3차       | 4차       | 5차    | 6차     |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 통과전                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | %                    | 1.0이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 1.3     | 1.1     | 1.2      | 1.3      | 1.3      | 1.4   | 1.2    |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 통과후                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0.2     | 0.2     | 0.3      | 0.2      | 0.3      | 0.2   | 0.2    |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 제거효율                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 81.3    | 81.8    | 75.0     | 84.6     | 76.9     | 85.7  | 83.3   |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| ◦ 도로보조 기층용 순환골재 품질평가 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| <table><tr><td>구분</td><td>액성한계(%)</td><td>소성지수(%)</td><td>마모감량(%)</td><td>모래당량(%)</td><td>수정CBR(%)</td><td>유기이물질(%)</td><td>무기이물질(%)</td></tr><tr><td>품질기준</td><td>25이하</td><td>6이하</td><td>50이하</td><td>25이상</td><td>30이상</td><td>1.0이하</td><td>5.0이하</td></tr><tr><td>평균</td><td>N.P</td><td>N.P</td><td>36.3</td><td>68.5</td><td>54.5</td><td>0.24</td><td>0.53</td></tr><tr><td>최대</td><td>N.P</td><td>N.P</td><td>37.1</td><td>73</td><td>58</td><td>0.3</td><td>0.65</td></tr><tr><td>최소</td><td>N.P</td><td>N.P</td><td>35.4</td><td>66</td><td>52</td><td>0.2</td><td>0.46</td></tr></table>                                 |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |         |          |          |          |       |        |       |                | 구분   | 액성한계(%)              | 소성지수(%) | 마모감량(%) | 모래당량(%)  | 수정CBR(%) | 유기이물질(%) | 무기이물질(%) | 품질기준 | 25이하 | 6이하  | 50이하           | 25이상  | 30이상           | 1.0이하  | 5.0이하 | 평균  | N.P    | N.P    | 36.3  | 68.5  | 54.5 | 0.24 | 0.53 | 최대  | N.P | N.P  | 37.1   | 73   | 58     | 0.3  | 0.65   | 최소   | N.P    | N.P  | 35.4   | 66   | 52     | 0.2  | 0.46 |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 액성한계(%)              | 소성지수(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 마모감량(%) | 모래당량(%) | 수정CBR(%) | 유기이물질(%) | 무기이물질(%) |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 품질기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 25이하                 | 6이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 50이하    | 25이상    | 30이상     | 1.0이하    | 5.0이하    |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 평균                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | N.P                  | N.P                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 36.3    | 68.5    | 54.5     | 0.24     | 0.53     |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 최대                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | N.P                  | N.P                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 37.1    | 73      | 58       | 0.3      | 0.65     |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 최소                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | N.P                  | N.P                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 35.4    | 66      | 52       | 0.2      | 0.46     |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| ◦ 도로 보조기층용 순환골재(RSB-2) 입도분석 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| <table><tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="7">체를 통과하는 것의 질량 백분율(%)</td></tr><tr><td>50mm</td><td>40mm</td><td>20mm</td><td>5mm</td><td>2.5mm</td><td>0.4mm</td><td>0.08mm</td></tr><tr><td>품질기준</td><td>100</td><td>80~100</td><td>55~100</td><td>30~70</td><td>20~55</td><td>5~30</td><td>2~10</td></tr><tr><td>평균</td><td>100</td><td>100</td><td>88.6</td><td>61.3</td><td>44.1</td><td>15.8</td><td>6.2</td></tr><tr><td>최대</td><td>100</td><td>100</td><td>93</td><td>65</td><td>48</td><td>18</td><td>7</td></tr><tr><td>최소</td><td>100</td><td>100</td><td>79</td><td>57</td><td>41</td><td>13</td><td>5</td></tr></table> |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |         |          |          |          |       |        |       |                | 구분   | 체를 통과하는 것의 질량 백분율(%) |         |         |          |          |          |          | 50mm | 40mm | 20mm | 5mm            | 2.5mm | 0.4mm          | 0.08mm | 품질기준  | 100 | 80~100 | 55~100 | 30~70 | 20~55 | 5~30 | 2~10 | 평균   | 100 | 100 | 88.6 | 61.3   | 44.1 | 15.8   | 6.2  | 최대     | 100  | 100    | 93   | 65     | 48   | 18     | 7    | 최소   | 100 | 100   | 79 | 57    | 41 | 13    | 5  |       |     |      |     |      |
| 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 체를 통과하는 것의 질량 백분율(%) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 50mm                 | 40mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 20mm    | 5mm     | 2.5mm    | 0.4mm    | 0.08mm   |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 품질기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 100                  | 80~100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 55~100  | 30~70   | 20~55    | 5~30     | 2~10     |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 평균                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 100                  | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 88.6    | 61.3    | 44.1     | 15.8     | 6.2      |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 최대                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 100                  | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 93      | 65      | 48       | 18       | 7        |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| 최소                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 100                  | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 79      | 57      | 41       | 13       | 5        |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |
| ◦ 건설폐기물 1톤 처리에 사용되는 전력사용량 : 2.09 kWh/ton(6개월 평균)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |         |         |          |          |          |       |        |       |                |      |                      |         |         |          |          |          |          |      |      |      |                |       |                |        |       |     |        |        |       |       |      |      |      |     |     |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |        |      |      |     |       |    |       |    |       |    |       |     |      |     |      |

|                                   |                   |                                                                                                                                  |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| 기 술 명                             |                   | 회분식 회전믹서형 반응기를 적용한 급속탄산화 공정에 의한 도로공사용 순환골재 pH 저감 기술                                                                              |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
| 기 술 개 요                           |                   | 급속탄산화 공정에 회분식 회전믹서형 반응기와 CO2 순환장치를 적용하여 건설폐기물을 중간처리하여 생산된 도로공사용 순환골재의 pH 저감과 동시에 회전믹서형 반응기 내부에서의 골재낙하 및 골재간 마모에 의한 미분량을 증가시키는 기술 |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
| 검<br>증<br>내<br>용                  | 검<br>증<br>결<br>과  | ◦ 하나케이환경(주) 처리용량 : 평균 204.9 ton/day (최소 : 202.8 ton/day, 최대 205.8 ton/day)                                                       |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
|                                   |                   | ◦ 우진환경개발(주) 처리용량 : 평균 210.0 ton/day (최소 : 206.6 ton/day, 최대 213.0 ton/day)                                                       |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
|                                   |                   | ◦ 운전조건                                                                                                                           |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
|                                   |                   | Batch 당 평균 가동시간                                                                                                                  |                                   | 회전믹서형 반응기                                                         |                                    |                  | CO2 순환장치                                    |      |      |      |      |      |
|                                   |                   | 8분                                                                                                                               |                                   | 초기감압 -0.5~0kgH/cm <sup>2</sup><br>CO2 반응농도 70%이상,<br>운전회전수(15RPM) |                                    |                  | 사용압력 5.0kgH/cm <sup>2</sup><br>CO2 농도 70%이상 |      |      |      |      |      |
|                                   |                   | ◦ 순환골재 용출수 pH 측정결과                                                                                                               |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
|                                   |                   | 항목                                                                                                                               |                                   | 1회                                                                | 2회                                 | 3회               | 4회                                          | 5회   | 6회   | 7회   | 8회   | 평균   |
|                                   |                   | 탄산화 처리 전                                                                                                                         |                                   | 11.5                                                              | 11.7                               | 11.6             | 11.4                                        | 11.7 | 11.4 | 11.3 | 11.5 | 11.5 |
|                                   |                   | 탄산화 처리 후                                                                                                                         |                                   | 9.5                                                               | 9.6                                | 9.6              | 9.5                                         | 9.6  | 9.7  | 9.5  | 9.7  | 9.6  |
|                                   |                   | ◦ 0.08mm 미분량 증가율                                                                                                                 |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
| 구분                                |                   | 1회                                                                                                                               | 2회                                | 3회                                                                | 4회                                 | 5회               | 6회                                          | 7회   | 8회   | 평균   |      |      |
| 0.08mm체<br>통과 질량<br>백분율(%)        | 반응기<br>통과 전       | 3                                                                                                                                | 4                                 | 3                                                                 | 3                                  | 2                | 3                                           | 3    | 3    | 3.0  |      |      |
|                                   | 반응기<br>통과 후       | 5                                                                                                                                | 6                                 | 5                                                                 | 6                                  | 3                | 4                                           | 5    | 4    | 4.8  |      |      |
| 미분량 증가율(%)                        |                   | 66.7                                                                                                                             | 50.0                              | 66.7                                                              | 100                                | 50.0             | 33.3                                        | 66.7 | 33.3 | 58.3 |      |      |
| ◦ CO2 사용량(각 8회 평균)                |                   |                                                                                                                                  |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
| 하나환경산업(주)                         |                   |                                                                                                                                  | 우진환경개발(주)                         |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
| Batch당<br>CO2 용량(m <sup>3</sup> ) | Batch당<br>처리량(kg) | 톤당 CO2<br>사용량(m <sup>3</sup> /ton)                                                                                               | Batch당<br>CO2 용량(m <sup>3</sup> ) | Batch당<br>처리량(kg)                                                 | 톤당 CO2<br>사용량(m <sup>3</sup> /ton) |                  |                                             |      |      |      |      |      |
| 7.6                               | 3,415             | 2.2                                                                                                                              | 6.5                               | 3,500                                                             | 1.9                                |                  |                                             |      |      |      |      |      |
| ◦ 일일 전력사용량(각 8회 평균)               |                   |                                                                                                                                  |                                   |                                                                   |                                    |                  |                                             |      |      |      |      |      |
| 구분                                |                   | 시간당 사용량(Kwh)                                                                                                                     |                                   | 시간당 처리량(ton)                                                      |                                    | 톤당전력사용량(kwh/ton) |                                             |      |      |      |      |      |
| 하나환경산업(주)                         |                   | 40                                                                                                                               |                                   | 25.6                                                              |                                    | 1.56             |                                             |      |      |      |      |      |
| 우진환경개발(주)                         |                   | 39.7                                                                                                                             |                                   | 26.3                                                              |                                    | 1.51             |                                             |      |      |      |      |      |

| 기 술 명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                | 콘크리셔 임팩트크리셔 일체형 설비를 적용한 콘크리트용 순환 굵은골재 생산기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------------------------|------------|----------------------|------|-------------|-----|---------|------|---------|------|-----|-------|----------|-------|-------------|-----|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|----|---------|-----|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-----|-----|--------|------|
| 기 술 개 요                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                | 콘크리셔의 구조를 변경하여 편심운동을 회전운동으로 바꾸고, 임팩트크리셔의 로터 부분을 개량하여 두 종류의 크리셔를 하나의 몸체에 일체화시킨 기술로서 건설폐기물 중간처리 공정에 적용하여 기존 도로공사용 순환골재를 투입, 마쇄 및 파쇄를 통해 골재 표면의 모르타르를 박리하고 입형을 개선하여 콘크리트용 순환굵은골재를 생산하는 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| 검<br>증<br>내<br>용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 검<br>증<br>결<br>과               | ◦ 전체 공정처리용량 : 평균 151톤/시간<br>◦ 물질수지 측정결과< 약 1시간 가동, 9회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                | <table><tr><th rowspan="2">항목</th><th colspan="2">합계</th><th colspan="2">25mm 순환굵은골재</th><th colspan="2">13mm 석분</th><th colspan="2">5mm 잔골재</th><th colspan="2">토사</th><th colspan="2">철편</th><th colspan="2">이물질</th></tr><tr><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th></tr><tr><td>결과</td><td>150.987</td><td>100</td><td>39.354</td><td>26.0</td><td>52.430</td><td>34.7</td><td>39.417</td><td>26.1</td><td>18.970</td><td>12.6</td><td>424</td><td>0.3</td><td>391</td><td>0.3</td></tr></table>                   |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                | 항목         | 합계                   |      | 25mm 순환굵은골재 |     | 13mm 석분 |      | 5mm 잔골재 |      | 토사  |       | 철편       |       | 이물질         |     | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 결과 | 150.987 | 100 | 39.354 | 26.0 | 52.430 | 34.7 | 39.417 | 26.1 | 18.970 | 12.6 | 424 | 0.3 | 391    | 0.3  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                | 항목                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 합계                   |         | 25mm 순환굵은골재  |         | 13mm 석분      |         | 5mm 잔골재      |         | 토사           |         | 철편           |         | 이물질                            |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 배출<br>ton/hr         | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr                   | 비율<br>%    |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                | 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 150.987              | 100     | 39.354       | 26.0    | 52.430       | 34.7    | 39.417       | 26.1    | 18.970       | 12.6    | 424          | 0.3     | 391                            | 0.3        |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                | ※ 폐콘크리트 실제 투입시간은 9회 평균 48분으로 약 191.5톤/시간 처리 가능                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                | ◦ 순환골재 리턴율 측정결과<약 1시간 가동, 5회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                | <table><tr><th rowspan="2">항목</th><th colspan="2">합계</th><th colspan="2">25mm 순환굵은골재</th><th colspan="2">13mm 석분</th><th colspan="2">5mm 잔골재</th><th colspan="2">토사</th><th colspan="2">철편 및 이물질</th><th colspan="2">25mm이상 리턴골재</th></tr><tr><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>ton/hr</th><th>비율<br/>%</th></tr><tr><td>결과</td><td>146.963</td><td>100</td><td>21.684</td><td>14.6</td><td>45.422</td><td>30.9</td><td>37.679</td><td>25.7</td><td>22.578</td><td>15.4</td><td>702</td><td>0.5</td><td>18.898</td><td>12.9</td></tr></table> |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                | 항목         | 합계                   |      | 25mm 순환굵은골재 |     | 13mm 석분 |      | 5mm 잔골재 |      | 토사  |       | 철편 및 이물질 |       | 25mm이상 리턴골재 |     | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 결과 | 146.963 | 100 | 21.684 | 14.6 | 45.422 | 30.9 | 37.679 | 25.7 | 22.578 | 15.4 | 702 | 0.5 | 18.898 | 12.9 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                | 항목                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 합계                   |         | 25mm 순환굵은골재  |         | 13mm 석분      |         | 5mm 잔골재      |         | 토사           |         | 철편 및 이물질     |         | 25mm이상 리턴골재                    |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 배출<br>ton/hr         | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr | 비율<br>% | 배출<br>ton/hr                   | 비율<br>%    |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 146.963                        | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 21.684               | 14.6    | 45.422       | 30.9    | 37.679       | 25.7    | 22.578       | 15.4    | 702          | 0.5     | 18.898       | 12.9    |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| ◦ 콘크리트용 순환 굵은골재 절건밀도, 흡수율 및 입도분포<9회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">절건밀도<br/>( g /cm<sup>3</sup>)</th><th rowspan="2">흡수율<br/>(%)</th><th colspan="5">체를 통과하는 것의 질량 백분율(%)</th></tr><tr><th>40mm</th><th>25mm</th><th>15mm</th><th>5mm</th><th>2.5mm</th></tr><tr><td>품질기준</td><td>2.5이상</td><td>3.0이하</td><td>100</td><td>95~100</td><td>25~60</td><td>0~10</td><td>0~5</td></tr><tr><td>평가평과</td><td>2.56</td><td>2.00</td><td>100</td><td>100</td><td>38.1</td><td>0</td><td>0</td></tr></table> |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              | 구분      | 절건밀도<br>( g /cm <sup>3</sup> ) | 흡수율<br>(%) | 체를 통과하는 것의 질량 백분율(%) |      |             |     |         | 40mm | 25mm    | 15mm | 5mm | 2.5mm | 품질기준     | 2.5이상 | 3.0이하       | 100 | 95~100       | 25~60   | 0~10         | 0~5     | 평가평과         | 2.56    | 2.00         | 100     | 100          | 38.1    | 0            | 0       |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 절건밀도<br>( g /cm <sup>3</sup> ) | 흡수율<br>(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 체를 통과하는 것의 질량 백분율(%) |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 40mm                 | 25mm    | 15mm         | 5mm     | 2.5mm        |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| 품질기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2.5이상                          | 3.0이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 100                  | 95~100  | 25~60        | 0~10    | 0~5          |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| 평가평과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2.56                           | 2.00                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 100                  | 100     | 38.1         | 0       | 0            |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| ◦ 전력사용량<9회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| <table><tr><th>항목</th><th>전력사용량(kwh)</th><th>처리량(ton)</th><th>톤당 전력사용량(kwh/ton)</th></tr><tr><td>평가결과</td><td>494</td><td>151</td><td>3.27</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              | 항목      | 전력사용량(kwh)                     | 처리량(ton)   | 톤당 전력사용량(kwh/ton)    | 평가결과 | 494         | 151 | 3.27    |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| 항목                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 전력사용량(kwh)                     | 처리량(ton)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 톤당 전력사용량(kwh/ton)    |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |
| 평가결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 494                            | 151                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3.27                 |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |                                |            |                      |      |             |     |         |      |         |      |     |       |          |       |             |     |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |              |         |    |         |     |        |      |        |      |        |      |        |      |     |     |        |      |

| 기 술 명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                  | 콘형구동체와 진도 콘케이브로 구성된 일체형 복합장치를 이용한 콘크리트용 순환 굵은 골재 생산기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|------------|-------------|-------------------|-----------|------------|-------------|------------|---------|------------|---------|-----------------|-------------|-------------------------|----------------------|------------|-------------|-------------------|-----------|---------|-------------|---------|----|---------|-------|----------------|-------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|-------------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|-----|--------|------|-----|-----|
| 기 술 개 요                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                  | 파쇄, 마쇄, 입형 개선 등의 기능을 단일 장치로 구현할 수 있는 콘형구동체와 4개의 진동 콘케이브로 구성된 일체형 복합장치를 이용하여 콘크리트용 순환 굵은 골재를 생산하는 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| 검<br>증<br>내<br>용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 검<br>증<br>결<br>과 | ◦ 전체 공정처리용량 : 평균 126톤/시간(최소 120ton/hr, 최대 138ton/hr)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | ◦ 물질수지 측정결과<9회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="2">합계</th><th colspan="2">순환<br/>굵은골재</th><th colspan="2">토사</th><th colspan="2">석분</th><th colspan="2">13mm 골재</th><th colspan="2">40mm 골재</th><th colspan="2">고철 및<br/>기타 가연물</th></tr><tr><th>배출<br/>(kg)</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>(kg)</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>(kg)</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>(kg)</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>(kg)</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>(kg)</th><th>비율<br/>%</th><th>배출<br/>(kg)</th><th>비율<br/>%</th></tr><tr><td>결과</td><td>92,068</td><td>100</td><td>14,558</td><td>15.8</td><td>28,523</td><td>31.0</td><td>11,472</td><td>12.5</td><td>6,502</td><td>7.1</td><td>30,247</td><td>32.9</td><td>766</td><td>0.8</td></tr></table> |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 | 구분          | 합계                      |                      | 순환<br>굵은골재 |             | 토사                |           | 석분      |             | 13mm 골재 |    | 40mm 골재 |       | 고철 및<br>기타 가연물 |       | 배출<br>(kg) | 비율<br>% | 배출<br>(kg) | 비율<br>% | 배출<br>(kg) | 비율<br>% | 배출<br>(kg)        | 비율<br>% | 배출<br>(kg) | 비율<br>% | 배출<br>(kg) | 비율<br>% | 배출<br>(kg) | 비율<br>% | 결과   | 92,068 | 100  | 14,558 | 15.8 | 28,523 | 31.0 | 11,472 | 12.5 | 6,502 | 7.1 | 30,247 | 32.9 | 766 | 0.8 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 합계                      |                      | 순환<br>굵은골재 |             | 토사                |           | 석분         |             | 13mm 골재    |         | 40mm 골재    |         | 고철 및<br>기타 가연물  |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 배출<br>(kg)              | 비율<br>%              | 배출<br>(kg) | 비율<br>%     | 배출<br>(kg)        | 비율<br>%   | 배출<br>(kg) | 비율<br>%     | 배출<br>(kg) | 비율<br>% | 배출<br>(kg) | 비율<br>% | 배출<br>(kg)      | 비율<br>%     |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 92,068                  | 100                  | 14,558     | 15.8        | 28,523            | 31.0      | 11,472     | 12.5        | 6,502      | 7.1     | 30,247     | 32.9    | 766             | 0.8         |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | ◦ 멀티 콘크러셔 통과 전, 후 및 최종생산 순환골재 입도 평가결과<9회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | <table><tr><th colspan="2">체의 호칭(mm)</th><th colspan="5">시험결과</th></tr><tr><th colspan="2">입도종류 구분</th><th>40</th><th>25</th><th>15</th><th>5</th><th>2.5</th></tr><tr><th colspan="2">기준</th><td>100</td><td>95~100</td><td>25~60</td><td>0~10</td><td>0~5</td></tr><tr><th rowspan="2">입도 %<br/>(체통과 백분율)</th><th>통과전</th><td>100</td><td>100</td><td>23.4</td><td>2.0</td><td>1.7</td></tr><tr><th>통과후</th><td>100</td><td>100</td><td>44.3</td><td>2.0</td><td>1.0</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                      |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 | 체의 호칭(mm)   |                         | 시험결과                 |            |             |                   |           | 입도종류 구분 |             | 40      | 25 | 15      | 5     | 2.5            | 기준    |            | 100     | 95~100     | 25~60   | 0~10       | 0~5     | 입도 %<br>(체통과 백분율) | 통과전     | 100        | 100     | 23.4       | 2.0     | 1.7        | 통과후     | 100  | 100    | 44.3 | 2.0    | 1.0  |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | 체의 호칭(mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                         | 시험결과                 |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  | 입도종류 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                         | 40                   | 25         | 15          | 5                 | 2.5       |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| 기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                  | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 95~100                  | 25~60                | 0~10       | 0~5         |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| 입도 %<br>(체통과 백분율)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 통과전              | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 100                     | 23.4                 | 2.0        | 1.7         |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 통과후              | 100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 100                     | 44.3                 | 2.0        | 1.0         |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| ◦ 최종생산 순환 굵은 골재 품질 시험 결과<9회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| <table><tr><th rowspan="2">구분</th><th rowspan="2">절건밀도<br/>(g/cm³)</th><th rowspan="2">흡수율<br/>(%)</th><th rowspan="2">0.08mm<br/>체통과<br/>손실량(%)</th><th rowspan="2">입자모양<br/>판정실적<br/>율(%)</th><th rowspan="2">안정성<br/>(%)</th><th rowspan="2">마모감량<br/>(%)</th><th rowspan="2">점토<br/>덩어리량<br/>(%)</th><th colspan="2">이물질함유량(%)</th><th rowspan="2">알칼리<br/>골재반응</th></tr><tr><th>유기</th><th>무기</th></tr><tr><td>기준</td><td>2.5이상</td><td>3.0이하</td><td>1.0이하</td><td>55이상</td><td>12이하</td><td>40이하</td><td>0.2이하</td><td>1.0이하</td><td>1.0이하</td><td>무해할 것</td></tr><tr><td>결과</td><td>2.53</td><td>2.67</td><td>0.79</td><td>56.0</td><td>4.58</td><td>33.62</td><td>0.10</td><td>0.09</td><td>0.09</td><td>무해</td></tr></table> |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            | 구분      | 절건밀도<br>(g/cm³) | 흡수율<br>(%)  | 0.08mm<br>체통과<br>손실량(%) | 입자모양<br>판정실적<br>율(%) | 안정성<br>(%) | 마모감량<br>(%) | 점토<br>덩어리량<br>(%) | 이물질함유량(%) |         | 알칼리<br>골재반응 | 유기      | 무기 | 기준      | 2.5이상 | 3.0이하          | 1.0이하 | 55이상       | 12이하    | 40이하       | 0.2이하   | 1.0이하      | 1.0이하   | 무해할 것             | 결과      | 2.53       | 2.67    | 0.79       | 56.0    | 4.58       | 33.62   | 0.10 | 0.09   | 0.09 | 무해     |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 절건밀도<br>(g/cm³)  | 흡수율<br>(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 0.08mm<br>체통과<br>손실량(%) | 입자모양<br>판정실적<br>율(%) | 안정성<br>(%) | 마모감량<br>(%) | 점토<br>덩어리량<br>(%) | 이물질함유량(%) |            | 알칼리<br>골재반응 |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                         |                      |            |             |                   | 유기        | 무기         |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| 기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2.5이상            | 3.0이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 1.0이하                   | 55이상                 | 12이하       | 40이하        | 0.2이하             | 1.0이하     | 1.0이하      | 무해할 것       |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| 결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2.53             | 2.67                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.79                    | 56.0                 | 4.58       | 33.62       | 0.10              | 0.09      | 0.09       | 무해          |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| ◦ 전력사용량<15회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| <table><tr><th>항목</th><th>전력사용량(kwh/hr)</th><th>처리량(ton/hr)</th><th>톤당 전력사용량(kwh/ton)</th></tr><tr><td>평가결과</td><td>348.49</td><td>127.74</td><td>2.75</td></tr></table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                         |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            | 항목      | 전력사용량(kwh/hr)   | 처리량(ton/hr) | 톤당 전력사용량(kwh/ton)       | 평가결과                 | 348.49     | 127.74      | 2.75              |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| 항목                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 전력사용량(kwh/hr)    | 처리량(ton/hr)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 톤당 전력사용량(kwh/ton)       |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |
| 평가결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 348.49           | 127.74                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2.75                    |                      |            |             |                   |           |            |             |            |         |            |         |                 |             |                         |                      |            |             |                   |           |         |             |         |    |         |       |                |       |            |         |            |         |            |         |                   |         |            |         |            |         |            |         |      |        |      |        |      |        |      |        |      |       |     |        |      |     |     |

| 기 술 명                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      | 전기 가열 회전장치로 골재와 시멘트 페이스트의 부착력을 약화시켜 콘크리트용 순환굵은골재 및 순환잔골재를 생산하는 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|----------|----------------------|-----------|--------------|---------------|-----------------------|------|----------|----------|-------------|-----------------|-------|-----------------|-------|--------|--------------|-------|--------------|--------|-------|-------|-------|------|--------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|-----|-----|
| 기 술 개 요                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                      | 건설폐기물을 중간처리시설에 전기 가열 회전 장치를 적용하여 콘크리트용 순환 굵은 골재 및 순환 잔골재를 동시에 생산하는 기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| 검<br>증<br>내<br>용                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 검<br>증<br>결<br>과     | ◦ 전체 공정처리용량 : 평균 65.6ton/hr(최소 57.5ton/hr 최대 72.8ton/hr)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | ◦ 공정구성<br>건설폐기물 투입 → 진동스크린(45mm) → 트롬멜스크린 → 죠크라샤 → 더블쥬 크라샤 → 진동스크린(25mm/20mm) → 전기가열 회전장치 → 임팩터크라샤 → 진동스크린 → 와류식 세척장치 → 회전식 세척장치 → 콘크리트용 순환 잔골재 생산<br>↓<br>콘크리트용 순환 굵은 골재 생산                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | ◦ 물질수지 측정결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | <table><tr><th colspan="2" rowspan="2">구분</th><th>투입량</th><th>순환</th><th>순환</th><th rowspan="2">토사</th><th colspan="3">이물질</th></tr><tr><th>건설폐기물</th><th>굵은골재</th><th>잔골재</th><th>고철</th><th>목재,비닐등</th><th>슬러지</th></tr><tr><td>중량</td><td>ton/hr</td><td>65.6</td><td>22.3</td><td>25.6</td><td>13.6</td><td>0.9</td><td>0.1</td><td>3.1</td></tr><tr><td>비율</td><td>%</td><td>100</td><td>34</td><td>39.0</td><td>20.7</td><td>1.4</td><td>0.2</td><td>4.7</td></tr></table> |                       |       |       |       |          |                      | 구분        |              | 투입량           | 순환                    | 순환   | 토사       | 이물질      |             |                 | 건설폐기물 | 굵은골재            | 잔골재   | 고철     | 목재,비닐등       | 슬러지   | 중량           | ton/hr | 65.6  | 22.3  | 25.6  | 13.6 | 0.9    | 0.1 | 3.1   | 비율    | %     | 100   | 34    | 39.0 | 20.7 | 1.4 | 0.2 | 4.7 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                       | 투입량   | 순환    | 순환    | 토사       | 이물질                  |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       | 건설폐기물 | 굵은골재  | 잔골재   |          | 고철                   | 목재,비닐등    | 슬러지          |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | 중량                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ton/hr                | 65.6  | 22.3  | 25.6  | 13.6     | 0.9                  | 0.1       | 3.1          |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | 비율                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | %                     | 100   | 34    | 39.0  | 20.7     | 1.4                  | 0.2       | 4.7          |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | * 신청자가 제시한 조건에 따라 현장평가 당시 신청기술을 포함한 전체공정에서 확인한 물질수지 결과임                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | ◦ 최종 생산된 콘크리트용 순환 골재의 절대건조밀도 및 흡수율<9회 평균(최소~최대)>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| <table><tr><th rowspan="2">항목</th><th colspan="2">콘크리트용 순환 굵은골재</th><th colspan="2">콘크리트용 순환 잔골재</th></tr><tr><th>평가결과</th><th>품질기준</th><th>평가결과</th><th>품질기준</th></tr><tr><td>밀도( g /cm³)</td><td>2.55(2.52~2.57)</td><td>2.5이상</td><td>2.27(2.24~2.30)</td><td>2.2이상</td></tr><tr><td>흡수율(%)</td><td>2.6(2.4~2.8)</td><td>3.0이하</td><td>4.7(4.5~4.8)</td><td>5.0이하</td></tr></table>                                                                |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |       |       |       | 항목       | 콘크리트용 순환 굵은골재        |           | 콘크리트용 순환 잔골재 |               | 평가결과                  | 품질기준 | 평가결과     | 품질기준     | 밀도( g /cm³) | 2.55(2.52~2.57) | 2.5이상 | 2.27(2.24~2.30) | 2.2이상 | 흡수율(%) | 2.6(2.4~2.8) | 3.0이하 | 4.7(4.5~4.8) | 5.0이하  |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| 항목                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 콘크리트용 순환 굵은골재        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 콘크리트용 순환 잔골재          |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 평가결과                 | 품질기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 평가결과                  | 품질기준  |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| 밀도( g /cm³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2.55(2.52~2.57)      | 2.5이상                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2.27(2.24~2.30)       | 2.2이상 |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| 흡수율(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2.6(2.4~2.8)         | 3.0이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4.7(4.5~4.8)          | 5.0이하 |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| ◦ 최종 생산된 콘크리트용 순환 잔골재의 입도분석 결과<9회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| <table><tr><th rowspan="2">입도종류 체크기</th><th colspan="7">체를 통과하는 것의 질량 백분율(%)</th></tr><tr><th>10mm</th><th>5mm</th><th>2.5mm</th><th>1.2mm</th><th>0.6mm</th><th>0.3mm</th><th>0.15mm</th></tr><tr><td>품질기준</td><td>100</td><td>90~100</td><td>80~100</td><td>50~90</td><td>25~65</td><td>10~35</td><td>2~15</td></tr><tr><td>순환 잔골재</td><td>100</td><td>99.78</td><td>84.89</td><td>57.56</td><td>36.44</td><td>14.67</td><td>3.89</td></tr></table> |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |       |       |       | 입도종류 체크기 | 체를 통과하는 것의 질량 백분율(%) |           |              |               |                       |      |          | 10mm     | 5mm         | 2.5mm           | 1.2mm | 0.6mm           | 0.3mm | 0.15mm | 품질기준         | 100   | 90~100       | 80~100 | 50~90 | 25~65 | 10~35 | 2~15 | 순환 잔골재 | 100 | 99.78 | 84.89 | 57.56 | 36.44 | 14.67 | 3.89 |      |     |     |     |
| 입도종류 체크기                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 체를 통과하는 것의 질량 백분율(%) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 10mm                 | 5mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2.5mm                 | 1.2mm | 0.6mm | 0.3mm | 0.15mm   |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| 품질기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 100                  | 90~100                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 80~100                | 50~90 | 25~65 | 10~35 | 2~15     |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| 순환 잔골재                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 100                  | 99.78                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 84.89                 | 57.56 | 36.44 | 14.67 | 3.89     |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| ◦ 1시간당 전력사용량<15회 평균>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| <table><tr><th rowspan="2">항목</th><th rowspan="2">전기가열 회전장치<br/>예열시</th><th colspan="2">건설폐기물 처리시</th></tr><tr><th>전체 설비에 사용된 전력</th><th>전기 가열 회전장치에<br/>사용된 전력</th></tr><tr><td>평가결과</td><td>250.87kw</td><td>522.33kw</td><td>247.25kw</td></tr></table>                                                                                                                                                                                            |                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                       |       |       |       | 항목       | 전기가열 회전장치<br>예열시     | 건설폐기물 처리시 |              | 전체 설비에 사용된 전력 | 전기 가열 회전장치에<br>사용된 전력 | 평가결과 | 250.87kw | 522.33kw | 247.25kw    |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| 항목                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 전기가열 회전장치<br>예열시     | 건설폐기물 처리시                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                       |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                      | 전체 설비에 사용된 전력                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 전기 가열 회전장치에<br>사용된 전력 |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |
| 평가결과                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 250.87kw             | 522.33kw                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 247.25kw              |       |       |       |          |                      |           |              |               |                       |      |          |          |             |                 |       |                 |       |        |              |       |              |        |       |       |       |      |        |     |       |       |       |       |       |      |      |     |     |     |

## 제5장. 연구개발성과의 활용계획

### . 연구결과의 활용방안

| 구 분     | 활용 방안                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 기술수요처   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH저감기술 (건설폐기물 처리, 순환골재 생산, 도로건설)               <ul style="list-style-type: none"> <li>-도로용/기층용 순환골재의 알칼리에 의한 환경오염 방지</li> </ul> </li> <li>▪ 오염수 처리와 슬러지 고형화/안정화/재사용화 기술</li> <li>▪ 표면개질기술 (레미콘사, 순환골재 생산업, 건설사)               <ul style="list-style-type: none"> <li>-품질향상을 통한 콘크리용 재료로서 적극활용</li> </ul> </li> <li>▪ 환경영향 및 재료설계 시스템 (레미콘사, 2차제품 생산업, 건설사)               <ul style="list-style-type: none"> <li>-2차 활용을 위한 최적성능설계 제공</li> </ul> </li> </ul> |
| 원천기술 확보 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 특허출원, 매커니즘 규명               <ul style="list-style-type: none"> <li>-pH저감기술, 오염수 슬러지 처리기술, 표면개질 및 흡수율 저감</li> <li>-반응촉진 기술 아이디어의 접목: 버블/초음파진동</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 실용화     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 원천기술의 실용화를 위한 기반 마련               <ul style="list-style-type: none"> <li>-고알칼리성 콘크리트 폐기물의 pH저감 / 안정화</li> <li>-표면개질 및 흡수율 저감 기술이 적용된 순환골재 생산</li> <li>-확대적용: 개발된 기술(표면개질)의 콘크리트 제품 표면강화 적용</li> <li>-기타: 최적성능설계 시스템</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                  |
| 기술전파    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 원천기술-실용화 방안(공정/장치) 마련을 통한 수요처에 기술전파               <ul style="list-style-type: none"> <li>-기술전파를 통한 사회 및 경제적 파급효과</li> <li>-경제성 및 환경성에 초점을 맞춘 기술로서 사회환경적 파급효과</li> <li>-콘크리트계 폐기물 외 건설폐기물에 확대적용</li> </ul> </li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                       |

**(1) 기술적 측면**

- 건설분야 유용 폐자원 재활용기술 수준의 향상
  - 오염물질(콘크리트계 폐기물 내 고알칼리 성분)제어 및 처리기술 향상
  - 재활용된 재료의 사용확대(예) 도로용->콘크리트용) 도모.
- 콘크리트계 폐기물(연간 4천만톤이상)에 확대적용
  - 기존: 순환골재 생산 및 품질향상에 초점
  - 제안: 생애주기 관점에서 발생하는 미분말, 순환골재, 골재처리수, 레미콘 슬러지, 회수수 등을 대상으로 용도를 고려한 환경영향 저감, 성능향상, 재료설계기술을 모두 제공
- 기술개발을 통하여 지적재산권 획득가능
  - 환경영향 저감을 목표로한 건설자원순환 기술은 현재 활발히 개발 중
  - 콘크리트계 폐기물에 특화되고 환경영향 저감, 재료성능 향상, 환경영향평가 및 재료설계 시스템은 부재한 상태이며 기존의 연구 및 기술과 차별화된 방법으로 지적권 획득가능성이 상당히 높음
- 특허 및 신기술 개발을 통한 시장에서의 적극반영 및 활용이 가능함
  - 2차 콘크리트 제품 분야에 기술적인 확대지원이 가능
  - 정립된 기술의 즉각적인 시장에서의 활용성이 매우 큼.
- 현장 적용레벨의 신뢰성 검증이 가능 (건설폐기물 중간처리업체 약 450개소)
  - 수요자 중심(기술수요처)의 검증을 통하여 실용화 방안 검증도 병행 가능

**(2) 경제적 측면**

- 고효율의 콘크리트 폐기물 최적순환 솔루션 제공
- 천연골재 부족에 대응한 순환골재의 적극적 활용기대 (건설폐기물의 60%이상)
  - 품질의 불확실성 해소, 성능개선을 통한 콘크리트용 재료로서의 적극활용을 통하여 경제적인 비용절감으로 확대 (콘크리트용 재사용율은 현재 3%이하)
- 성능기반설계 기술을 보급하여 직접적인 경제효과 창출

**(3) 사회환경적 측면**

- 폐콘크리트의 재활용에 대한 사회적 요구에 부합
- 재활용품의 문제(품질, 안전성, 환경오염)에 적극 대응
- 환경영향평가를 제공하여 건축재료에 친환경성을 제공
- 국가정책/제도에 부합하는 건설재료 최적자원순환 솔루션 제공

## 제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

---

해당사항 없음.

---

## 제7장. 연구개발성과의 보안등급

---

보안등급-일반

---

## 제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

(해당사항 없음)

| 구입<br>기관 | 연구시설/<br>연구장비명 | 규격<br>(모델명) | 수량 | 구입 연월일 | 구입 가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화번호) | 비고<br>(설치 장소) | NTIS장비<br>등록 번호 |
|----------|----------------|-------------|----|--------|---------------|---------------|---------------|-----------------|
|          |                |             |    |        |               |               |               |                 |

## 제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

연구실 안전조치 이행계획은 아래와 같음

○ 기술적 위험 요소 분석, 안전 관리 대책

1) 연구실 안전조치 이행계획

- ☐ 실험실 안전관리, 참여연구원(대학원생 2명)의 교육훈련 확보
- ☐ 주관기관(강원대학교) 시설관리과에서는 매학기 이공계대학 및 부속기관 등에 설치된 연구·실험실의 안전을 확보하기 위한 자체 추진계획을 수립하여 이행함으로써 연구자원을 효율적으로 관리하고 연구개발 활동 활성화에 기여하기 위하여 연구실 안전관리 추진 계획을 시행

☐ 본 과제 관련 연구실 안전관리 교육·훈련

- 연구활동 종사자 안전의식 제고 및 사고 예방
- 실험실 내 안전관리 매뉴얼(주간/야간/월간) 완비 및 지속적 관리

| 구 분          | 교육대상                                          | 교육시간          | 실시시기                        | 비고             |
|--------------|-----------------------------------------------|---------------|-----------------------------|----------------|
| 신규           | · 신입 대학(원)생                                   | 최초<br>2시간 이상  | · 1차 : 3월<br>· 2차 : 9월      | 학과/연구실<br>자체교육 |
| 정기           | · 연구실 소속 대학(원)생<br>· 연구실 소속 연구원               | 반기별<br>6시간 이상 | · 1차 : 4~6월<br>· 2차 : 9~12월 | 온라인교육          |
| 집합식          | · 정기교육·훈련 미이수자<br>· 중점점검 대상 연구실<br>소속 연구활동종사자 | 반기별<br>6시간 이상 | · 1차 : 6월<br>· 2차 : 12월     |                |
| 학과조교<br>직무교육 | · 이공계대학 학과 조교                                 | 1시간           | 4월                          |                |

상기 계획에 따른 연구실 안전조치 이행실적은 아래와 같음

| 구 분 | 교육대상         | 교육시간          | 실시 횟수                       | 비고             |
|-----|--------------|---------------|-----------------------------|----------------|
| 신규  | · 신입 대학(원)생  | 최초<br>2시간 이상  | · 2015, 2016년<br>· 9월에 각 1회 | 학과/연구실<br>자체교육 |
| 정기  | · 연구실 소속 연구원 | 반기별<br>6시간 이상 | · 2016년 1회 실시               | 온라인교육          |

## 제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

| 번호 | 구분<br>(논문/<br>특허/<br>기타) | 논문명/특허명/<br>기타                                                                                                                           | 소속<br>기관명 | 역할       | 논문<br>게재지/<br>특허 등록<br>국가                      | 영향력<br>지수 | 논문 게재일<br>/특허 등록일 | 사사 여부<br>(단독 사사<br>또는<br>중복 사사) | 특기 사항<br>(SCI<br>여부/인용<br>횟수 등) |
|----|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|------------------------------------------------|-----------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1  | 논문                       | Risk evaluation for recycled aggregate according to deleterious impurity content considering deconstruction scenarios and production met | 강원대       | 교신<br>저자 | Resources<br>Conservatio<br>n and<br>Recycling | 2.564     | 2015.11           | 단독                              | SCIE<br>/<br>4회인용               |
| 2  | 특허                       | 불화규산으로<br>처리되는<br>개질순환잔골재와<br>이의 제조방법 및<br>이의<br>제조방법으로<br>제조된<br>개질순환잔골재를<br>이용한 모르타르                                                   | 강원대       |          | 대한민국                                           |           | 2016.11.06        | 중복                              | 10-2016-014<br>5641             |
| 3  | 특허                       | 규불화수소산과<br>초음파진동을<br>활용한 순환골재<br>표면개질 방법                                                                                                 | 강원대       |          | 대한민국                                           |           | 2016.12.23        | 중복                              | 10-2016-017<br>7356             |
| 4  | S/W                      | 유전알고리즘<br>기반 콘크리트<br>배합설계<br>프로그램                                                                                                        | 강원대       |          | 대한민국                                           |           | 2016.01.12        | 단독                              | C-2016-000<br>965               |

## 제11장. 기타 사항

### ☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭                                                                                                                                                                             | 발표자          | 발표 일시      | 장소       | 국명     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|----------|--------|
| 1  | International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation 2016 (IMETI2016)<br>Evaluation on Surface Modified Recycled Fine Aggregate using Hydrosilico Fluoric Acid | Won-Jun Park | 2016.10.28 | Taichung | Taiwan |

## 제12장. 참고 문헌

---

해당사항 없음.

---

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

비매품/무료

