

# 산업폐기물을 이용하여 생산된 인공경량골재를 활용한 경량콘크리트의 적용성에 대한 고찰



신 승 진 | 두산산업개발(주) 부장

## 1. 머리말

인공골재라 함은 엄격히 말하면 하천 및 강에서 채취된 천연골재를 제외한 인공적으로 가공한 골재를 말하며, 이에 석산에서 채취한 부순 골재를 포함하여 산업부산물인 각종 철강슬래그, 인위적으로 내부공극을 생성시켜 비중을 가볍게 만든 인공경량골재, 건설부산물인 폐 콘크리트로 부터 제조된 재생골재 등이 있으며, 여기에서는 인공경량골재 제조방법 및 이를 이용한 경량콘크리트 실용화 방안에 대해서 알아보하고자 한다.

인공경량골재 제조 기술은 이미 약 100여 년 전에 구미 각국에서 그 제조기술을 개발하였으며, 그 동안 기술축적을 통해 토목과 건축분야에서 실용화된 다양한 기술을 갖고 있다. 일본의 경우에도 40년 전부터 인공경량골재의 생산 및 현장적용이 이루어지고 있다. 그러나 국내에서는 인공경량골재의 원료가 되는 팽창점토와 팽창혈암 등의 부존자원의 부재로 인하여 인공경량골재의 생산 및 실용화가 부진한 상태이며, 국내 특정 회사에서 인공경량골재를 수입하여 콘크리트 제품으로 적용한 사례가 있을 뿐이다.

국내에서 발생하는 폐기물의 종류는 광범위하고 특성 또한 다양하다. 그 중에서 석탄회, 철강 더스트, 석분 등의 무기계 폐 분진의 배출량은 연간 7천만 톤에 이르며, 슬러지 형태의 폐기물을 포함하면 막대한 양이 배출되고 있다. 폐기물은 매립·소각·재활용 중의 한 가지 방법에 의해 처리되나 궁극적으로는 폐기물의 발생량을 최소화하고 발생된 폐기물은 재활용하는 것이 바람직하다.

이런 관점에서 폐 분진을 이용한 토목·건축재의 제조기술은 실용화의 가능성이 가장 크다고 할 수 있으며, 폐기물을 원료로 하여 인공경량골재, 벽돌, 담체 등을 제조함으로써 폐기물을 유용한 순환자원으로 활용될 것으로 판단된다.

## 2. 검토배경

우리나라는 경제발전과 더불어 건설 산업의 규모와 시장크기도 날로 대형화, 고층화, 특수화 되어가고 있으며, 이와 함께 자원부족에 대한 심각성이 대두되고 있는 실정으로 특히 무분별한 석재자원 개발

로 인해 상당부분 국토가 훼손되어 가고 있으며, 이와 함께 국가 경제개발로 발생하는 각종 산업폐기물 및 부산물이 양산되고 있는 실정이다. 특히 자원부족 국가인 우리나라에서는 이러한 자원부족 및 각종 부산물에 대한 재활용 방안에 대한 대책이 시급하며, 현대 건설 산업에서 기초가 되는 건설자재에 대한 근본적인 해결방안으로 대체자원에 대한 개발과 활용이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

특히 현대 건설 산업에 있어 구조물의 주된 재료로써 사용되는 콘크리트는 경제성과 우수한 성능을 가지고 있어 가장 많이 사용되는 건설재료임에도 불구하고 강도에 비하여 중량이 무겁기 때문에 구조물의 자중을 증가시키는 결함을 가지고 있다. 이러한 결함을 개선함과 동시에 여러 우수한 성능을 부여할 목적에 의해 제조되는 경량콘크리트의 제조 기술 개발 및 보급은 시급한 과제라고 할 수 있다.

국내에서는 세계 각국의 경량콘크리트에 관한 개발과 활용에도 불구하고 그 동안 천연골재의 풍부한 여건에 따라 이 분야에 대한 관심이 크지 않았으나 최근 급격한 건설공사의 팽창으로 인해 골재 수요량이 급증하였고, 최근에는 콘크리트 구조물이 날로 고층화, 대형화되는 추세에서 콘크리트 재료의 고강도화와 함께 고기능화는 필수적이라 할 것이다. 특히 건축물의 성능 면에서 다양한 재료설계 요구에 따라 구조물의 고정하중 감소, 단열성능 및 흡음성능 등의 성능을 가진 경량골재콘크리트 개발의 필요성이 대두되고 있다.

이러한 경량골재콘크리트는 경량화에 따른 부재단면의 축소가 가능하여지고 아울러 수반되는 단열성은 물론 방음효과 등으로 건축구조물 전체의 효용성이 증대되며, 고층구조물의 구조 및 프리캐스트 제품에 이르기까지 광범위하게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

토목에서 대표적 구조물인 교량 상부슬래브 시공은 주로 동바리와 거푸집을 사용하여 콘크리트를 타

설 완성하였는데 이는 하천횡단이나 높은 교각 등 동바리 설치가 곤란한 지역에서는 시공이 어렵고 고난이도의 기술력을 요구한다. 이러한 문제점들을 극복하기 위해서 다양하고 새로운 시공법들이 개발되고 현장에 적용되어 지고 있다. 대표적인 예로 동바리를 사용하지 않고 거푸집에 부착된 특수한 이동식 비계를 이용하는 방법 등이 있으나, 일반 골재를 이용한 콘크리트 구조물의 경우 콘크리트 자중증가로 구조물의 안정성 확보를 위해 부재 단면이 커지고, 다양한 형태의 단면을 시공하는데 많은 어려움이 있다.

위에서 언급한바와 같이 경량콘크리트에 사용되어지는 경량골재의 경우 기존의 자연골재의 대체 재료로써 훌륭한 역할을 수행할 것으로 사료되며, 이러한 경량콘크리트 사용 시 구조물의 자중감소, 경제성 회복, 경량패널, 담체 등 다양한 2차 제품으로써의 활용이 가능하다는 점에서 미래의 건설시장에서 많은 수요가 발생될 것으로 예상되며, 이에 따라 경량콘크리트 적용성에 대한 지속적인 투자와 기술개발이 활발하게 진행되어야 할 것이다.

### 3. 인공경량골재 제조 방법

인공경량골재를 제조하기 위해서는 석탄회, 폐백토, 하수슬러지 등과 같이 미연탄소성분이나 유기물질성분을 포함하는 폐기물을 발포제로 첨가하고 용제성분을 다량 함유하는 이에이에프 디스트, 석분 등의 소성과정에서 용제성분을 함유하는 폐기물을 점토와 적절한 배합비로 혼합하여 1차 안정화를 시킨다. 그리고 진공토련기를 이용하여 압출성형한 후 절단하여 구형으로 펠레타이징 하여 최종 성형한다. 이때 구형으로 성형된 골재는 표면건조가 이루어지며, 표면 건조된 구형의 성형체는 직경 1m, 길이 15m인 로터리 건조기에서 서서히 건조된다. 완전 건조된 구형의 성형체는 직경 1.5m, 길이 20m의 로터리 킬른으로 투

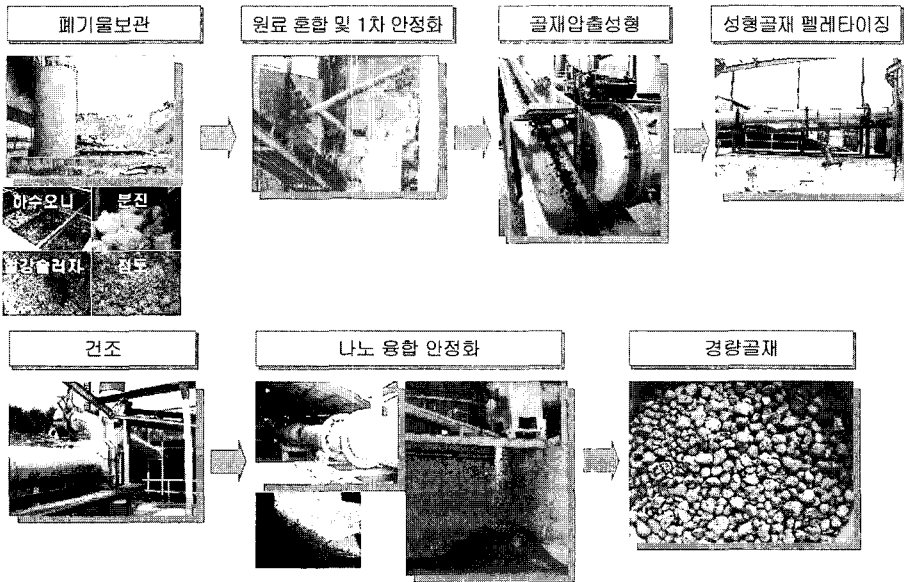


그림 3.1 인공경량골재 생산 과정

입되며, 이 과정에서 나노융합 반응을 통한 최종 안정화가 이루어지며, 동시에 발포가 일어나 경량골재가 된다. 골재의 비중은 일차적으로 나노융합온도와 원료조성에 의해 결정되며 회전속도와 소성분위기 등의 로터리 킬른 운전조건을 조절하여 제어된다.

구미 선진국에서도 폐기물을 이용한 인공골재 중에서 실용화되어 있는 기술은 주로 석탄회를 이용한 것이며, 그 외의 다른 폐기물을 이용한 경량골재 제조기술의 실용화는 거의 보고되어 있지 않은 실정이다. 따라서 이 분야에 있어서 기존 기술 선진국과의 기술차이는 그리 크지 않은 것으로 판단된다.

#### 4. 경량골재 및 콘크리트특성

국내에서는 현재 연구개발이 진행되는 관계로 일본의 경우를 예를 들어 경량골재 및 콘크리트특성을 설명하고자 한다. 표 4.1에서는 일반 골재와 인공경량골재에 대한 단위용적중량을 나타낸 것으로 경량골재를

이용한 콘크리트 기건단위용적중량이 보통콘크리트에 비해 최대 30%까지 무게가 가벼운 것을 알 수 있다

#### 4.1 일본 경량골재의 사양-메사라이트

##### 1) 경량골재 사양

표 4.2 참조.

##### 2) 구조용 메사라이트

표 4.3~4 참조.

##### 3) 경량콘크리트의 내구성

###### 가. 인공경량골재의 건조수축

- 보통콘크리트와 비교하면 경량콘크리트의 건조수축이 작다.

###### 나. 인공경량골재의 중성화도

- 콘크리트는 원래, 강 알칼리 분위기기기 때문에 내부의 철근이 녹스는 것을 막고 있다. 중성화는

표 4.1 기건단위용적중량에 따른 콘크리트의 분류

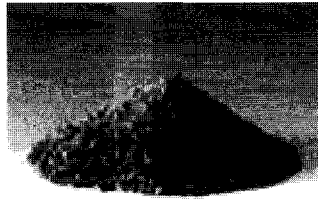
항 목	보통콘크리트	경량콘크리트1종	경량콘크리트2종
기건단위용적중량(t/m³)	2.2~2.4	1.7~2.1	1.4~1.7

표 4.2 일본 경량골재 협회가 인정하는 경량골재의 사양

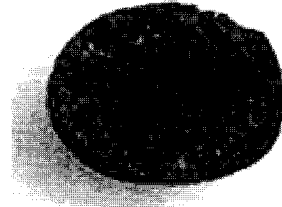
종 목		제 조 원	사 양			
			절건밀도	24 시간 (kg/ℓ)	조립율 흡수율(%)	실적율 (%)
메사라이트	결점골재	메사라이트 공업(주)	1.29±0.05	10±3	6.35±0.30	60~65
	세골재		1.65±0.05	10±3	2.75±0.15	53~58
슈퍼 메사라이트	초경량 결점골재		0.90±0.05	10±3	6.35±0.30	60 이상
	결점골재		태평양 메트리얼(주)	1.25±0.05	10±1	6.35±0.30
아사노라이트	세골재	1.70±0.05		10±12.6	5±0.15	52~54
에후에이라이트	결점골재	규텐산업(주)	1.34±0.04	16±2	-	61~63



결점골재



세골재



결점골재단면

표 4.3 메사라이트(세골재)를 이용한 구조용 경량 콘크리트 시험(경량콘크리트 2종)

절건밀도 (g/cm³)	모르타르중의 실적율(%)	조제조건	24시간 흡수율(%)	압축강도 (N/mm²)	단위용적질량 (kg/ℓ)	입도(통과율)					
						5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
1.62	54.2	w/c=40% 슬럼프8cm	10	46.3	1.653	100	85 ~100	50 ~80	30 ~55	17 ~35	5 ~20

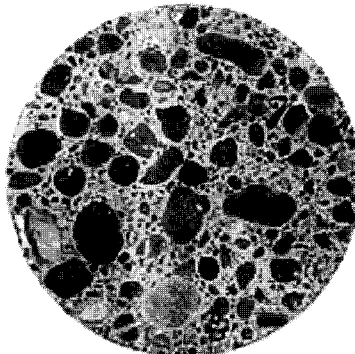


표 4.4 메사라이트(굵은골재)를 이용한 구조용 경량콘크리트

절건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	모르타르중의 실적율(%)	조제조건	24시간 흡수율(%)	압축강도 (N/mm <sup>2</sup> )	단위용적질량 (kg/ℓ)	입도(통과율)			
						20	15	10	5
1.30	60.3	w/c=40% 슬럼프8cm	10	48	1.864	100	95 ~100	40 ~65	0 ~15

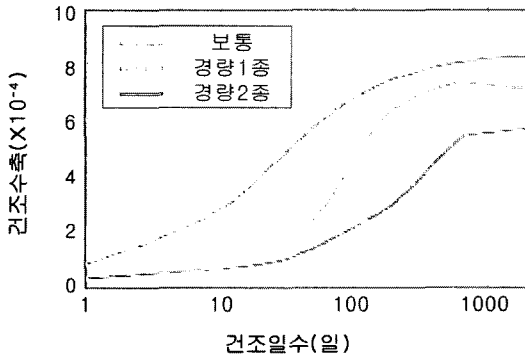
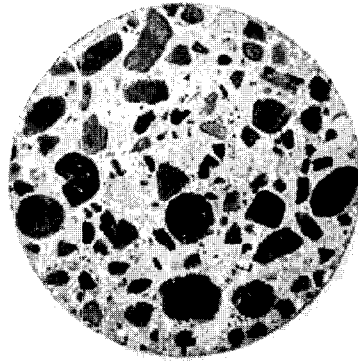


그림 4.1 건조수축

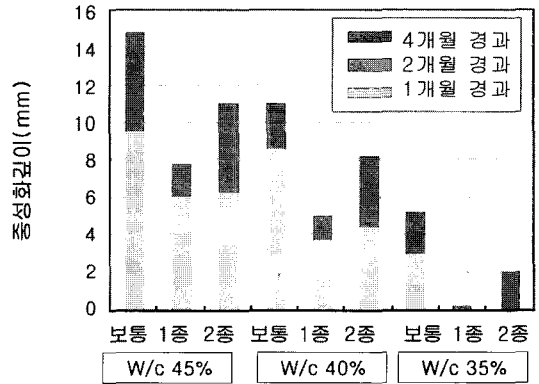


그림 4.2 중성화정도

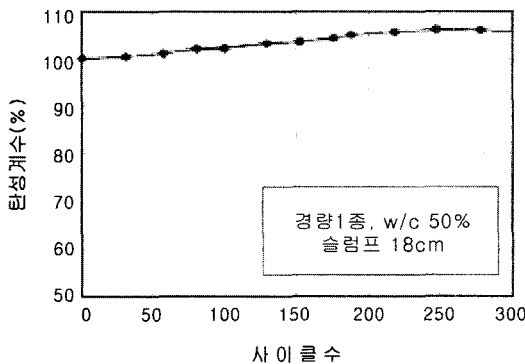


그림 4.3 동결융해

물시멘트비(w/c)의 영향이 가장 크다. 경량콘크리트가 보통콘크리트에 비해 중성화의 진행이 늦다.

다. 인공경량골재의 동결융해

- 습윤 상태에 있는 콘크리트는 동결하면 내부의 수분이 동결 팽창해 조직을 파괴한다. 일반적으로 경량골재는 내부에 많은 물을 안고 있기 때문에 내동해성이 떨어진다고 알려져 있지만 실제

표 4.5 단열성능

콘크리트의 종류	보통콘크리트	경량 콘크리트 1종	경량 콘크리트 2종
밀도(t/m³)	2.3	1.9	1.6
열전도도(kcal/m·h·°C)	1.4	0.7	0.5

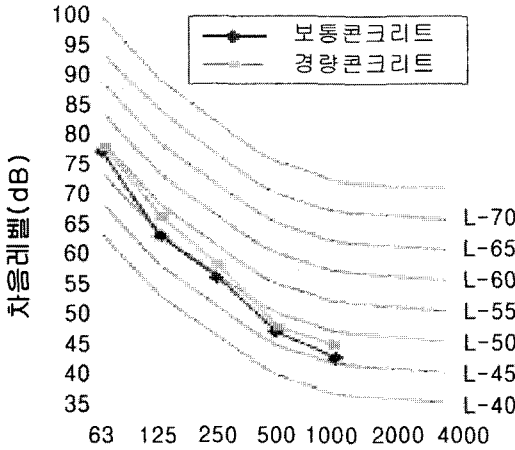


그림 4.4 차음성능

로는 아무문제가 없음을 알 수 있다.(상대탄성계수가 60% 밑이면 내동해성이 떨어진다고 함)

라. 뛰어난 단열성

- 연간 냉난방 에너지 사용량의 약 5%를 절약할 수 있다.

마. 경량콘크리트의 차음성능

- 보통콘크리트 슬래브와 동일한 수준

바. 경량콘크리트의 펌프압송성

- 경량콘크리트는 펌프 압송성이 나쁘다고 하는 고정 관념으로부터, 설계상 채용을 보류하는 경우가 많으나 압송전 슬럼프가 21cm정도이면 높은 곳 압송에서도 압송전후의 슬럼프 다운은 최대 2.5cm정도

예) 경계표지타워(높이 296m, 지상 70층, 경량1종사용)  
신주쿠 파크타워(높이 226m, 지상 52층, 경량 2종사용)

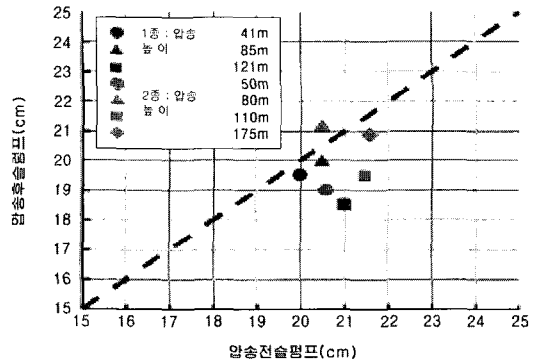
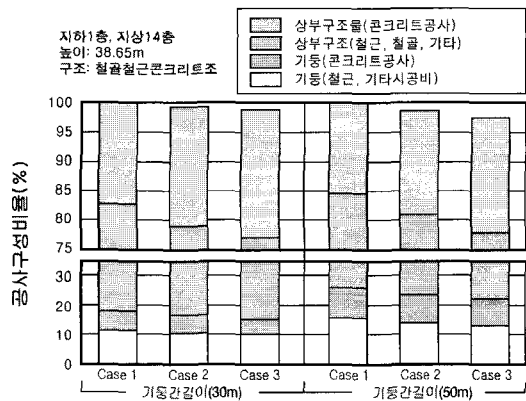


그림 4.5 압송전, 후의 슬럼프비교



- case1 : 보통콘크리트적용
- case2 : 7층 이상 경량콘크리트1종(1.9t/m³)사용
- case3 : 1층 이상 경량콘크리트1종사용

그림 4.6 경제성검토

사. 경량콘크리트의 경제성

- 항상 안정된 품질의 콘크리트를 제공함으로써 유지보수비를 절감
- 단열성이 뛰어나기 때문에 냉난방비용을 삭감할 수 있는 에너지 절약 효과
- 기둥간길이(30m)일 때는 건설비 1%미만절감, 기둥간길이(50m)로 했을 때는 3% 정도의 건설

표 5.1 인공경량골재 콘크리트의 물성 및 가격 비교

구 분	일반콘크리트	인공 경량 콘크리트	수입 경량 콘크리트
단 위 중 량	2,300~2,500kg/m <sup>3</sup>	1,400~2,000kg/m <sup>3</sup>	1,400~2,000kg/m <sup>3</sup>
판 매 가 격	65,000원/m <sup>3</sup>	120,000~130,000원/m <sup>3</sup>	450,000~500,000원/m <sup>3</sup>
재 료	천연골재, 부순골재	인공골재(산업폐기물)	인공골재(팽창혈암등)
골조공사금액	100%	90% (▼10%)	160% (▲60%)

비 절감가능

소 변동 가능성이 있다 하더라도 수입경량콘크리트에 비해서는 상당한 경쟁력을 확보 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 5. 경량골재 및 콘크리트 실용화에 따른 향후 기대효과

기존의 인공경량골재의 경우 팽창혈암과 팽창점토 등의 부존자원을 필요로 하는 반면 폐기물을 이용한 인공골재의 제조에는 이러한 특정 자원을 필요로 하지 않으므로, 인공경량골재의 부존자원이 빈약한 국내실정에서는 향후 예상되는 골재자원의 고갈과 경량골재 수요에 대비하여 각종 폐기물을 이용한 경량골재 제조기술의 실용화를 통해서 폐기물의 재활용 및 기술 경쟁력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

표 5.1은 현재 국내 기업에서 양산예정인 인공경량골재에 대한 공급가격을 조사한 결과를 정리한 것으로 인공경량골재를 실용화하여 콘크리트를 제조 판매할 시 연간 10만m<sup>3</sup>의 인공경량골재를 생산할 경우를 기준으로 골재 판매가격을 75,000원/M3정도의 가격이 형성되어질 것으로 예상된다.

이는 구조용 경량콘크리트 적용시 수입경량골재 콘크리트에 비해 30%정도 가격으로써 경제성이 우수하며, 국내에 현재 판매되고 있는 일반콘크리트와 비해 인공경량콘크리트 가격이 다소 높은 편이지만 구조물의 경량화로 인한 골조공사비의 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 앞서 비교한 경량골재에 대한 물성 및 가격 비교의 경우 향후 다

### 6. 맺음말

우리나라처럼 자원이 부족한 나라에서 대체 자원으로써의 인공경량골재를 이용한 콘크리트 실용화의 경우

첫째, 환경적인 측면에서 다양한 종류의 산업폐기물을 재활용 한다는 점에서 자원절약을 할 수 있을 것으로 기대되며, 각종 산업폐기물로 야기되는 환경오염 및 환경재해로 인한 피해 등을 사전에 방지할 수 있을 뿐만 아니라 지속적인 골재채취로 자연환경 파괴를 최소화 할 수 있어 인공경량골재 생산 기술은 차세대 핵심 환경기술로 충분히 자리매김 할 수 있을 것으로 사료된다.

둘째, 사회·경제적인 측면에서 부족한 골재자원으로 인한 수급불균형을 해소하고, 건설 공사비를 절감 할 수 경제적인 파급효과가 기대된다.

끝으로 인공경량골재를 이용한 경량콘크리트 활용 및 적용성을 위해서 경량콘크리트에 대한 품질, 시공성, 안전성에 대한 체계적이고 과학적인 검증이 사전에 충분히 이루어져야 할 것이며, 정부, 연구기관 및 관련업체가 관련제도의 정비 등을 통해 적극적인 관심과 노력을 기울여야 할 것이다.