

# 콘크리트의 생태학적 특성

- Ecological Properties of Concrete -



김진만\*

## 1. 개 요

인류는 산업혁명 이후 지속적으로 화석 연료를 사용하여 왔으며, 그 결과 온실효과 등에 의해 지구 환경은 급속도로 악화되어 이제 생활의 터전인 지구를 보존하기 위한 노력을 전 인류가 기울이지 않을 수 없게 만들었다. 건설재료에 있어서도 종래에는 재료의 강도, 강성 등 역학적 성능이 주요한 평가 지표였으나, 이제 생태학적 성능이 중요성을 갖게 되었다.

전세계에서 콘크리트의 소비량은 연간 1인당 1톤인 약 50억 톤으로 추정되며, 이는 인류가 사용하는 자원중에서 물 다음으로 많은 양을 차지하고 있는 것이다. 콘크리트에 대한 중량비로 조적재는 단지 1/10, 목재는 1/20만이 사용될 뿐이다<sup>1)</sup>. 콘크리트의 사용비율은 30년 전과 비교해서 거의 변함이 없었으며, 앞으로 30년 이후에도 중국 등의 신흥 공업국가들의 소비량을 고려하면 큰 변화가 없을 것으로 추정되고 있다. 그러므로 콘크리트의 양적 비율을 고려하면 콘크리트가 환경에 미치는 영향과 그 생태학적인 영향을 구명하는

것은 매우 중요한 일이라고 할 수 있다. 본 글은 헬싱키대학 교수인 Vesa Penttala의 논문을 중심으로 콘크리트의 생태학적 특성에 관하여 정리한 것으로 콘크리트의 친환경적 특성을 이해할 수 있는 자료가 되기를 희망한다.

## 2. 환경의 변화와 연구의 필요성

### 2.1 지구환경을 위협하는 요인

지구의 미래에 위협을 가하는 가장 큰 요인은 인구의 증가, 지구의 온난화(온실효과), 공기·바다·호수·토양의 오염과 이용 가능한 물의 부족이며, 이러한 것들은 어느 정도 상호 관련성이 있다.

20세기에 들어 가장 최악의 환경오염물질은 오존층을 파괴하는 냉매로 사용되는 CFCI 가스지만 이제 대체 냉매가 개발되었으며, 수자원의 경우에도 각국에서 각종 법률을 엄격하게 적용한 결과 현저하게 개선되고 있는 추세이다.

그러나 인류의 생존에 중요한 영향을 주는 탄소산화물 및 질소산화물의 배출을

효율적으로 규제하는 것은 아직까지 매우 어려움을 겪고 있다. 공기중의 CO<sub>2</sub>의 농도는 산업혁명 이후 지난 200년간에 꾸준히 증가하고 있으며 <그림 1>에서 알 수 있는 바와 같이 20세기 후반에 들어서도 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 CO<sub>2</sub> 방출은 차량과 기타 화석연료의 사용에 의한 것이다. CO<sub>2</sub>외에도 메탄, 산화질소, 프레온가스와 수증기 등 소위 지구온난화에 영향을 주는 물질들은 증가하고 있다.

대기중의 질소산화물의 약 85%는 차

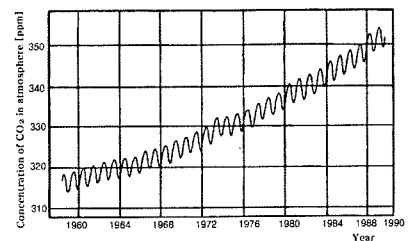


그림 1. 하와이 Mauna Loa 관측소에서 측정된 대기중 이산화탄소 농도 변화<sup>2)</sup>

량과 에너지의 생산에 의한 것이다. NO<sub>x</sub>는 산성우의 원인이며 수자원과 토양의 산성화를 유발하는 주요 원인이다.

\* 정회원, 공주대학교 건축공학부 조교수, 공주대학교 자원재활용 신소재 연구센터 연구부장

## 2.2 연구의 중요성

온실가스에 의해 유발된 지구 온난화는 현재에 이르러서야 비로소 명백하게 되었으며, 앞으로는 각종 법률의 제정에 큰 영향을 미칠 것이다. 현재는 제한적으로 고려되고 있지만, 전반적으로 구조물의 생산 과정은 지속 가능한 개발(sustainable development)이라는 평가지표에 따라 평가될 것이고, 난방/냉방 및 건물의 사용시 발생하는 환경 부담에 관해서 LSA(Life Span Analysis)에 의해 평가될 것이다.

이러한 환경의 변화는 시멘트계 재료에 대한 평가에 있어 매우 극적인 변화를 초래할 가능성이 있다. 현재는 시멘트의 생산시 발생하는 CO<sub>2</sub>의 배출만을 고려하여 시멘트 산업이 지구환경을 악화시키는 것으로 평가하고 있지만, LCA에 의해 평가할 경우 시멘트의 가공할만한 CO<sub>2</sub>의 저장 탱크로서의 역할에 의해 시멘트계 재료에 대한 평가는 크게 개선될 것이다. 유사하게 대단면을 채용하는 것에 의해 얻을 수 있는 가열 또는 냉각시 에너지 소비량 감소에 미치는 긍정적인 효과도 콘크리트 구조물에 유리한 영향을 미칠 것이다.

지금까지 시공사 및 각종 연구집단은 구조물의 생산과정에서 환경문제에 대한 자료가 부족하였다. 만일 잘못된 자료에 의하여 평가된다면, 바람직하지 않은 결과가 도출될 것이다. 그러므로 각종재료에 대한 환경 생태학적인 영향에 관한 정확한 자료의 제공을 위한 연구가 필요하다.

## 2.3 지속가능한 개발

지속 가능한 개발에 있어서의 기본적인

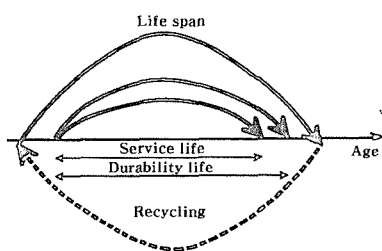


그림 2 재료의 수명분석에 사용되는 수명에 대한 정의

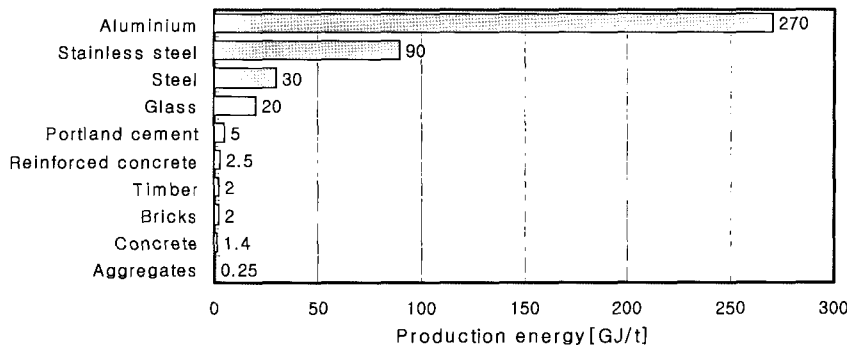


그림 3. 여러 가지 건축재료의 생산시 에너지 소비량<sup>4,5)</sup>

원칙은 인류의 문명을 유지하기 위한 활동이 유한한 천연자원에 대하여 적응력을 가지도록 하는 것이다. 지속 가능한 개발의 핵심은 단 한 문장으로 요약하면, 「모든 제품의 제조공정은 폐쇄형으로 만들어지고 재활용이 가능하도록 함으로써 어떠한 폐기물도 발생하지 않도록 하여야 한다」는 것이다. 부가적으로 생산과정은 에너지 절약형이 되어야 하며, 생산 중 또는 생산된 제품의 사용 중에 유해한 물질이 만들어지지 않아야 한다. 지속 가능한 개발의 원칙이 상용화되면, 이 기준에 맞추기 위하여 각종 제품들의 수명과 품질이 현저하게 증대되어야 하며 이에 따라 문명을 유지하기 위한 생태학적인 부담은 감소할 것이다.

## 3. 건축재료의 생태학적 특성 비교

콘크리트의 기본 구성성분인 시멘트, 골재, 물은 천연재료이며 환경적인 위험을 유발하지 않는다. 적절하게 만들어진 콘크리트의 내구성은 일반적으로 우수하기 때문에, 콘크리트와 경쟁적인 위치에 있는 다른 건설재료에서 수명을 연장하기 위하여 가끔 사용되는 여러 가지 유독물질의 사용이 필요치 않다. 혼화재료는 콘크리트 중량의 극히 일부분이며, 여러 종류의 합성고분자 또는 축합물로 구성되지만 많은 것이 다른 산업분야에서 발생하는 부산물로 만들어진다. 콘크리트 혼합물의 극히 일부가 원액상태에서 유독하지만 경미한 정도이며, 이러한 경미한 독성 물질조차도

수화물질에 의해 밀폐되어 무해하게 되며, 단지 600°C 이상의 고온에 노출될 경우 다시 분해될 뿐이다.

### 3.1 생산 에너지와 CO<sub>2</sub>의 방출

시멘트는 석회석과 점토를 약 1,400°C로 가열한 후 가루로 분쇄하여 제조하는데, 이 소성반응을 위해 많은 에너지가 투입되며, 이것은 콘크리트의 제조 에너지의 대부분을 차지하게 된다. 시멘트 생산 효율은 1960에서 1989년 사이에 현저하게 개선되었고, 열에너지는 거의 반으로 줄어들었다. 현재 시멘트를 소성하는데 사용되는 석탄의 일부는 자동차 타이어 또는 페인트 산업에서 발생하는 폐기물로 대체되고 있다. 포틀랜드 시멘트의 일부는 고로 슬래그, 플라이 애쉬, 실리카 폼 등과 같은 수경성 결합재로 대체될 수 있는데 이들은 모두 강재나 에너지의 생산 과정에서 발생하는 부산물이다.

〈그림 3〉은 Connaughton과 March의 조사 결과를 나타낸 것이다<sup>4),5)</sup>. 콘크리트의 제조 에너지 소비량은 혼화재료를 사용하지 않고 콘크리트 중량의 15%에 상당하는 포틀랜드 시멘트만을 사용한 경우를 대상으로 계산한 것이다. 수송 등에 소비되는 에너지는 0.4 GJ/t (1.0 GJ/m<sup>3</sup>)으로 산정 하였다. 이러한 기준으로 계산한 결과 보통 콘크리트를 생산하는데 소요되는 에너지는 1.4 GJ/t이며, 벽돌구조는 2.0 GJ/t, 목재구조는 표면처리와 건조방법에 따라 변화하지만 1.0 GJ/t에서 5.3

표 1. 건축재료의 강도, 생산비, 에너지 소비량, 아황산 가스 방출량의 비교<sup>6)</sup>

Properties		Steel	Glass	Brick	Sand/lime brick	Timber	Reinforced concrete
Strength	MPa	240	30	7.5	7.5	14	13.5
Cost	/m <sup>3</sup> (index)	100	47	3.4	2.3	5.8	2.0
	Cost/f	0.42	1.57	0.45	0.13	0.41	0.15
Energy	GJ/m <sup>3</sup>	236	56	11	4.9	2.4	6.3
	Energy/f	0.98	1.87	1.48	1.65	0.17	0.47
SO <sub>2</sub>	kg/m <sup>3</sup>	14	3.2	1.8	0.4	-	1.0
	SO <sub>2</sub> /f	0.06	0.11	0.24	0.05	-	0.07

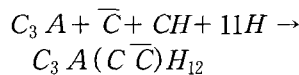
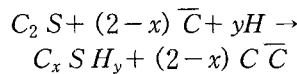
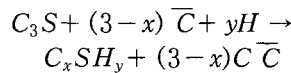
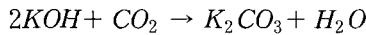
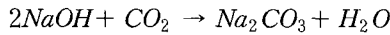
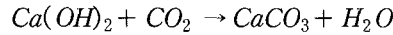
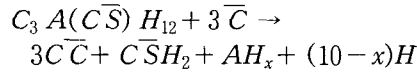
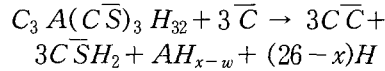
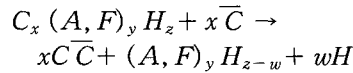
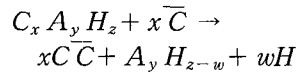
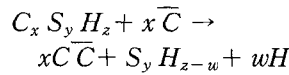
GJ/t의 값을 보이고 있다.

Kreiger<sup>6)</sup>는 비용, 강도, 생산에너지량, 아황산가스 방출량을 다양한 건물재료를 대상으로 비교하였는데 그 결과를 표 1에 나타내었다. 콘크리트는 전반적으로 다른 건축재료에 비하여 우수한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

과거 40여년에 걸쳐 시멘트의 생산 시 발생하는 먼지량이 크게 감소하였기 때문에 콘크리트의 가장 큰 생태학적 취약점은 시멘트 크링커의 제조시에 발생하는 CO<sub>2</sub>의 방출로 한정된다<sup>3)</sup>. 시멘트의 제조시에 발생하는 전체 이산화탄소의 방출량은 생산되는 크링커의 중량과 대략 일치한다. CO<sub>2</sub>는 열원으로 사용되는 연료와 600~800°C로 가열될 때 발생하는 탄산칼슘으로부터 유리된 것이다.

이산화탄소의 방출과 탄산칼슘의 분해는 포틀랜드 시멘트의 제조시에 불가피한 것이지만, 콘크리트로 사용될 경우 콘크리트의 중성화에 의하여 이산화탄소를 소비하는 화학적 반응이 발생한다. 시멘트가 수화할 때 발생하는 반응물질은 CSH(Calcium Silicate Aluminate), CAH(Calcium Aluminate Hydrates), CFH(Calcium Ferrite Hydrates)와 알루미네이트와 페라이트상 및 Calcium Hydroxide(수산화칼슘)인데, 수산화칼슘과 CSH 뿐만이 아니라 구조상 CaO(석고)를 포함하고 있는 여러 가지 수화물은 공극 용액 속에 용해된 이산화탄소에 의해 침식된다. 뿐만 아니라 수화되지 않은 시멘트 화합물(C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF)은 반응의 최종 단계에서 탄산화된다<sup>8-12)</sup>. 시

멘트 화학에서는 다음과 같은 탄산화식이 사용되는데, 이 식 중에서  $\bar{C}$ 는 CO<sub>3</sub>를  $\bar{S}$ 는 SO<sub>3</sub>를 나타낸다.



탄산화는 공극 용액의 pH가 저하하여 철근 콘크리트의 내구성을 약화시키는 것으로 오랜 시간이 걸리는 반응이다. 공극용액이 고알칼리일 경우에는 습윤 상태일 지라도 철근의 부식이 발생하지 않는다. 많은 연구자들이 습윤환경에 놓인 콘크리트 구조물의 탄산화를 지연시켜 궁극적으로 철근 콘크리트 구조물의 수명을 증진시키기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 탄산화는 자

연적인 현상이며, 원래의 조성물인 탄산칼슘으로 또는 혹은 원래보다 더 순수한 물질로 돌아가려는 본질적인 물질순환의 과정이다. 콘크리트 구조물의 탄산화가 진행되어도 보강재인 철근이 부식하지 않으면 구조적인 기능을 여전히 수행할 수 있게 된다.

탄산화식에 의하면 크링커를 제조하는 중에 탄산칼슘으로부터 유리된 이산화탄소는 모두 탄산화 반응으로 다시 소비됨으로써 대기중의 온실 가스농도를 증가시키지 않는다. 석탄은 시멘트의 제조시에 사용되는 보통의 열원인데 석탄의 사용에 의해 생산된 크링커 양의 약 40%에 상당하는 이산화탄소가 영구적으로 방출된다. 이 양은 목재가 부패하거나 연소할 때 발생하는 값과 거의 유사한 수준이다. 그러나 두 재료를 엄밀히 비교하기에는 고려하여야 할 요소가 더 있다. 하나는 목재가 자원으로서의 가치가 있을 정도로 성장하기 위해서는 약 80년이 소요된다는 것과 콘크리트 중에 강도가 높은 고강도 콘크리트는 조적이 매우 치밀하여 탄산화 반응에 약 500~1000년의 오랜 기간이 소요된다는 점이다.

### 3.2 LSA 분석

구조재료의 에너지 소비량을 비교할 때 재료자체의 성능은 매우 중요한 것이지만 이것만으로는 정확한 자료를 얻기 힘들다. 구조재료는 궁극적으로 구조물에 사용되어 그 성능을 발휘하므로 구조재료로 사용되는 기간을 포함하여 평가하여야 한다.

Haimaakarvi<sup>13)</sup>는 지속 가능한 개발이라는 관점으로부터 4개 타입의 주거지역을 비교 평가하였다. 주거지역 1은 지역 난방 시스템을 갖춘 밀집된 소형 주택 지역이고, 주거지역 2는 개별난방을 하고 있는 여유로운 공간을 갖춘 소형 주택 지역이다. 이 두 주거지역의 주택은 목조이다. 주거지역 3과 4는 아파트 지역이며 콘크리트조이다. 주거지역 3은 소형 주택이 여유롭게 배치되어 있는 아파트 주거 지역으로 주택의 반은 지역난방시스템을 사용하고 있다. 주거지역 4는 지역난방시스템을

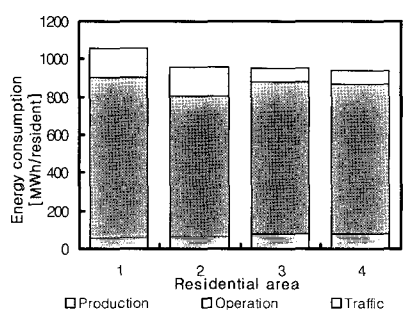


그림 4. 주거 형태에 따른 시공 및 사용시의 에너지 소비량(핀란드에서 4가지 형태의 주거지역별로 100년 동안의 자료로 정리한 것이다. 주거지역 1과 2는 목조주택 지역이고, 주거지역 3과 4는 철근콘크리트 공동주택 지역이다)<sup>13)</sup>

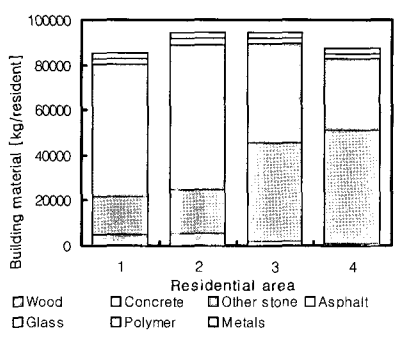


그림 5. 주거 형태에 따른 사용된 건축자재의 분포(주거지역 1, 2, 3 및 4에 대한 내용은 그림 4와 동일함)

표 2. 각종 건축 자재의 생산시 오염물질 배출량<sup>13)</sup>

Building Materials	CO <sub>2</sub> (kg/t)	CO (kg/t)	SO <sub>2</sub> (kg/t)	NO <sub>x</sub> (kg/t)	CH (kg/t)	Dust (kg/t)
Wood	124	1.2	-	-	0.1	0.5
Concrete	147	-	0.2	0.6	-	0.1
Glass	2,100	-	2.7	9.3	-	1.6
Oil & Plastic	6,000	-	5.0	5.0	-	1.0
Metals	3,000	-	3.0	5.0	-	1.5

갖춘 밀집된 아파트 지역이다. 주거지역과 도심지역 중심까지의 거리는 소형 주택 지역에서는 10 km, 아파트지역에서는 5 km 이다. 이 연구에서 원래의 수명은 40년이지만, 보고서에는 100년의 수명을 대상으로 평가하였고 리노베이션에 소요되는 비용은 고려하지 않았다.

〈그림 4〉는 각 주거지역의 100년간 전체 에너지 소비량을 나타낸 것이고 그림 5는 사용된 재료의 구성비를 나타낸 것이

다. 주거지역 1 및 2는 목조임에도 불구하고 콘크리트 재료가 목재보다 훨씬 많은 량을 사용하고 있음을 알 수 있다.

〈그림 4〉에서 알 수 있는 바와 같이 생산시의 에너지 소비량은 전체 에너지 소비량의 5.8 ~ 8.1%로 매우 적었으며, 사용 중 에너지 소비량의 약 60%는 난방에 의한 것임을 알 수 있다. 목조의 경우 사용된 목재의 생산에너지량은 전체 에너지 소비량의 단지 0.03%에 불과 하다. 주거지

역 1과 2에서 사용된 콘크리트는 목재용적의 3배에 달하지만 콘크리트 구조를 만들기 위해 소비된 에너지는 전체 에너지 소비량의 0.06%를 차지하고 있다. 이와 같이 생산에너지는 전체 에너지 소비량에서 매우 작은 비율을 차지하고 있고, 난방을 위한 에너지 소비량의 0.7%에 불과하였다. 창문의 크기와 건물의 향이 에너지 소비량에 큰 영향을 미치게 되며, 재료의 영향은 미미하다. 그러므로 구조물의 에너지 소비량에 있어 구조물 정면 쪽 즉 일사를 받는 쪽에 사용된 재료의 기밀성과 구조물 자체의 에너지 보존 능력은 재료 생산에너지의 차이보다도 훨씬 더 큰 영향을 주는 것이다.

〈표 2〉에 4개 주거지역에 사용된 각종 건축자재의 생산시의 오염물질 방출량을 나타내었고, 〈그림 6 ~ 8〉에 건물의 Life Span 중 사용되는 차량과 건물에 의해 발생하는 오염물질을 나타내었다. 두 자료를 비교한 결과 가스방출량도 에너지 소비량과 유사한 결과를 보이고 있다. 비교항목은 이산화탄소, 아황산가스, 질소산화물의 방출이었는데, 전체 가스방출량에서 재료의 제조시 발생하는 비율은 매우 적고 난방과 냉방을 위해 소비되는 에너지가 큰 비중을 차지하고 있다. 특이할만한 것은 무거운 재료로 만들어진 건물일수록 에너지 소비, 이산화탄소, 아황산가스, 질소산화물의 방출이 적다는 것이다.

Niittymäki, Salokangas, Niemi 및 Jämäs는 주택의 난방에너지 소비에 미치는 구조물의 중량의 영향에 관한 연구를

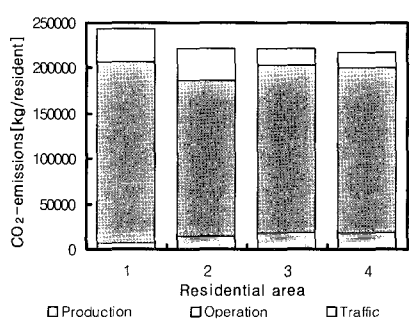


그림 6. 주거형태에 따른 이산화탄소 발생량(핀란드의 주거지역을 대상으로 100년 동안의 자료로 나타낸 것임)

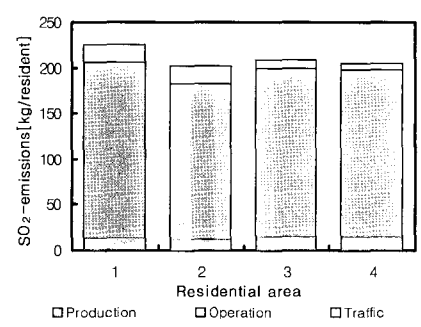


그림 7. 주거형태에 따른 아황산 가스 발생량(핀란드의 주거지역을 대상으로 100년 동안의 자료로 나타낸 것임)

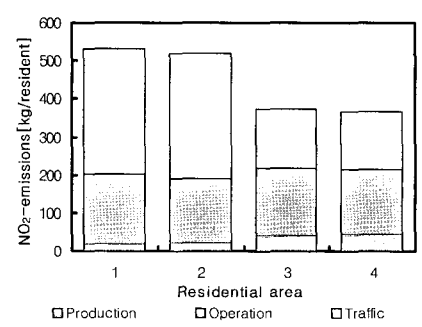


그림 8. 주거형태에 따른 NO<sub>2</sub> 발생량(핀란드의 주거지역을 대상으로 100년 동안의 자료로 나타낸 것임)

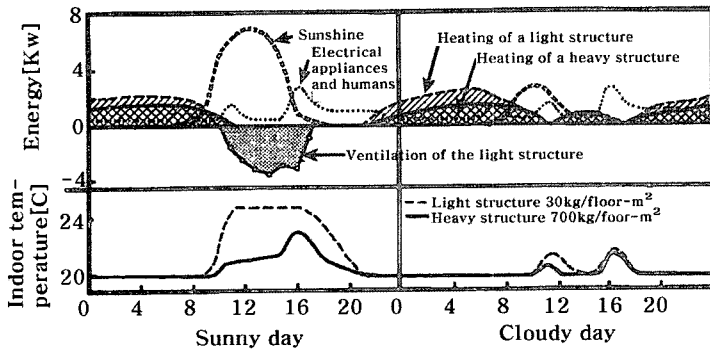


그림 9. 건물의 종류에 따른 주택의 난방에너지 및 실내온도의 변화(건물의 종류는 중량에 따라서 경량구조(light structure) 및 중량구조(heavy structure)로 구분하였으며, 측정은 3월중 연속한 2일 동안 측정하였다.)

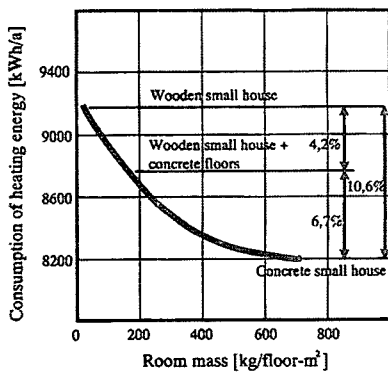


그림 10. 구조재 중량에 대한 함수로 나타낸 소규모 주택의 난방에너지 소비량<sup>14)</sup>

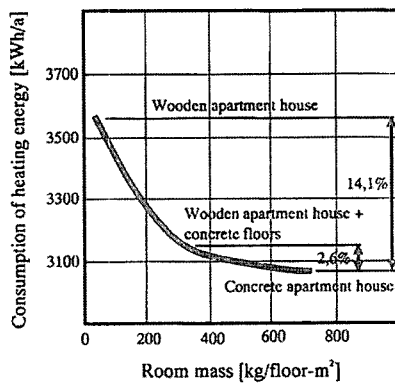


그림 11. 구조재의 중량함수로 나타낸 아파트의 난방에너지 소비량<sup>14)</sup>

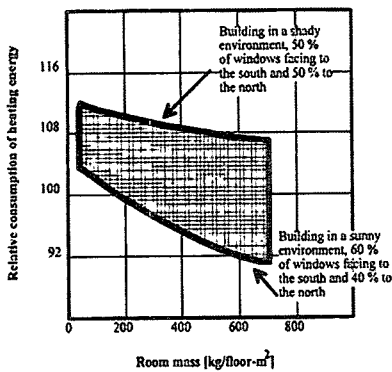


그림 12. 구조재 중량, 일사환경 및 창의 향에 따른 상대적 난방에너지 소비량<sup>14)</sup>

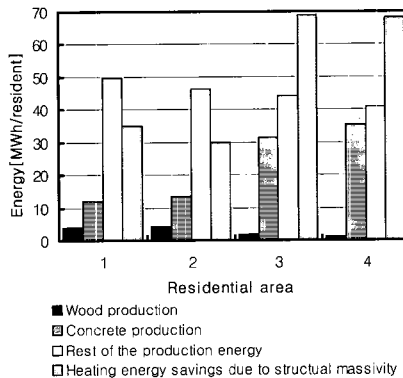


그림 13. 주거지역에 따른 건축재료의 생산에너지와 콘크리트의 사용에 의한 난방에너지 절약

수행하였다<sup>14)</sup>. 시뮬레이션에 사용한 구조물은 중량의 차이를 두기 위해 바닥의 단위면적당 중량이 30 kg/m<sup>2</sup>인 목조와 700 kg/m<sup>2</sup>인 콘크리트조를 사용하고 구조물의 종류는 단독주택과 아파트를 대상으로 하였으며, 또한 창의 크기와 위치도 변인으

로 사용하였다.

노르웨이의 늦겨울, 봄, 가을 동안을 대상으로 시뮬레이션 한 결과를 <그림 9>에 나타내었다. 맑은 날에는 남쪽에 면한 창을 통하여 다량의 복사에너지가 실내로 유입되어 실내 온도를 높게 된다. 이 경우

경량재로 만들어진 주택에서는 축열을 위한 구조가 없기 때문에 환기를 통하여 가열된 온도를 손실하게 되지만, 중량구조에서는 구조재료가 축열재로서 작용하여 난방에 소요되는 에너지를 절약하게 된다.

중량구조물에서 얻을 수 있는 난방에너지의 절약 효과는 중요하다. <그림 10~11>에 나타낸 바와 같이 콘크리트 주택은 목조주택에 비하여 10~14% 정도 에너지량이 절감됨을 알 수 있다. 이 값은 <그림 12>에 나타낸 바와 같이 창의 면적과 방향에 크게 의존한다. 이 연구의 결과와 Harmaajavi's의 연구결과를 종합하면, <그림 13>과 같은 히스토그램을 얻을 수 있다. 중량의 콘크리트 구조물에서의 에너지 절약효과는 목재와 RC를 함께 사용한 구조물에 비하여 약 두 배 정도의 값이며, 또한 이산화탄소, 아황산가스, 질소산화물의 감소도 현저하다. 그러므로 콘크리트와 벽돌과 같은 중량의 건축재료를 사용하는 것은 경량의 재료를 사용한 경우와 비교하여 생태학적으로 매우 큰 이점이 있음을 알 수 있다.

이 실험은 북유럽에 한정된 것이지만, 냉방에 소요되는 에너지가 난방에 소요되는 에너지보다 높다는 것을 고려하면, 콘크리트의 축냉 효과는 더 우수해지기 때문에 기온이 높은 지역에서는 좀 더 우수한 생태학적 특성을 얻을 수 있다.

### 3.3 콘크리트의 재활용

콘크리트의 재활용에 대한 정보가 왜곡되어 있는 것은 매우 유감스럽다. 보통 콘크리트를 재활용이 어려운 것으로 생각하는 경향이 있지만, 콘크리트는 아마도 건축재료 중에서 가장 쉽게 재활용할 수 있는 재료중 하나이다. 최근에 수행된 많은 연구는 이러한 사실을 증명하고 있다. 콘크리트 재활용을 위한 기술은 이미 확립되어 있으며, 실용화가 급속히 진행되고 있고 이동 가능한 재생설비도 개발되었다. 경화된 콘크리트는 절단, 철근 분리, 파쇄, 분급 등의 공정에 의해 재활용된다.

콘크리트의 재활용 제품은 재생조골재, 재생세골재 및 재생미분으로 분류된다. 이중 재생조골재와 재생세골재는 새로운 콘크리트의 제조나 아스콘 등의 건설재료로 사용될 수 있으며, 입자가 작은 미분은 토질 개량재, 입도 개선재, 콘크리트용 혼화재 등으로 사용되거나 심지어는 다시 시멘트의 일부로 사용할 수 있는 기술이 개발되었다. 또한 레미콘 공장에서 발생하는 믹서와 트럭의 세척수는 침전 및 분리 공정을 거쳐 재활용된다. 고품질인 골재와 결합은 뒷채움재로 사용되고 세척수(또는 회수수)는 비빔수로 재사용 된다. 이와 같이 콘크리트의 재활용 기술은 거의 콘크리트를 완벽하게 재활용할 수 있는 수준에 도달해 있다. 그러므로 이제 폐콘크리트는 폐기물이 아닌 자원으로 인식해야 할 시점에 있다고 할 수 있다.<sup>20~30)</sup>

재생을 위해 소비되는 에너지량을 (표 3)에 나타내었다. 본 자료는 영국에서의 상황을 반영한 것이지만, 건축 재료의 생산 및 유통 상황은 세계적으로 큰 차이가 없기 때문에 어느 특정한 상황을 반영한 것은 아닐 것이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 콘크리트의 재생 에너지소비량은 신규로 콘크리트를 제조할 경우와 동일하다. 건설재료로서 사용량이 많은 스틸의 경우 재생시 신규로 생산할 경우보다 1/3 정도의 에너지를 소비하지 않지만 여전히 콘크리트 보다 10배 이상의 에너지량을 많이 사용하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 건물의 기능적 특성

앞에서 언급한 바와 같이 건축재료의 생산에 투입되는 에너지량과 환경오염 가스의 방출량은 생태학적인 균형에 큰 영향을 미치지 않고 있으며, 중요한 영향을 미치는 요인은 건물을 사용하는 동안에 투입되는 냉/난방 에너지와 이에 따른 가스 방출량이며, 각종 건축재료가 건물의 난방 및 냉방 특성에 미치는 영향에 따라 건축재료는 간접적으로 에너지량 및 환경오염 특성에 중요한 영향을 미친다. 비교적 중

표 3. 건축자재의 신규 및 재생시의 생산 에너지소비량(영국)<sup>16)</sup>

Building Material	신규(GJ/t)	재생(GJ/t)
Concrete	0.5 ~ 1.5	0.5 ~ 1.5
Brick	2.5 ~ 6.1	-
Timber	4.0 ~ 5.0	-
Glass	13 ~ 25	10 ~ 20
Plastic	80 ~ 220	50 ~ 160
Steel	25 ~ 45	9 ~ 15
Copper	70 ~ 170	10 ~ 80
Aluminum	150 ~ 220	10 ~ 15

량의 구조물은 양호한 열 흡수 특성을 가지고 있어 이러한 측면에서 명확히 이점을 지니고 있다. 그러므로 콘크리트는 생태학적인 측면에서 가장 우수한 재료이다.

건축재료의 생태학적인 비교를 위해서는 기능적인 품질 특성도 고려하여야 한다. 예를 들어 100간의 수명 동안 건물이 심각한 홍수, 지진 등을 경험할 수 있는데, 이 경우 건물의 성능을 회복하기 위하여 보수 또는 보강 공사를 필요로 한다. 이 성능 회복을 위해 투자되는 비용은 재료의 취약성과 비례하게 된다. 일반적으로 보수 및 보강을 위해 발생하는 생태학적 부하량은 생산시보다도 몇 배에 상당하므로 취약한 재료로 만들어진 구조물의 경우 생태학적 부하량은 매우 크다고 할 수 있다.

이러한 범주에 속하는 다른 특성은 화재에 대한 내구성과 차음특성, 자연환경에 대한 재료의 내구성, 건물의 미관성능을 유지하기 위한 페인팅 또는 마감재의 수리 및 교체 등이며, 이러한 요인이 건축물의 생태학적인 균형에 미치는 영향이 매우 크다는 것은 명확하다. 콘크리트는 이러한 모든 요인에 대하여도 매우 우수한 특성을 보유하고 있다.

#### 5. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 생태학적으로 콘크리트는 많은 잇점을 가진다. 콘크리트는 천연재료로 만들며, 제조 및 사용시에 독성물질이 제거되거나 영원히 고정화된다. 또한 생산에너지 소비량은 매우 작고, 그 구성재료는 지구상에 매우 풍부하다. 생태학적인 측면에서 콘크리트의 유

일한 결점은 시멘트 크링클을 소성하는 중에 발생하는 이산화탄소의 방출이지만, 방출량의 60% 이상은 중성화반응으로 다시 콘크리트에 회수된다. 결합재 또는 혼화재로 플라이 애쉬와 고로 슬래그 등의 산업의 부산물을 사용하여 이들의 폐기에 따른 환경오염을 방지한다. 축열 성능에 의해 부가적으로 이산화탄소를 방출하지 않고도 열에너지를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 축냉재로 사용하여 냉방에너지의 감소 효과도 얻을 수 있다. 또한 건축재료 중에서 가장 재활용하기 용이하다는 점도 간과하지 말아야 한다.

이제까지 건축재료의 선정 시 구조적 성능과 각종 물리 화학적 성능이 중요한 선정 기준이었으나 앞으로는 생태학적 성능을 가장 중요한 선정기준으로 채용할 필요성이 있다. 아무쪼록 본 자료가 여러 가지 건설재료들의 생태학적 성능 비교 시 올바른 참고자료가 될 수 있기를 바라며, 또한 콘크리트의 생태학적 우수성을 더더욱 명확히 하기 위한 연구의 필요성을 제안한다. □

#### 참고문헌

1. Guy, A. G., Essential of Materials Science, McGraw-Hill, 1976, pp.457.
2. White, R. N., "The Great Climate Debate", Scientific American, Vol.263, No.1, 1990, pp.18~25.
3. Wischers, G., and Kuhlmann, k., "Ökobilanz von Zement und Beton. Abwegende Gegenüberstellung von Ökologisch entlastenden und belastenden Einwirkungen auf die Umwelt", Zement-Kalk-Gips

- (Wiesbaden), Vol.44, No.11, 1991, pp.545~553.
4. Connaughton, J., "Life Cycle Energy Costing", CIBSE Journal, Oct. 1990.
  5. Marsh, R., "The Energy of Building", Structural Engineer (London), Vol.67, No.24, 1989, p.438.
  6. Kreijger, P. C., "Ecological Properties of Building Materials", Materials and Structures, Vol.20, No.118, 1987, pp.248~254.
  7. Berner, R. A., and Lasaga, A. C., "Modeling the Geochemical Carbon Cycle", Scientific American, Vol.260, No.3, 1989, pp.54~61.
  8. Richardson, M. G., Carbonation of Reinforced Concrete: Its Causes and Management, CITIS Ltd., Dublin, 1988, pp.203.
  9. Kropp, J., "Karbonatisierung und Transportvorgänge in Zementstein", dissertation, Universität Karlsruhe, 1983, pp.161.
  10. Calleja, J., "Durability", Proceedings of the 7th International Congress on the Chemistry of Cement, Vol.3, Paris, 1980, pp.VII-2/1~48.
  11. Gaspar-Tebar, D.; del Olmo-Rodriguez, C.; and Vazquez-Moreno, T., "Action du CO<sub>2</sub> sur le ciment portland anhydre", RILEM Symposium on Carbonation of Concrete, Fulmer Grange 1976, (Paris:RILEM), 1976, pp.7.
  12. Matala, S., "Effects of Carbonation on the Pore Structure of Granulated Blast Furnace Slag Concrete", Concrete Technology Report 6, 1995, pp.161, Helsinki University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Surveying, Espoo.
  13. Harmaajärvi, I., "Kestävän kehityksen tavoitteen mukainen asuntoalue. Arvio neljästä tyypillisestä suomalaisesta asuntoalueesta kestävän kehityksen kannalta(Residential Area Conforming with the Principle of Sustainable Development)", Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1992, pp.44.
  14. Niittymäki, S.; Salokangas, R.; Niemi, O.; and jämiä, J., 1981. "Asuinrakennusten massiivisuuden energiataloudellinen merkitys. (Significance of Building Mass in Energy-Economizing)", Construction Economics, 1981/3, Tampere University of Technology, Department of Civil Engineering, Tampere, 1981, pp.71.
  15. Isaksson, K.-E., "Talonrakennustoiminnan jätteet (Wastes of Building Activities)", Helsinki, Official Statistics of Finland, 1993, pp.46.
  16. Lenssen, N., and Roodman, D. M., "Toward Better Building", State of the World 1995, edited by L. Brown, Worldwatch Institute, Washington, D. C., 1995, pp.256.
  17. Jones, P. D., and Wigley, T. M. L., "Global Warming Trends", Scientific American, Vol.263, No.2, 1990, pp.66~73.
  18. Schuhmacher, P., "Beton und Umwelt - Beton und Ökologie", Betonwerk + Fertigteil - Technik, Vol.57, No.8, 1991, pp.27~29.
  19. Brown, L. R.; Kane, H.; & Ayres, E., Vital Signs, Worldwatch Institute, Washington, D. C., 1993, pp.174.
  20. 建設省土木研究所コンクリート研究室, 再生骨材を用いたコンクリートの設計施工指針(案), 土木研究資料, No.2418, 1986.
  21. 建設業協會建設廢棄物處理再利用委員會, 再生骨材および再生コンクリートの使用基準(案), 콘크리트工學, 16(7), 1997. 8, pp.42~46.
  22. 吉兼亭, 道路用再生骨材の性質, 콘크리트工學, Vol.35 No.7, 1997. 7, pp.36~41.
  23. 大林組建設廢棄物部, 建設資源 리サイクル研究會資料, 1992.
  24. 大和竹史, 콘크리트のリサイクルに關する海外の動向, 콘크리트工學, Vol.35 No.7, 1997. 7, pp.19~22.
  25. 東京部, 東京部建設リサイクルガイドライン, 平成 11年 12月.
  26. 公開特許公報(A), 콘크리트廢在らの骨材をらの再生させる方法, 2000.
  27. 충남대학교, 건설산업폐기물의 리사이클링 시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구, 1997. 8.
  29. 한국지질자원연구원, 건설폐기물 리사이클의 품질기준 및 촉진방안, 2002. 9.
  30. 김무한, 건설폐기물 및 재생골재 콘크리트, 콘크리트학회지, 제10권 제6호, 1998. 12, pp.52~60.