환경친화적 건축을 위한 건축재료/공법의 선정 및 적용기준

이강희 | 안동대학교공과대학건축공학과교수
| 054-820-6012
| E-mail: leekh@andong.ac.kr

20세기의 과학기술은 지속적인 과학기술혁명을이룩하였으나 인구의 폭발적인 증가, 한정된자원의고갈 및소비, 자연환경의오염과파괴, 생태계의교란, 기상이변 등으로인한환경문제를 야기하고 있다. 산업화 및 도시화에 따른 인구 증가는 생활수준향상을 위한 개발중심의 경제사회를 필요로 하게 됨에 따라 환경의 인위적인 개발 및 조작을 방치하기에 이르렀다. 뿐만 아니라 소비중심의 사회는 유한한 자원 및 에너지 등의 소비증가에 따라 부존자원 · 에너지 고갈을 예상하게 되고 결과적으로는 쓰레기, 폐기물의 증가와 환경폐해를 발생하고 있다. 최근의 환경문제는 한 지역 혹은 한 국가에 제한된 문제가 아니라 이웃한지역혹은국가에게영향을주는포괄적인 문제이다. 따라서한지역혹은한국가고유의문제로대응할 것이 아니라 전세계적으로 공동 대처를 요구하고있다. 따라서 이에 대한대처방법도생활및문화, 사회 · 경제적인특성에따라다양하게나타난다.

이러한 개발에 따른 환경의 급속한 폐해에 대한 해결로서 ‘ 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development, ESSD) ’이제시되면서 산업 및 소비, 기업경영 등의 모든 측면에서 새로운패러다임의전환을요구하고있다. 이가운데건축은 기존의 기계론적인 산업화에 의한 대량생산과 대량소비에서 환경과 조화를 이루면서 환경과 개발이 공존하고후손에게자연을물려주는지속가능한개발로의패러다임(paradigm) 전환이제시되고있다.

건축분야는 전체 에너지 소비량의 약 ⅓수준을 소비하고 있으며 이에 따른 이산화탄소 등의 지구온난화가스를배출하고있다. 다른한편으로건축물은 다른 일반소비재와는 달리 수명이 긴 내구재로써 라이프싸이클 기간동안에 환경과 다양한 형태로 영향을 주고받는다. 따라서 건축물의 건설, 사용, 철거/해체에 이르는 라이프싸이클 과정에서 에너지 · 자원을 절약하고 환경오염을 저감하는 기술개발이 요구되고 있을 뿐만 아니라 이것을 통해 공법, 건축자재 및 재료의 개발, 에너지 사용을 저감하는 건축계획 · 설계요소를 도입하여 단계적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다. 본고에서는이와같은건축물의환경에대한 영향을 저감하기 위한 건축기술을 선정하는 전체적인기준을제시하고건축재료/공법의선정및평가기준을 제시하고자 한다. 여기에서는 우선적으로 최근의 환경보전 패러다임의 전개, 환경친화적 건축기술의 방향성, 환경부하 저감을 위한 건축재료/공법 선정, 적용기준등을제시하고있다.

Ⅰ. 환경보전 패러다임

1. 현상과전개

최근의 환경에 대한 인식은 환경이 사회의 기능과 발달에 영향을 주는 가장 큰 요인으로 자리 잡고 있다. 그 결과 환경이 더 이상 일방적인 이용수단이 아니라 보전과 공생이라는 대등한 위치에서 직시하게 되었다. 이러한상황속에서 인간이 자신의 환경에 영향을 주는 수단이 양적으로 증가하고 국지적으로 인식되었던환경문제가 점차지역적문제, 범지구적 차원의공동문제로인식되었다.

지속가능한 개발의 개념은 환경 및개발에 관한 세계위원회(WCED)의 브룬트보고서에서처음으로등장하였다[1]. 이보고서에는지속가능개발을개념을우리가 물려줄 환경과 자연자원의 여건 속에서 우리의 미래세대도 최소한 우리 세대만큼 풍요로움을 지닐 수 있는범위내에서우리에게주어진환경을이용하고 자연자원을이용해야한다고강조하고있다. 이러한 지속가능한개발에 대한 개념은 1992년 6월 브라질의 리우데자네이로에서의 유엔환경개발회의(UNCED)에서표면화된환경과개발을위한리우선언을 통해 21세기 지구환경보전을 위한 기본 원칙을 제시하고 있으며 “ 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development : ESSD)을원칙으로제시하였다.

위와같은 것을 살펴볼 때 환경문제는 크게 다음과 같은 전제속에서 해결되어야 함을제시하고있다. 첫째는환경보전혹은환경의 질을유지하는것은그것이곧인류의생존을위한그리고생활을질을향상시키기위한것이다. 둘째는환경문제가이제지역혹은 한 국가의 지엽적인 문제가 아니고 범세계적인 공동의 대처문제라는 것이다. 셋째는 환경보전이 현세대뿐만 아니라 미래세대를위한 것이어야한다. 이것에 비추어볼 때 지속가능한 개발은 보편적으로 개발이라는그자체가의미하고있는바와같이정적인상태가아니고동적인변화과정을의미하고있다.

지속가능한 개발은 자연조건을 중시한 경우, 세대간 형평성을 중시한 경우, 보다 고차원적으로세대내 혹은 사회 · 문화 · 전통 등을 중시한 경우 등에 따라 다양하게 나타나며 각각에서 강조하고 있는 내용도 다소 상이하다. 그러나 보편적으로 인정되는 지속가능한 개발의 개념은 과거의 환경보호론과는 달리 적극적이고 능동적으로 변화를 수용하고 있다는 점이다. 즉, 자원의 효율적인 활용, 합리적이고 건설적인 투자, 인간지향적인 기술개발, 그리고 사회구조의 발전이 서로 유기적으로 조화를 이루고 연계를 형성하면서 인간의 욕구와 소망을 충족시키는 현재와 미래의동태적인변화과정을의미한다.

지속가능한 개발의 이념은 현재 수준의 경제적 지속만을 의미하지는 않는다. 지속가능 개발의 이념은 자연자원을 포함하여 생태계 전체가 지속가능한 것을요구한다. 따라서자연자원의수요뿐만아니라환경오염으로 인한 생태계의 파괴도 충분히 고려되어야한다. 지속가능한개발의이념은비경제적인가치, 사회적 가치를지속적으로 제공해줄수 있는 사회체계를 요구한다. 그리고 자연환경이 인간이 수용하는 능력에 한계가 있으므로 자연환경을 이용하는 우리의 모든 활동은 수용능력(carrying capacity)의 범위내에서 이루어지도록 통제되어야 함을 의미한다. 이것은 환경의 수용능력이 생산의 근원적 한계이면서 경제성장의 근원적 한계임을 강조하는 부분이다. 즉, 자연자원의 고갈이 생산활동의 기반을 허약하게 함으로써 경제성장의 한계 요인으로 서서히 작용하고 있으며 환경의 오염 역시 경제활동의 비용을 증가시킴으로서 경제성장의 한계를 형성하기 시작하고 있음을의미하는것이다.

이러한관점에서 볼 때 지속가능한 개발이란“ 미래 우리 후손의 욕구를 충족시킬 수 있도록 능력(capacity)과 환경을저해하지않으면서현세대의욕구를 충족시키는 개발 ”로 정의할 수 있다. 이것은 빈

1) WCED는 1984년에발족되었으며 1987년에는 “ 우리의공동미래(Our Common Future) ”가발표되었으며여기서부터 “ 환경적으로건전하고지속가능한개발 ” 개념이본격적으로논의되기시작하였다(김기곤(1996), 법지구적도전과지방적해결, 대한미디어(도서출판),pp44~48 참조)

곤한 사람들의 기본적 요구를 충족시키고 인류문명의 발전을 위해서는 일정부분 환경의 저해가 불가피하지만이같은개발이자연및생태계의수용능력, 즉 자연의 환경용량(carrying capacity)을 초과하여서는 안된다는것을포함하고있다.

2. 환경보전을위한대응

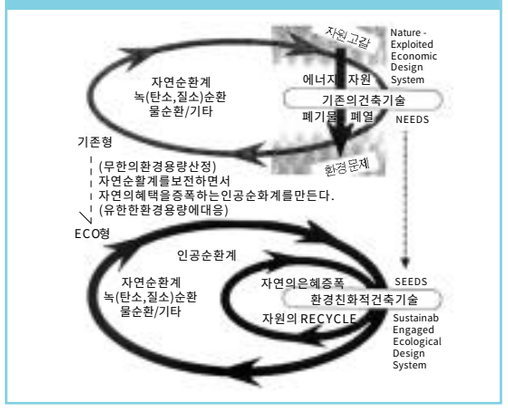
산업혁명이후 경제의 발달과 인구의 도시집중, 도시화등의사회적변화는환경이단순히 하나의 요인을 해결함으로서 개선되는 것은 아니고 각 분야에서 총체적이고 유기적으로 대응하는 것을 요구하였다. 따라서자원의효율적이용, 에너지의절약, 사회 · 문화적 라이프스타일의 변화 등 다양한 측면에서의 접근이시작되었다. 최근에는지구온난화, 대기오염, 산성우 등의 환경문제가 화석원료를 에너지원으로 하는 에너지의 소비로 나타난 결과라는 것이 입증됨에 따라국제적으로대응이요구되었다.

[표1] 환경보전을위한국제회의일지

일시	제목	내용
1972년		· 인간환경에대한스톡홀름UN선언
1979년	제1 차세계기후회의	· 인간활동에 의한 기후변화 가능성과 조치를 강수 필요성인정
1982년	유엔총회	· 세계자연헌장채택
1985년	기후변화에대한영향평가회의	· 오존층관에관한비엔나협정 · 이산화탄소(CO2) 50년후지구온도가5℃상승전망
1987년		· 오존층파괴물질에관한몬트리올의정서
1988.6	변화하는대기에관한세계회의개최	· 기후변화방지를위한국가별대책마련촉구
1988.11	유엔환경계획(UNEP) 및WMO 공동주관으로 "기후변화에관한정부간위원회(IPCC) 설립"	
1990.11	제2 차세계기후회의	· IPCC 보고서를 기초로 기후변화방지 협약제정 합의(각료선언)
1990.12		· 유엔총회결의로 1992년 6월 유엔환경개발회의(UNCED)에서기후변화협약을제정키로하고정부간협상위원회(INC) 구성
1991.2-1992.5		· 5차례의정부간현상위원회개최및협상문안작성
1992.6		· 기후변화협약조인
1994.3		· 기후변화협약발효
1997.12		· 교토의정서(이산화탄소(CO2), 메탄(CH4) 등의6가지 온실효과가스배출저감, 에너지산업, 건설, 수송등의 에너지소비저감방안등)
2000		· 남아프리카공화국에서교토의정서후속실천방안을위한회의

이에 대한 국제적인 움직임은 1987년 세계환경개발회의(WCED)에서 본격적으로 다루어지기 시작하였다. 여기에서는 경제성장에 따른 에너지수요의 증가가 환경파괴를불러 일으키고개발의한계, 에너지 고갈등의세가지위기를일으킬 수있음을지적하고 있다. 그리고1988년6월지구촌최대규모인" 유엔지구환경 정상회의(UN Earth Summit) "가 개최되기에 이르렀다. 그러나이와 같은 국제규모의환경대책회의가 개최되었음에도 불구하고 각국은 환경협약에 대한 최종적인 타결은 이끌어내지못하였다. 이에 따라 1992년 6월 리오데자네이로에서 기후변화협약이 조인되기에 이르렀다. 특히, 이 회의에서는이산화탄소(CO2)가 지구온난화를 유발시키는 주요요인으로 대두됨에 따라이산화탄소(CO2)의 배출저감을 위한 다양한 방안의 수립이 요구되기도하였다. 이와같은 국제적인 노력에도 불구하고 세계 각국의 환경에 대한 관심은계속적으로 높아가고있다. 이것은기존의 경제성장 우선주의에서 환경과 개발을 조화시키는 " 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development, ESSD) "으로수정되기에 이르렀다. 이러한시점에서건축뿐만아니라다른사회 · 경제 · 문화 등의 여러 분야에서도 환경친화적인 개편이불가피한것으로판단된다.

[그림1] 환경친화적건축기술과기존건축기술과의비교



II. 환경친화적 건축기술의 선정내용 및 평가구조

1. 기술적고려사항

최근, 지구환경의 악화와 에너지 · 자원의 고갈 그리고인구폭등과빈곤의심각화등인류역사상가장 심각한위기에직면해있다. 이러한문제해결을위해 건축기술은 경제적인 측면이 강조되면서 많은 효용을 유발하는 건축기술이 과거부터 계속적으로 개발되고 있다. 반면, 환경보전 측면을감안할때, 건축기술은 환경에 대한 부하를 억제하면서 건축물에 거주하는 인간생활의 편리성, 쾌적성의 향상을 위해 자원?에너지의 효율적 이용을 도모하여야 한다. 이와 같이 건축기술은 경제성과 환경부하저감이라는 측면에서 볼 때 긍정적인측면과부정적인측면을지니고 있다.

환경부하를 억제하는 기술개발을 위해 오히려 자원 · 에너지를 과도하게 소비하여야 하는 양면성을 지니고 있다. 이것은 자원 · 에너지 이용기술의 효율성이 향상된다 하더라도 이것에 의해 새로운 수요가 발생하면 총량적인 측면에서의 환경부하는 감소하지는 않는다는 모순을 지니고 있다. 따라서 환경부하를 저감하고 환경친화적인 건축기술은 시간적 측면의 효율이나 대규모 · 대량생산 혹은 에너지 소비저감 등 기존의기술의판단기준의수정을필요로하고 있다. 즉, 지금까지의기계적이고논리적인체계와는다른 자연의 생성 · 분해의 반응과 순환을 파악하는 것이 중요시되는 기술체계가 필요하며 이러한 기술이 지구환경문제를 극복하는 주요 요소로 대두된다([그림1]참조).

건축물은생산을위한장소의제공, 거주를위한주거공간의 구축 등을 통해 환경과 계속적으로 상호작용하면서이루어졌다. 환경의이용을통해 삶의 풍부함은 증진하여 왔지만 건축물의 건설은 환경과 인간에게 정(+)의 효과만을 준 것은 아니다. 특히, 환경친화적 건축물의 건설을 위해서는 설계, 시공, 유지 및운용단계, 개 · 보수단계, 철거및폐기단계에서의 환경친화적기술의전환이요구된다([표 2]참조).

건축기술이 단순히 인간의 거주환경을 향상시키는 것을 목적으로 하기보다는 주변환경, 지구환경에 미치는영향을감안하여야 한다는 것이다. 그리고건축기술 가운데 하나의 기술개선으로 환경친화적 건축기술을 이룩한다는 것은 다른 측면에서 환경친화적 영향에 부(-)의 효과를 주는결과를 초래함으로서상호 연계관계를 분석하여 기술의 평가가 이루어져야 한다.

[표2] 환경친화적건축기술의적용과정

흐름	단계	내용
1단계	기획단계	· 부지, 규모, 예산검토단계에서의환경부하저감목표 달성가능성검토 · 유사건축물의통계자료에기초한개략적인분석
2단계	기본설계단계	· 건축물의형태, 구조, 설비등에대한대안들간의환경 부하저감방안을모색함. · 주요기기, 자재수량적산, 에너지소비량적산등
3단계	실시설계단계	· 기기, 자재사양, 공법등대안들의 환경부하저감대책 을모색 · 2단계보다상세한물량에기초하여적산
4단계	시공단계	· 시공단계에있어서환경부하저감대책을모색 · 자원소비저감, 에너지소비저감공법의정량적인검토
5단계	운용단계	· 에너지소비저감, 보수 · 청소 · 수선등관리상의개선 방안의모색
6단계	개 · 보수단계	· 개보수를위한대안들의환경부하저감대책을모색
7단계	철거및폐기단계	· 재자원화, 프레온가스등환경부하저감대책을모색 · 건축물의라이프싸이클 환경부하 살태와최종처리단계에서발생하는환경부하에대한정량적인검토

2. 환경친화적건축기술의평가구조

건축기술은목적에따라평가하는척도가다양하게 제시된다. 그러나 무엇보다도 기술개발은 기존의 기술상태를 개선하는 정도를 의미하는 효용(utility)이 중요한 요소가 된다. 이것은 기존의 기계론적인상태에서평가하는기본축이된다. 반면, 최근에부각되고 있는환경보전적인측면을 볼때, 건축물의 라이프싸이클에 따른 환경부하여부가 중요한 평가요소로 작용한다.

건축물은 다른 소비제품과 달리 건설후 최종 폐기까지긴수명을지니는것이특징이다. 따라서건축물 수명기간 동안 효용과 환경부하가 저감되는 건축기술이요구된다.

다만, 건축기술을 평가하는데 있어 효용과 환경부하는 이차원적인 평면상에서 상호비교가 가능하지만 건축물의 수명기간 동안의 평가는 최종 철거되는 시점까지의 효용과 환경부하를 포함하는 평가축이 형성되어야한다.

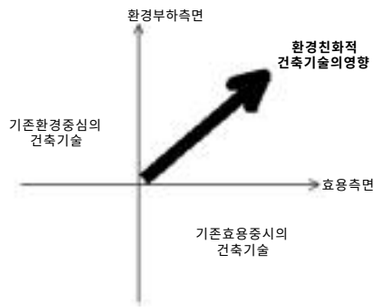
1) 효용과환경부하측면

환경친화적건축기술은기술적용에따른효용을최대로하면서건축 · 도시환경및자원고갈등을 포함한환경에대한부(-)의효과를최소화하는것을의미한다. [그림2]는건축기술의효과를나타내는개념도이다. 우선, X축은 기술의 효용개선정도를 의미하고 있으며Y축은환경부하개선정도를나타낸다.

Ⅰ사분면은환경부하가개선되는동시에개발된기술적용에 따른효용이개선되는것을의미한다. 이것은 건축기술이 지향하여야 하는 환경친화적 건축기술로표현할수있다.

반면, Ⅱ사분면은 환경부하는 개선되지만 기술적용에 따른 효용이 저감되는 상태를 나타낸다. 이것은 과거 환경오염 등의 문제를 해결하기 위해 효용적인 측면을 무시한 환경친화적 건축기술이라고 말할 수 있다. Ⅲ사분면은 환경부하 개선정도와 효용이 모두 부(-)의 상태인 것을 의미한다. 이러한 기술은 더 이상 존재가치를 잃게 된다. Ⅳ사분면은 효용개선의 정도는 증가하나 환경부하의 개선정도가 감소된 건축기술을 의미한다. 이것은 기존의 기계론적인 건축기술로 환경친화에 대한 영향도는 거의 무시된기술이다.

[그림2] 효용과환경친화적건축기술의전개[2)]



2) 건축물라이프싸이클측면

건축물은 건설, 사용 및 운용단계, 철거 및 폐기단계의 라이프싸이클을 갖는다. 그리고 건축물 구성요소는 원료의 채취, 가공, 현장조립과 철거와 함께 구성요소등의라이프싸이클을갖게된다.

따라서 환경친화적 건축기술은 기존의 라이프싸이클 각단계가독립적으로평가되는것과는달리원료의 채취부터 제품가공, 유통, 사용및 유지관리, 그리고 마지막으로 철거 및 해체에 이르는 라이프싸이클 속에서 종합적으로 평가가 이루어져야 한다([그림3] 참조).

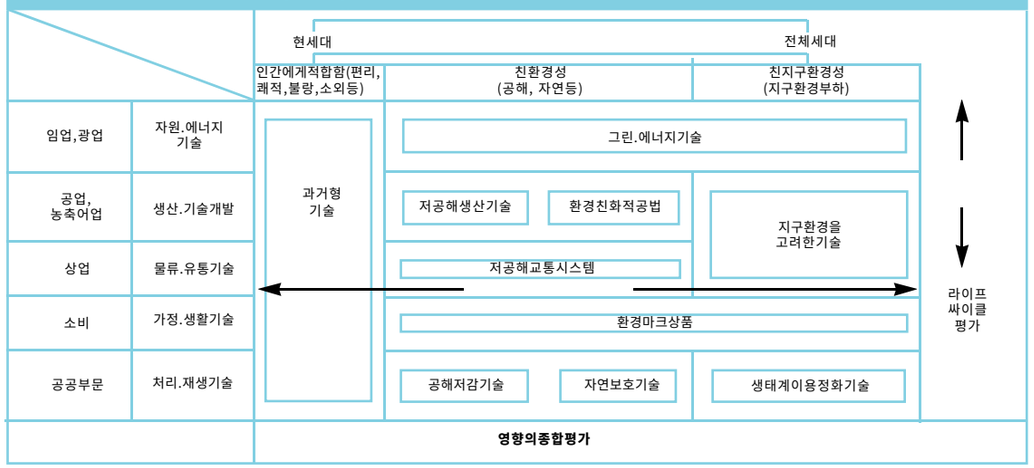
[그림3]은 시간적 흐름축과 건축물 관련산업을 축으로 하는 환경친화적 건축기술 측면을 나타낸 것이다.

시간적흐름축은현재에서미래로의흐름속에서인간중심의 건축기술에서 지구환경부하를저감하는 기술로의전환을의미한다.

기존에제시된기술은대부분이환경을고려하기보다는 인간의 편리성, 쾌적성, 소외감 해소 등이 주된 요소로 대두된다. 그러나 주변환경을 고려한 환경친화적 건축기술은 인간과 자연이 공존하는 공간 건축기술을의미한다.

2) 이동근(1997.12),“ 도시의환경친화성기술 ”, 건축제 41권 12호, p37

[그림3] 건축물의라이프사이클에따른환경친화성평가체계[3)]



3. 환경친화적건축기술의적용흐름

최근의 지구환경문제는 한 지역에 국한된 것이 아니라 전세계적인 관심사로 대두되고 있다. 여기에는 지구의 온난화, 오존층 파괴, 사막화 진행 등의 현상이다기화(多岐化)되고있으며발생현장에따라대응방법도지역 혹은 국가마다 다양하다. 유럽, 남미, 아시아 등 지역에 따라 다르고 생활 및 문화에 따라 대처하는 방식이 다양하다. 이러한 지구환경문제는 인구가 증가하고 천연자원 및 에너지를 고갈하고 산업폐기물의배출등이주요원인으로나타나고있다.

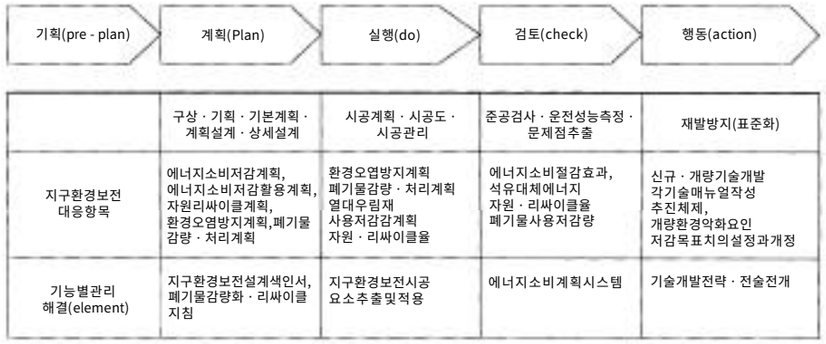
지구환경문제의주된요인은유한한자원과화석에너지의소비에기인하는것으로밝혀졌다. 에너지 소비증가는 지구온난화를 가중시키고 있으며 도시폐기물의 증가는 반송, 처리과정에서 많은환경문제를 낳는 동시에최종처리에 따른 자연의훼손은양질의수자원부족, 하천, 지하수오염등을일으키고있다. 특히도시지역에서는개인생활의쾌적성, 편리성, 경제성을 추구한 결과는 질소화합물(NOx), 산화합물(SOx) 발생에 의한 산성우 문제, 프레온, 할로겐의 대기방출에 의한 오존층 파괴, 가구, 건축자재, 콘크리트 거푸집용도로서의 목재자원의 감소를 초래하고 있다.

이와 같은 상황에서 환경을 보전하는 건축기술의 개발과 함께환경과균형을이루는시스템기술의도입이필요하다. 특히, 자원 · 에너지 다소비형 라이프스타일의 변화를 추구하는 동시에 건축에 대한 지구환경의 기본개념을재정립하여야 한다. 도시 측면에서는 자원 · 에너지 측면에서 자립할 수 있는 도시하부구조를 구축하고건축측면에서는 에너지 다소비재로 구성된 환경부하가 많은 건축물에 에너지 소비저감형건축기술을도입하는것이필요하다.

이러한 측면에서 건축의 지구환경보전에 대응하는 분야는 크게 4가지로 나눌 수 있다. 첫째, 자원 및 에너지소비저감, 둘째, 자원및에너지의적정사용, 셋째, 대체재료및시스템의도입, 마지막으로재활용과 무공해등이다. 자원및에너지의절약은양적인측면에서 조절하는 것이고 자원 및 에너지의 적정 사용은 사용의질적인측면에서적합하도록조절하는것이다

3) 이동근(1997.12),“ 도시의환경친화성기술 ”, 건축제 41권 12호, p38

[표3] 지구환경보전기능의추진체계



	기획(pre - plan)	계획(Plan)	실행(do)	검토(check)	행동(action)
	구상 · 기획 · 기본계획 · 계획설계 · 상세설계	시공계획 · 시공도 · 시공관리	준공검사 · 운전성능측정 · 문제점추출	재발방지(표준화)
지구환경보전 대응항목	에너지소비저감계획, 에너지소비저감활용계획, 자원리싸이클계획, 환경오염방지계획,폐기물 감량 · 처리계획	환경오염방지계획 폐기물감량 · 처리계획 열대우림재 사용저감감계획 자원 · 리싸이클율	에너지소비절감효과, 석유대체에너지 자원 · 리싸이클율 폐기물사용저감량	신규 · 개량기술개발 각기술매뉴얼작성 추진체제, 개량환경악화요인 저감목표치의설정과개정
기능별관리 해결(element)	지구환경보전설계색인서, 폐기물감량화 · 리싸이클 지침	지구환경보전시공 요소추출및적용	에너지소비계획시스템	기술개발전략 · 전술전개

대체재료 및 시스템의 도입은 기존의 에너지 소비가 많은재료의이용을억제하고에너지고효율시스템을 사용하는것이다. 재활용과무공해는건축활동으로인해 나타나는 건설폐기물 및 철거 후 나타나는 폐자재의재활용을적극추진하고가급적자연환경에부담을 적게 한다는 의미이다. 위와 같은 4가지의 주요 측면은건축물의생산에서출발하여사용단계를거쳐최종 폐기단계에 이르기까지 건축물의 전체 라이프싸이클을자연친화적으로한다는의미를내포하고있다.

건축에서 지구환경문제에 대응하는 방안은 설계단계에서 최종 건축물의 철거에 이르는 전과정에서 이루어져야 한다. 단순히 설계단계에서 지구환경의 훼손을방지할목적으로계획할지라도건축물의사용단계, 건축물의철거및해체단계에서환경에저해를가져올 가능성이 많다, 따라서 생산단계, 사용단계, 철거 및해체단계전체를종합적으로 평가하는것이가장 바람직하다. 지구환경보전을 위한 대응흐름은 [표3]과같다. [표3]에따르면지구환경보전을위한기능단계의구분은 크게기획(pre-plan)→계획(plan)→실행(do)→검토(check)→행동(action)단계로 구분된다. 기획(plan)단계는 건축물의구상, 기획, 기본계획, 계획설계, 상세설계 등을 의미하는 것이고 실행(do)단계는 앞서의 기획단계에서 이루어진 것을 이용하여 시공계획, 시공도, 시공관리 등을 수행하는 것이다. 검토(check)단계에서는 건축물의 생산을 위해 이루어진실행단계에서나타난결과를이용하여준공검사, 운전성능측정과문제점을추출하는것이다. 행동(action)단계는 전단계의 수행과정에서 나타난 문제점이재발되지않도록일련의조치를취하는것이다.

건축물의라이프싸이클 기간동안지구온난화방지, 산성우의 감소, 화석에너지 소비량의 절감, 열대우림 감소방지, 유해폐수처리, 오염토양처리, 수질정화, 반송?처리, 특히건설폐기물의감량, 처리, 재활용화등의측면에서상호영향을주고받는다. 그러나이들각각의 목표는 서로 독립적으로 이루어지는 것이 아니라각요소들이유기적으로연계되는“ 지구환경에대한총체적시스템 ”의구축과도입효과를평가하여선정하는방법이 요구된다. [표4]는건축에서의지구환경보전과의 대응요소를 나타낸 것이다. 지구환경문제는크게 11개의분야로분류되고이에대한건축의 대응요소는 크게 12개로 분류할 수 있다. 대부분의 건축의 대응요소는 지구온난화와 깊은 관련을 지니고 있으며 이들 요소기술에는 건축물의 내용수명의 향상, 콘크리트 및 철강재의 사용 억제, 건축물 에너지 소비저감, 대체에너지 기술요소 등이강한관련을 지니는것으로나타난다.

[표4] 지구환경보전을위한건축의대응요소

건축분야의주요대응항목 / 지구환경분야	도시와 건축물 녹화	건축물의 내용년수 향상	콘크리트 사용억제	철강재 사용억제	건축물용 목재사용의 합리화	건축물의 에너지 소비저감	대체 에너지	프레온 배출 억제	열대우림재 합판이용억제	건설부산물 처리합리화	건설자재 운반합리화	건설활동에관한종이 사용량저감
지구온난화	○	●	●	●	●	●	●	○				○
열섬현상	◎					◎					○	
성층권오존층파괴						○	●	◎				
자원폐기물증대		●	◎		◎					◎	○	
유해폐기물확산											○	
광역대기오염			○	○		◎	◎				◎	
산성우			◎	◎		◎	◎				◎	
해양오염											○	
사막화진행	○				○				○			
삼림감소		◎			○				◎			○
야생생물종감소					○				●			

주) ●:매우관련이깊음. ◎:관련이깊음○:보통관련

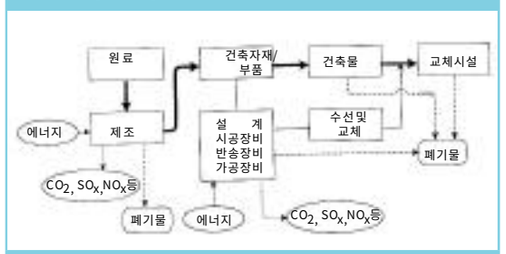
III. 환경친화적 건축재료/공법의 선정기준 및 평가

건축물의 라이프싸이클 과정에서 환경영향을 저감하기 위해서는 기획 · 계획 및 설계, 시공, 건축재료 등 다양한 측면에서 접근할 수 있다. 이 가운데 건축재료/공법은 단순히 그 자체가 의미를 가지는 것이 아니라 건축물이라고 하는 제품에 구성요소로써 역할을할때의미를가진다. 건축물의구성요소로써역할을할때, 환경에미치는영향과환경영향을저감하는환경친화적건축재료/공법선정이요구된다. 이것을 통해 건축재료/공법과 환경영향과의 관계를 통해 상호관련성을 고찰함으로써 건물을 환경친화적으로 유도하기 위한 선정방법 및 과정으로써 환경부하를 저감하기위한주요의사결정도구로활용할수있다.

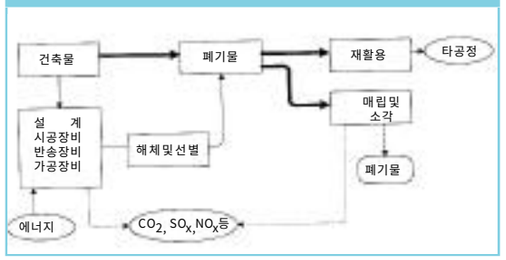
1. 라이프싸이클단계별평가흐름

건축재료/공법은 건물의 구성요소로 사용될 때 역할을 하게 된다. 따라서 건축재료/공법은 건물의 라이프싸이클 속에서 파악하는 작업이 필요하다. 건물은 크게 기획, 계획 및 설계, 시공, 유지관리, 철거 · 해체되는라이프싸이클을갖게 된다. 이들 각각의 단계는 여러 가지 건축자재/공법, 자원, 에너지가 투입되는반면, 폐기물이 배출되게 된다. 건축재료, 공법, 에너지 등이 포함된 건물의 라이프싸이클 과정에서 지구환경에 미치는 영향을 도식화하여 보면 [그림4] ~ [그림7]과같이나타낼수있다.

[그림4] 설계및시공과정의환경영향모델



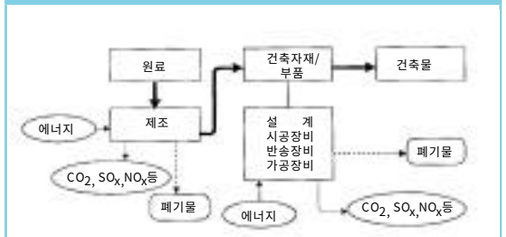
[그림5] 운용과정의환경영향모델



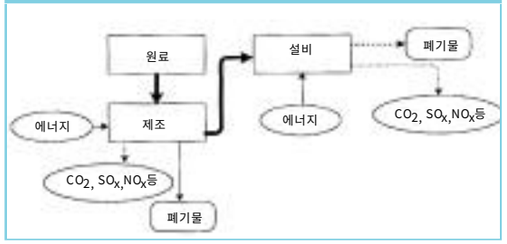
설계, 시공과정 단계에서 환경영향모델은 [그림4]와 같이 나타낼 수 있다. 건물의 건설에 요구되는 건축재료생산을 위해 천연자원을 채취하고 채취한 원

료를가공하는 과정등에서에너지소비및 이산화탄소 등의 온실효과가스 배출과 산업폐기물을 발생하는 흐름을 나타낸 것이다. 그리고생산된건축재료는 건설현장까지 운송하고 현장에서 공법을 선택하여 시공되는 과정에서 발생되는 폐기물과 이산화탄소 등의환경오염물질이배출하게된다.

[그림6] 수선및개·보수시환경영향모델



[그림7] 철거·해체및재이용과정환경영향모델



유지관리단계에서환경에대한영향에대해서는크게 냉난방, 조명, 급탕 등의 운용부문과수선, 증개축 등의 사용부문으로 구분된다([그림5, 6]참조). 여기서는 개·보수를 위해 설비기기 등을 생산하고 건물에 교체·설치하는 과정에서 발생하는 온실효과가스와 폐기물 등이 발생하는 한편, 냉난방 운용을 위한 에너지원의 투입으로 인한 온실효과가스로 구분할 수 있다. 수선, 교환, 증·개축등의 사용부문이 환경에 주는 영향은기본적으로 설계 및시공과정의모델과 비슷하다. 다만, 기기, 부품등이기능저하로인한 교체, 수선 등에서 제한적으로 이루어진다는 차이가 있다. 운용부문은 건축물의 냉난방, 급탕, 조명 등에 투입되는 에너지의 소비가 대부분이다. 에너지는 대부분이 화석연료의 연소에 따른 이산화탄소 등의 대기오염물질이발생하게된다.

철거/해체단계에서 환경에 대한 영향은 해체에 요구되는 건축재료/공법, 장비 운용에 따른 에너지 소비로구성된다([그림7]참조). 해체과정에서발생되는 건설폐기물은 재활용되어 다른 건물의 건설에 투입되는폐자재부분과매립등의방법으로폐기되는부분으로 나눌 수 있다. 폐자재는 재가공 등의 과정을 거쳐 새로운 건축재료로써 다른 건물의 건설에 활용되는흐름을갖는것이특징이다.

상기의각라이프싸이클단계별영향모델을고려하여 건축활동을 건설, 운용 및 사용, 철거/해체단계로 구분하고, 각 단계별로 건축활동이 지구환경에 미치는 영향요소들을 구체적으로 살펴보면 [표5]와 같이 정리할 수 있다. [표5]는 환경문제와 건물의 라이프싸이클 과정에서의 상호영향 관계를 각 요소별로 나타낸 것이다. 세로축은 건물의 건설단계, 유지관리단계, 철거/해체단계로 구분할 수 있다. 가로축은 건물의 라이프싸이클 과정에서 환경에 미치는 영향을 예시한것이다. 여기에는지구온난화, 성층권오존층파괴, 광역대기오염, 산성우, 도시기후, 해양오염, 유해폐기물, 사막화 진행, 삼림감소, 야생생물감소, 자원·폐기물문제등 11개의분야로구분할수있다.

[표5] 라이프싸이클단계별로지구환경에미치는영향[4)]

건축활동		지구환경문제	지구온난화	오존층파괴	광역대기오염	산성비	도시기후	해양오염	유해폐기물투기	사막화	삼림감소	야생생물종멸종	폐기물문제
건설	기획계획	도시개발	●		●	●	●	●			●	●	
		개발사업	●		●	●	●				●	●	
		평가	●		●								
	설계	의장	●										
		구조	●								●		
		설비	●	●	●		●	●					
		환경	●										
		방화	●	●									
		재료	●	●			●				●		
		경관	●										
	시공	지하구조체	●										●
		지상구조체	●				●						●
		마감	●										●
		설비	●										●
		재료의운반	●		●			●		●	●	●	●
		폐기물처리	●					●	●				●
운용	유지관리	설비	●	●	●		●						
		재료	●	●									
		에너지	●		●	●	●	●		●	●		●
		물	●				●	●					●
		실내공기질	●										
		폐기물처리	●	●	●			●	●				●
		실내환경	●				●						
		외부환경	●				●						
해체	계획	평가	●	●	●								
		해체물이용	●	●	●				●				
	시공	해체시공	●	●	●								
		폐기물처리	●	●	●			●	●				●

2. 평가항목

건축재료/공법의환경친화성평가는국제협약과국내 환경기준 그리고 환경독성화학회(SETAC)와 경제협력개발기구(OECD)에서 제시하는 환경영향 범주나 항목들을 들 수 있다. 이들 항목과 범위들을 정리하면[표6], [그림8]과같다. [표6]에서환경영향항목은 크게 자원, 대기, 수질 및 생태계, 폐기물, 인간보건등의영향범위로구분하여나타내고있다.

[표6]에서 각종 협약이나 기준에서의 환경친화성 평가항목을 이용하여 건축재료/공법을 대상으로 구체적으로 정리하면 [그림8]과 같이 나타낼 수 있다. 이러한 환경영향항목은 건축재료/공법에 대한 환경친화성을 평가하기 위해서 건축재료/공법이 인간이 거주하는 공간에 설치되는 물질이라는 점과 건축재료/공법으로 인하여 자원감소와 생태계 파괴가 발생한다는점을충분히고려하고있다.

3. 건축재료/공법의평가

건축재료/공법에 대한 환경친화성은 환경영향항목에 대한 평가를 통하여 판단할 수 있다. 환경영향을 평가하는측면은크게지구온난화, 오존층의파괴, 폐기물오염, 산성비, 산림파괴, 사막화, 해양오염, 생물다양성의파괴, 방사능오염등으로구분할수있다.

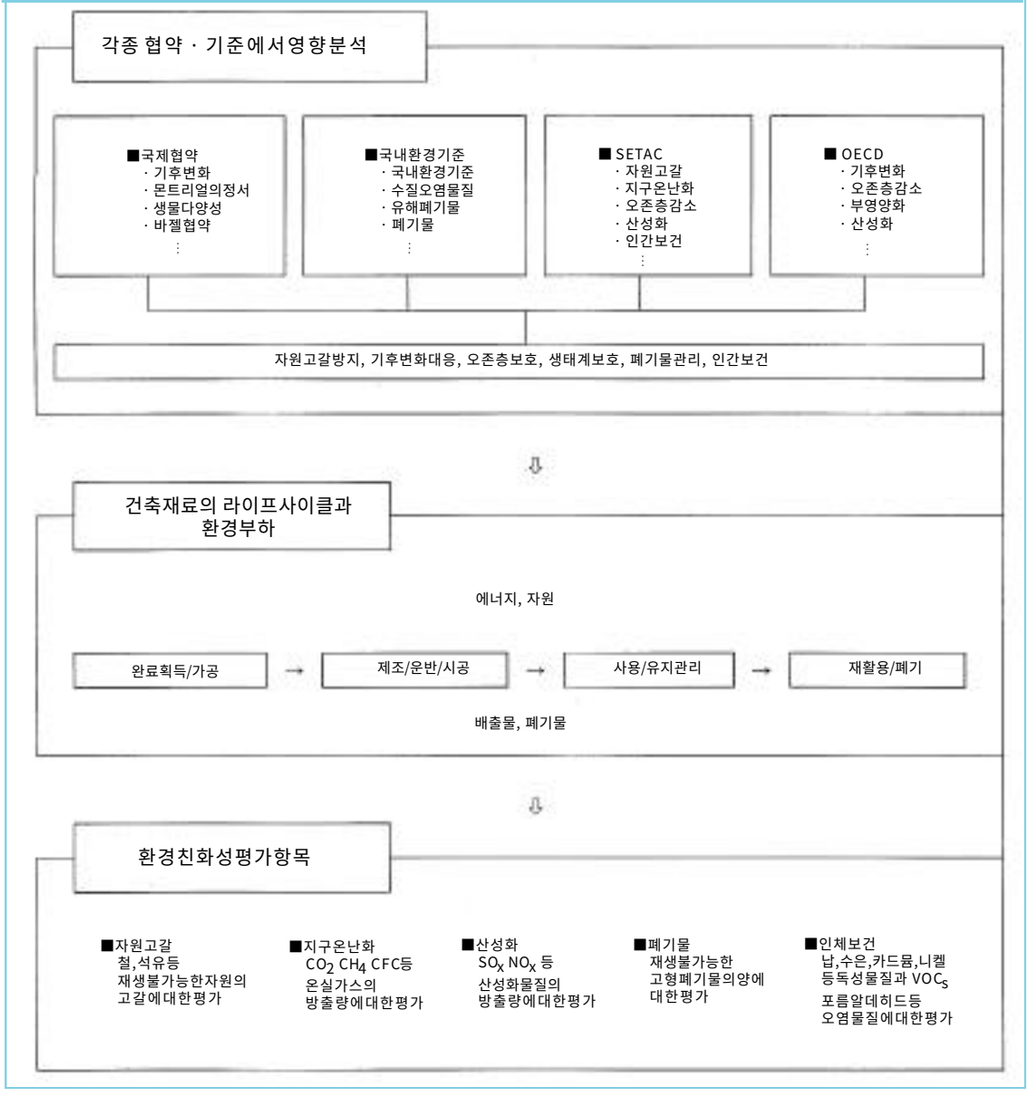
이러한 측면은 건축재료/공법적용시 건축물 라이프싸이클과정에서 발생되는환경오염물질로인해환경

[표6] 환경영향항목의내용

영향 범주	국제협약	국내환경기준	국제기구		환경영향 항목
			환경독성화학회	경제개발협력기구	
자원	-	-	자원고갈	수자원, 삼림자원, 수산자원	자원고갈
대기	기후변화협약, 몬트리얼의정서	산성도, 오존오염도, 먼지오염도등	지구온난화, 오존층감소, 산성화, 광학적스모그	기후변화 오존층감소	지구온난화
수질및 생태계	생물다양성협약, 사막화방지	생물학적산소요구량, 화학적 산소요구량, 총인, 총질소등	부영양화, 생태계독성, 산성화	부영양화, 산성화, 독성오염, 생태계다양성, 토양침식	산성화
폐기물	유해폐기물	사업장폐기물, 일반폐기물	생태계독성	폐기물	폐기물
인간 보건	-	-	유독성영향, 비유독성영향,작업환경에의영향	독성오염	인간보건

4) ●로표시된것은건물라이프사이클단계별지구환경과의상호영향관계가깊은것임

[그림8] 건축재료/공법의환경친화성평가관련항목



에 영향을 미치게 된다. 환경영향항목과 관련한 배출물질을 제시된 데이터 조사방법을 이용하여 조사한 뒤, 조사된배출물질의크기에각환경영향항목의가중치 계수 등을 곱한 값을 합산하는 과정으로 환경친화성 평가를 할 수 있다[5]. 각각의 환경영향항목에 대한평가방법을정리하면[표6]과같이정리할수있다.

5)' 환경영향값 = Σ(재출물의개별수치×가중치계수) 로나타낼수있다.
6) 가중치계수(epuivalent factor)란환경부하를유발하는물질들이해당환경영향에미치는부하의크기가물질의특성에따라다르기때문에이에대한보정을하기 위해서사용된다.

앞서건축재료/공법적용에대한각각의환경친화성 평가는대상이선정되면, 선정된건축재료/공법에대하여 사용되는 용도와 그에 따른 평가단위를 정립해야한다.

이것은 동일 용도로 사용된 재료라 할지라도 용도 적용을위해필요한양을설정하고, 설정된재료에대하여 자원 투입량과 환경영향물질의 배출량을 조사하여 각영향항목에 대한 평가를실시하기 위함이다.

환경영향물질에 대한 데이터 조사가 끝나면 평가항목과관련된물질들을분류하고 각항목과관련된가중치계수[6] 등을적용하여항목별 평가수치를 정량적으로도출할수있다.

IV. 맺음말

기존의 환경에 대한 인식은 인간생활의 편리성을

[표7] 건축재료/공법적용시환경영향평가항목, 방법, 내용

평가항목	평가방법	평가내용
자원고갈	자원고갈계수 = $\Sigma \frac{1}{\text{부존량}i \times \text{부존해수}i} \times Wi$ 부존량i = i자원의부존량(kg) (부존량이클수록가중치계수는작아짐) 부존기간i = i자원이사용을위해남은기간 Wi = 특정평가단계에서i자원의목록상무게 Wi = i흐름에서발생하는온실가스양(kg)	· 현재부존하는자원의매장량과매년자원의사용량을 이용하여자원감소계수를만들고, 이감소계수를평가하고자하는건축재료에서조사된목록물질에곱하므로서 자원감소에대한계량화가가능
지구 온난화	지구온난화지수 = Σ Wi×SWPi Wi=i 흐름에서발생하는온실가스양(kg) GWPi = i흐름에서발생하는온실가스를지구온난화지수를곱하여이 산화탄소당량으로환산한양(kg)	· 지구온난화가스유형별로가중치를적용하여적은양이 방출되더라도큰영향이있는지구온난화가스에대하여 고려하여야함.
산성화	산성화지수 = Σ Wi×APi Wi = i물질의중량(kg) APi = i물질이잠재적산성화효과를유발하는단위아황산가스로바꾼 가중치계수	· 산성화의원인이되는모든물질을산으로가정하여그 물질분자량에대한수소이온량을산성화기여도로산정 한산성화영향물질지수를특정라이프사이클흐름에서 수집된물질i에곱하여산출함. 지수의단위는 g-H+
오존층 고갈	오존층고갈계수 = $\Sigma \frac{j\text{라는항목에의한성층권오존감소}}{\text{CFC11에의한성층권오존감소}}$	· 오존층고갈에대한상응인자는오존층을파괴하는물질정 도를CFC11에의한오존감소정도를기준으로나타냄. · 각각의가스들에대한상응인자값은 WMO에서발표
폐기물	폐기물용적 = $\Sigma \frac{\text{재활용이불가능한}i\text{폐기물의중량}}{\text{폐기물}i\text{ 재료의밀도}}$	· 폐기물유형별로고형폐기물의용적으로폐기물을평가. 각각의건축재료/공법이비중에따라부피가다른점을 감안하여야함.
인간보건	인간보건지수 = Σ Wh×B(a)Pi Wi = i물질의중량(kg) B(a)Pi = i물질이배출하는발암물질가중치계수	· 작업자및사용자의건강을모두고려할수있도록평가 대상재료의라이프사이클에서중금속이나발암물질이 배출되는정도를이용하여인간보건지수를평가 · 발암물질에대한가중치계수를이용하여인간보건지수 를구하는방법
부영양화	부영양화 = Σ(EPj×Mj) EPj : j라는항목의 NOx를기준으로한부영양화상응인자 Mj : j라는항목의배출량	· 부영양화를야기하는물질의산소소모량을NOx 기준 으로나타냄. · 부영양화에의한환경영향의귀착점을나타내는지표로 는산소소모가사용됨.

위해 일방적으로 활용하는 대상으로 간주되어 왔다. 그러나 일방적인 환경이용으로 인해 나타난 폐해가 인간생활의 질적 수준을 저하시킬 뿐만 아니라 환경폐해로인해생태계교란, 오존층파괴등이발생하고 있다.

이에 따라 최근의 환경에 대한 인식은 일방적인 이용대상이 아니라 상호 대등한 위치에서 인간생활을 위한 개발과 환경보전을 이루어야 함을 의미하고 있다. 이것은환경에대한기존의패러다임의전환을가져오고있다. 이와같은환경보전패러다임은 경제·사회·문화 등 여러 분야에서 많은 변화를 가져오고 있으며 심지어는 라이프스타일의 변화까지도 요구하고있다.

이러한환경보전에대한인식의변화는건축산업분야까지영향을미치고있다. 특히, 건축물은일반소비재와는달리수명이길 뿐만 아니라다종다양한 건축재료및자재가소요되는동시에이들을하나의 구성체로 완성하기 위한 공법이 사용되는 특징을 지니고 있다. 따라서 건축물에 사용되는 건축기술은 건축물의 라이프싸이클기간 동안 환경부하를 저감하여야 한다.

본 고에서는 건축물의 라이프싸이클에서 환경부하를 저감하는 건축기술 선정내용과 선정기준을 중심으로 하여 건축재료/공법 적용시의 환경친화성 평가기준을제시하였다.

이를 간략히 정리하면 다음과 같다. 첫째, 건축은 기본적으로 환경보전보다는 개발중심으로 이루어져 왔다. 개발중심으로 토대위에서 경제성을 우선적으로 배려하기 보다는 환경보전 측면과 경제성을 동시에 고려하는건축기술의적용이바람직하다. 두 번째로 건축물은 라이프싸이클 기간동안 환경에 다양한 영향을주고받는다.

그러나환경친화적건축기술을선정하는데있어한가지의 환경영향요소를 고려하여 건축기술을 선정하기 보다는 다양한 환경영향요소를 동시에 고려한 건축기술이선택, 적용되어야 할것이다. 세번째로, 건축재료/공법의 적용시 환경영향을 평가하는 데에는 지구온난화, 산성화, 부영양화, 자원고갈, 인간보건지수등다양한요인을들수있다.

이들요인은환경친화적건축재료/공법선정시동시에 고려되어야 하며 하나의 요인으로 선정하기에는 한계가있다. 즉, 하나의요인을감안할경우다른요인에 대한 영향이 동시에 발생하는 경우가 일반적이기 때문이다. 앞서에서제시한바와같이 환경친화적 건축재료/공법을 선정하는 과정에서 이들 다양한 평가요인들은 대상재료, 공법에 따라 세부적인 산출과정, 내용등이체계적으로정립되어야한다.

지금까지의 환경친화적인 건축재료/공법적용 선정을 위한 평가항목, 방법, 내용 등의 전체적인 흐름을 제시하였다.

이러한흐름은건축재료/공법의선정단계에서세부적인 작업이 선행되어야 할 것이다. 이를 위해 우선, 건축재료/공법의환경친화성판단에 대한 기준, 평가방법을 마련하고 건축재료/공법의 환경영향에 관련된정보를제공하는것이요구된다. 이러한과정을통해 건축재료/공법의 선정 및 사용이 환경친화적이고 지속가능하게 활용할수있는토대를마련해 줄것으로사료된다.

다른한편으로건축재료/공법의환경친화성평가를 근간으로 하여 성능평가와 경제성평가를 최적화시키는 평가방법을 개발되어야한다. 경제적효용과환경친화성 각각이 별개의 개념으로 접근하는 것은 앞으로현실적으로불가능하다. 따라서상기의두가지개념이 동시에 병존하는 접근방법, 평가방법 등의정립이필요하다.

더나아가환경친화적인건축재료/공법이실질적으로건설현장에적용될수있도록건축재료/공법의환경성에 대한 데이터베이스의 구축과 성능 및 경제성 평가에 대한 데이터베이스의 구축을 위한 노력도 병행되어야할 것이다. 이러한노력은궁극적으로 지구환경보전과인간의생존을위한것으로건축의 각 분야에서적합한발전을이루어나가야할것이다.

참고문헌

1) 한국건설기술연구원(1999), 기후변화협약 대응 건축물 에너지 절약중장기대책연구, 건설교통부.
2) 김귀곤(1996), 범지구적 도전과 지방적 해결, 대한미디어(도서출판),
3) 김상용외공역(1998), 환경전과정평가, 시그마프레스.
4) 김현수, 이강희, 강재식, 양관섭, 채창우(1999), 주거단지의 환경친화성평가방법개발에관한연구, 한국건설기술연구원.
5) 이강희(1999),“ 건축물의 환경친화성 평가방법에 관한 연구 ”, 연세대학교대학원박사학위논문.
6) 이동근(1997.12),“ 도시의환경친화성 기술 ”, 건축제 41권 12호, p37
7) 대한민국정부(1998), UN 기후변화협약에 의거한 대한민국 국가보고서.
8) 이건모, 허탁, 김승도(2002),“ 환경전과정평가(LCA)의 이론과 지침 ”, 한국품질환경인증협회
9) (재)한국환경과학연구협의회(1989), 환경영향평가서 작성지침서.
10) 채창우(2000),“ 건축재료의 환경친화성에 대한 평가방법 연구 ”, 건국대학교대학원박사학위논문.
11) 환경부(1996),『녹색환경의나라』건설을위한국가폐기물관리종합계획.
12) 환경부(2000), 국제환경동향과우리의대응.
13) 환경처, 과학기술처(1993),“ 온실기체감시기반기술 ”, 지구환경감시및기후변화협약예측기술1차년도보고서.
14) 산업자원부(1998), 전과정평가(LCA)의 데이터베이스(D/B) 구축기법및유지관리방안연구.
15) SETAC(1991), A TECHNICAL FRAMEWORK FOR LIFE-CYCLE ASSESSMENT, SETAC, Washington.
16) 松尾 陽(1993),“ 地球環境と建築 ”, Proceedings of the 4th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering and Management.
17) 石川 健治(1992),“ 建設業における地球環境問題への取り組み ”, 建築設備第4券第10號通卷第49號.
18) エコマテリアル研究會(1994), 日本におけるLCA研究の現況と將來の課題.
19) 일본건축학회(1999), 建物のLCA指針(案) -地球温暖化防止のためのLCCO2中心として-.