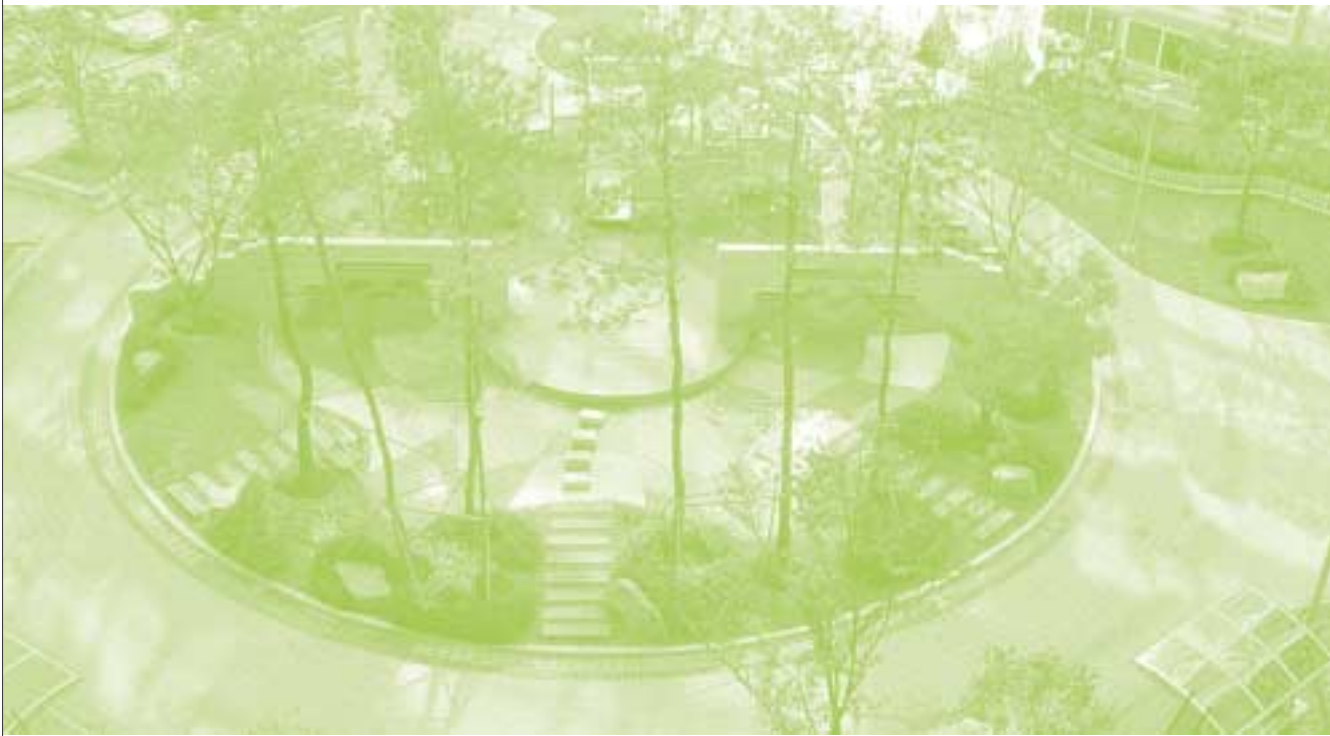


물순환형 공동주택단지를 위한 생태적 외부공간 조성기술

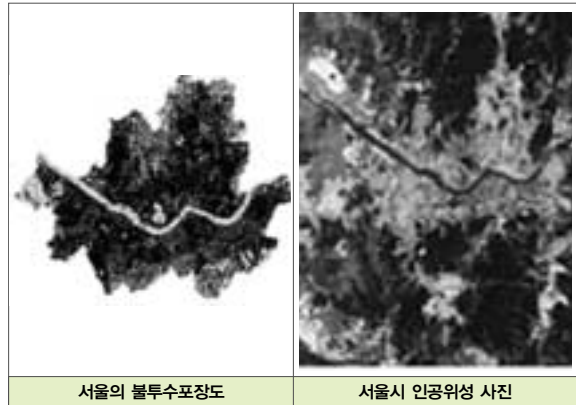
최근 도시화 문제로 거론되고 있는 것은 특히 환경적 측면으로서 자연과 더불어 살아가야 함을 인지함에 따라 생태적인 삶에 대한 요구도가 점차 증가하고 있다. 그러나, 도시는 자연강우의 흡수와 방출, 즉 물순환이 제대로 되지 않아 도시사막화, 도시홍수 등의 문제점을 안고 있다. 이에 물순환 체계를 회복하며, 생태적으로 외부공간을 조성할 수 있는 기술을 개발하기에 이르렀다.



01 서론

도시의 환경적 문제에 일조하고 있는 공간으로 공동주택단지, 주거복합단지 등을 들 수 있겠는데, 물순환형에 근거하여 계획, 설계, 시공된 예는 극히 드문 실정이다.

이를 위해 요구되는 요소기술을 열거하고, 각 요소기술의 특징과 그 사례를 위주로 설명하며, 강수(precipitation)를 단지 내에서 만이라도 순환할 수 있는 통합형 시스템을 구축하기 위한 방안을 제시할 것이다. 결론에서는 현재를 종합적으로 진단하고, 향후 기술발전 방향에 대해서 모색해 보려한다.



서울의 불투수포장도

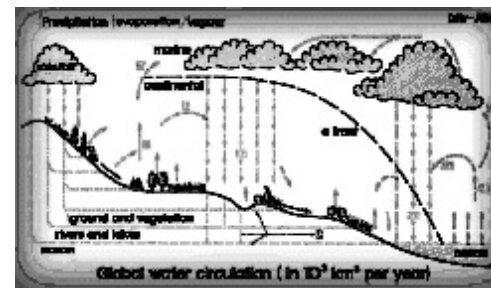
서울시 인공위성 사진

02 물순환형 통합적 시스템

2-1. 자연 물순환 체계

아래 <그림 1>과 같이 자연 물순환 체계는 강우시 표면을 따라 흐르는 물이 자연스럽게 토양내로 침투되어 토양생태계를 위한 용수로 쓰이다가 증발산, 하천유입 등을 통해 자연환원되는 것을 볼 수 있는데 이를 물순환체계라고 한다.

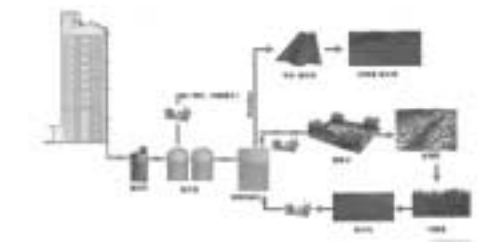
| 그림 1 | 자연 물순환체계



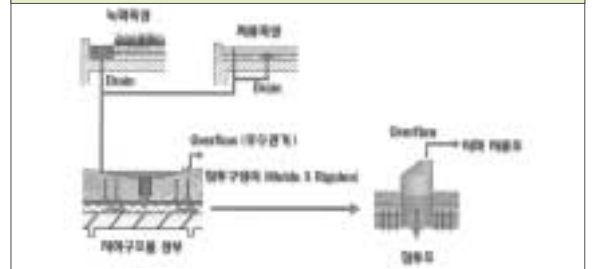
2-2. 물순환형 통합적 시스템

아래 <그림 2-1, 그림 2-2>은 물순환형 통합적 시스템의 2가지 예를 보여주고 있으며, 본문에서 소개할 기술은 옥상녹화, 벽면녹화, 우수저류조(지하), 생태연못, 정화연못 등이다. 도시홍수를 예방하게 되는 단계를 간단히 소개하자면, 건물옥상에 내린 강우가 옥상 녹화를 통하여 흡수, 배수 및 필터링이 되면서 1차 자연효과가 나타나며, 배수구를 통해 침전조, 저류조를 거치면서 우수가 저장되고(2차 자연효과), 오버플로우된 강우는 다시 단지내 우수지, 방류구, 연못 등을 거치며 3차 자연효과가 나타나게 되어 집중호우로 인하여 생기는 갑작스런 도시홍수도 적어도 단지 내에서는 예방할 수 있게된다.

| 그림 2-1 | 우수처리시스템 예1



| 그림 2-2 | 우수처리시스템 예2



03 생태적 외부공간 조성기술

3-1. 옥상녹화 기술

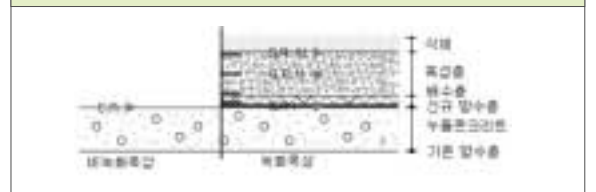
1) 옥상녹화의 효과

우수가 녹화된 건축물 지붕이나 옥상에 내리면 초기우수에 있던 먼지, 분진, 영양물질 등은 일차적으로 토양을 통해 여과가 되며, 토양에 흡수된다. 옥상녹화 면적이 클수록 최근 들어 증가추세인 집중호우, 국지성 폭우로 야기되는 지표수의 유입속도를 줄여 도시홍수를 예방할 수 있는 장점이 있다. 이렇게 토양에 흡수된 우수는 식물을 위한 토양수분이 되며, 주간에는 증발되어(증발산효과) 미기후 조절에 도움이 된다. 또한, 복사열로 인한 옥상의 온도상승도 녹화가 안된 옥상보다 20%~30% 온도저감효과가 있다. 최근 미국 시카고 환경국 측에 따르면 옥상녹화를 하였을 때 한여름 옥상온도가 화씨 160도에서 80도로 떨어지는 효과를 보았으며, 냉난방비를 25%정도 절감해주는 효과가 있었다. (메트로 06-01-25) 다음은 옥상녹화의 효과에 관한 구체적인 자료를 제시하였다. (출처 : 옥상녹화아카데미, 한국인공지반녹화협회, 2004)

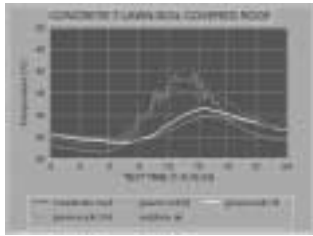
(1) 도시열섬현상 완화

- ① 일사의 반사 및 증발산 작용으로 도시 열섬현상 완화
- ② 여름철 한 낮, 보급형 옥상녹화시스템을 적용한 건물 외피면은 기존 옥상 표면에 비해 20℃ 정도 낮은 온도를 유지

| 그림 3 | 시스템 단면



| 표 1 | 누름콘크리트 옥상면과 녹화옥상면의 온도 비교



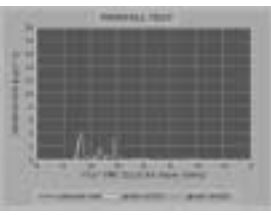
(2) 우수의 유출 억제로 도시 홍수 예방

토심 10cm의 보급형 옥상 녹화시스템은 20mm/m²의 강수량을 모두 저장할 수 있는 저수기능을 가짐

| 그림 4 | 우수유출저감효과 실험구



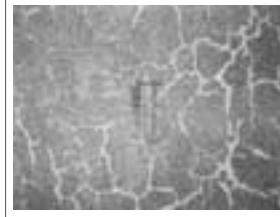
| 표 2 | 옥상녹화의 우수유출 효과 분석



- ① 예를 들어, 강동구 옥상녹화가능면적(9,579,400m²)에 10cm 보급형 옥상녹화시스템을 시공하였을 경우 약 19만 톤의 우수를 저장 가능¹⁾
- ② 옥상녹화는 도시 수문학적 관점에서 우수가 한꺼번에 유출되지 않게 지연시키는 효과와 함께 첨두유량을 감소시켜 도시홍수를 예방하는 기능을 가짐
- (3) 초기 강수에 포함된 오염 물질 여파로 하천 수질 개선
- (4) 생물서식공간의 조성
 - ① 조류의 체류(steping stones) 및 서식처 제공
 - ② 곤충의 서식처 제공
- (5) 공기정화
 - ① CO₂, NO₂, SO₂, HCHO, 벤젠, 분진, O₃, 중금속 흡수
 - ② 산소 방출
- (6) 건물의 내구성 향상
 - ① 건물 옥상 표면의 노화 방지
 - ② 방수층 보호 및 화재 예방
- (7) 냉난방 에너지 절약효과

보급형 옥상녹화시스템으로 건축물 옥상을 전면 녹화할 경우, 건물 냉난방에너지를 연간 약 16.6% 정도 절감 가능

| 그림 5 | 녹화하지 않았을 경우의 콘크리트 (크랙이 많음)



| 그림 6 | 녹화하였을 경우의 콘크리트 (크랙이 거의 없음)

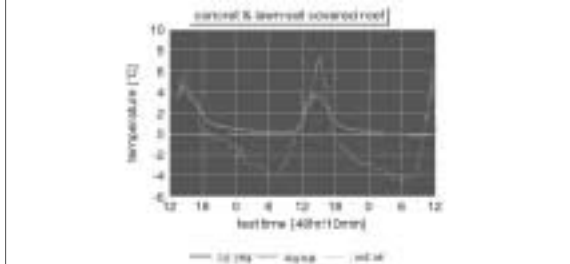


① 옥상 녹화에 의한 건물 냉난방에너지 절약 효과 기대치

구 분	1995년	2000년	2010년
냉·난방 에너지 소비 절약효과(TOE)	950,100	1,075,500	1,455,000
절감액	138,714,600 \$ (1,664.8 억원)	157,023,000 \$ (1,884 억원)	211,116,000 \$ (2,533.2 억원)

- TOE의 에너지 가격환산 기준 1TOE = 146\$(1barrel = 20\$기준)
- 국내 전체 건물 옥상을 30% 녹화할 경우
- ② 겨울철 건물의 보온 및 단열
- ③ 옥상녹화시스템은 여름철의 냉방에 효과적일 뿐만 아니라 겨울철 건축물의 보온과 단열에도 뛰어난 효과가 있다.

| 표 3 | 기존 및 녹화된 건물 옥상 표면의 온도 변화 비교

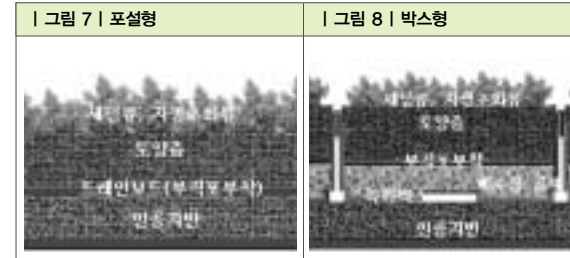


2) 옥상녹화의 특징

옥상녹화의 종류는 초경량형, 경량형, 중량형이 있는데, 이 중 초경량형은 기존 건축물에 적용하기 가장 알맞은 녹화방법으로 다음과 같은 특징이 있다. 하중부담의 최소화(100kg 미만/m²), 박층형 토양기반(13~18cm), 저토심형 내건성 식물(세덤류, 자생 초화류), 유지관리최소화(토양보수성, 내건성식물) 등이 있으며, 특히 식물로 적용되는 세덤류는 그 뿌리가 약하고, 뿌리깊이가 7~8cm로 방수층을 파괴하지 않으므로 건축물 내구성을 위해서도 점차 각광받을 식물소재이다.

1) 9,579,400m² × 20mm = 191,588,000mm m³ 191,588m³ ≈ 19만톤

(1) 저토심형 녹화공법 단면

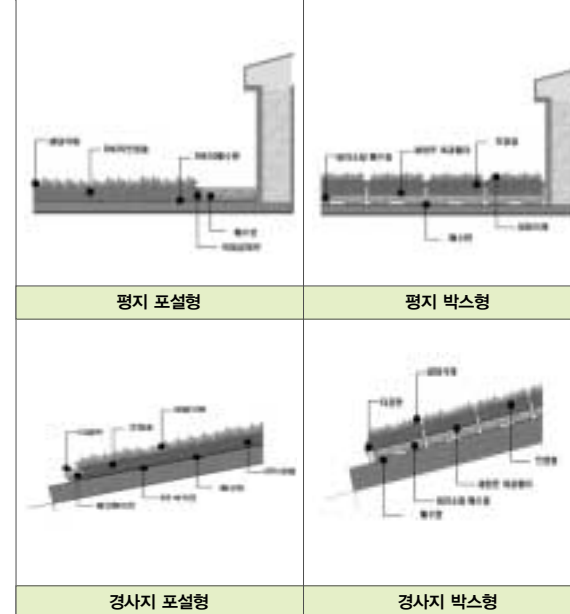


녹화공법은 포설형과 박층형이 있으며, 포설형은 대상지 위에 직접 시스템을 시공하는 방식이며, 박층형은 박층형태의 식재 기반에 미리 식물을 키워 대상지에 배치하는 방식이다. 아래 그림은 녹화대상지가 평지형인가 경사형인가에 따라 구분되는 시스템 시공방식의 단면을 나타내고 있다.

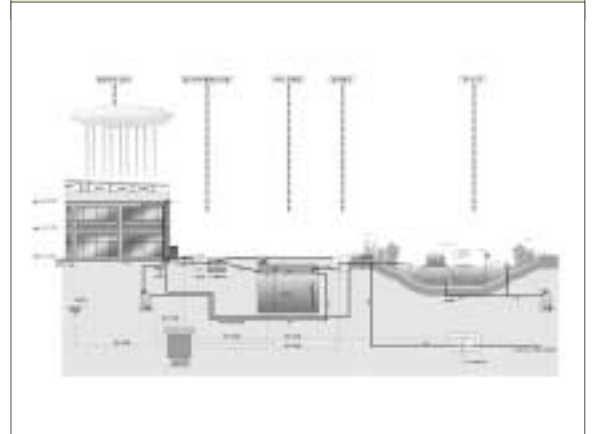
3-2. 우수저류 및 활용기술

지붕이나 옥상에 내려 옥상녹화를 거쳐 배수된 우수 중 초기 수분간의 오염된 우수를 제외한 나머지 우수는 수로관과 침전조, 우수통제시스템을 거쳐 우수저류조로 저장된다. 우수저류조에 저장된 물은 기계실을 통해 폭포, 우수지 등 다양한 수경요소로 활용되며, 필요시 관수용이나 청소용수로도 사용 가능하다.

| 그림 9 | 지붕 및 옥상층 우수저류모델



| 그림 10 | 우수활용계통도(대치동 동부센트레빌 사례)



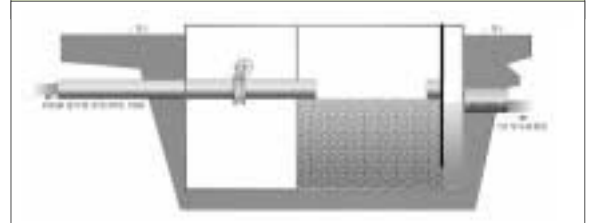
| 사진 1 | 우수를 활용한 우수지(대치동 동부센트레빌)



(1) 우수통제시스템

초기 수분간의 오염된 우수를 배제하고, 비교적 수질이 양호한 우수를 1차 정수 처리하기 위한 시스템으로 우수저류조에 침전물 및 부유물 등을 최소화함으로써 좀더 양호한 수질의 우수를 활용함은 물론, 우수저류조의 유지관리 비용을 최소화 하는 시스템이다.

| 그림 11 | 우수통제시스템 단면도

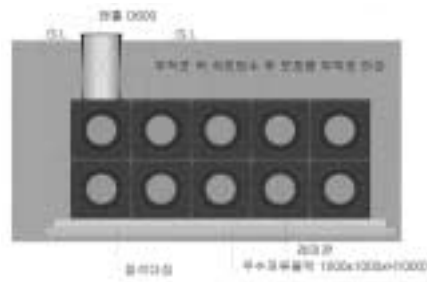


(2) 친환경적 우수저류조

P.E(polyethylene) 재질의 우수저류조로 재료의 재활용

(recycle)이 가능하여 친환경적이며, 조립식구조로 자체적인 구조적 안정성과 공기의 단축, 시공의 용이성 등의 장점이 있다.

| 그림 12 | 조립식 우수저류조 단면도



| 사진 2 | 친환경 조립식 우수저류조(부천남부하수처리장)



3-3. 생태공학 원리를 이용한 생태연못 조성기술

우수 또는 상수, 지하수를 이용하여 폭포, 연못, 계류, 분수 등을 조성하고 연못의 물은 생태적 수질정화 원리를 이용한 정화지에 의해 정화시켜서 다시 계류나 연못 등으로 순환시키는 기술로서 자원을 재활용하고 항상 깨끗한 수질을 유지하여 연못경관을 극대화 시키며 유지관리를 최소화 시키는 신 개념의 생태연못조성 기술이다.

| 그림 13 | 수질정화 시스템의 계통도



| 사진 3 | 생태연못(개포 GS자이)



| 사진 4 | 생태계류(개포 GS자이)



| 사진 5 | 생태연못(동부 센트레빌)

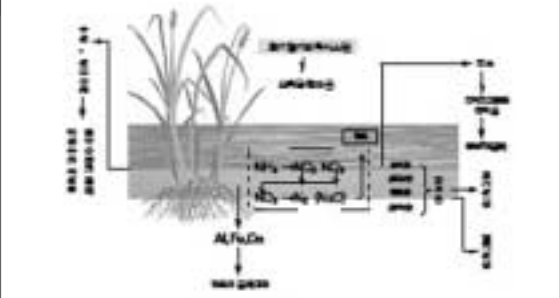


| 사진 6 | 생태계류(동부 센트레빌)



(1) 식물에 의한 수질정화 원리

| 그림 14 | 식물의 정화원리



- ① SS(부유물질)제거
 - 식물체가 존재하는 수역에 SS가 유입되면 식물체가 접촉제 구실을 하여 SS의 침강을 촉진시킨다.
- ② BOD제거
 - 식물은 그 자신이 직접 유기물을 제거하지 않지만 식물체에 많은 미생물들이 서식하며 그들이 유기물질을 제거하게 된다.
- ③ 질소 제거
 - 수역에 들어온 유기성 질소는 미생물에 의해 NH₄-N으로 분해되고 호기성 상태에서 질산균에 의하여 NO₂-N, NO₃-N으로 분해되어 이 무기염을 식물이 흡수하여 수역으로부터 제거된다. 수생식물은 대기의 공기를 뿌리를 통하여 토양에 공급 하여 질산화를 촉진하게 된다. 그러나 산소가 부족한 혐기성 상태에서는 NO₃-N은 N₂가스로 탈질화 되어 대기 중으로 방출된다.

④ 인제거

- 인이 수역에서 제거되는 주요인은 저질에 의한 흡착과 식물에 의한 흡수이다. 식물은 유기물을 직접 흡수하지 않으므로 수역에 유입한 유기인은 미생물에 의하여 PO₄-P로 무기화 되어 흡수가 이루어진다.

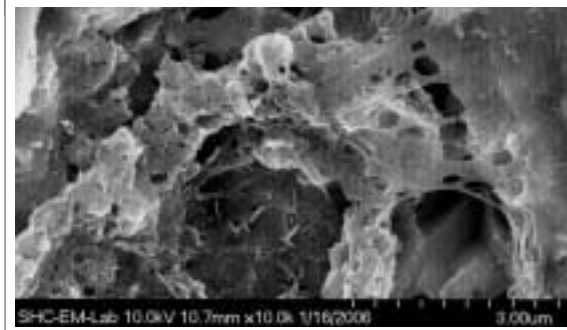
⑤ 기타작용

- 식물근락이 있으면 일광을 차단하여 "식물플랑크톤의 발생을 억제"하게 되며 또 어류의 서식과 새들의 서식처가 되어 주변 생태계를 다양화한다.

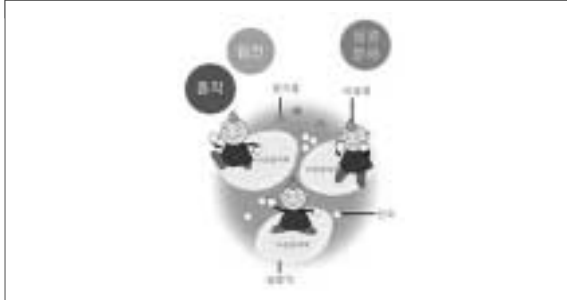
(2) 다공질여재(생물담체)의 정화원리

오염물질은 특수 코팅처리된 다공질 여재를 통과할 때에 침전, 흡착된다. 여과된 오염 물질은 다공질 여재 표면에 붙어 있는 미생물에 의해 산화 분해된다.

| 사진 7 | 다공질 수질정화여재(SHC-EM×10.0K)



| 그림 15 | 다공질여재의 정화원리



| 표 4 | 다공질 여재의 기능 및 용도

기능	용도
흡착	수질정화(폐수처리, 하천정화) 탈취(축산, 분뇨) 유해물질 흡착(농약, 다이옥신 등 토양오염 처리) 습도조절(건조제, 동결방지)
양이온 교환	농업, 원예(비료용, 옥상, 법면녹화기재, 사질토양 등의 보비성향상) 수질개선(농업용수, 양어장, 호소의 수질개선) 토질개선(산성비, 산성토양대책)
촉매활성	촉매(Nox분해, 페플라스틱의 유희, 기술린화)

(3) 생태연못 사례를 통한 수질 모니터링 생태학적 수질정화기술을 도입한 생태연못 국내사례 2개소(개포 GS 자이, 대치 동부센트레빌)를 모니터링 하여 수질의 상태를 파악하였다. 그 결과 호소수질환경기준 1~2급수를 유지하고 있는 것으로 조사 되었다.

| 사진 8 | 정화지(개포 GS자이)



| 사진 9 | 정화지(동부 센트레빌)



- 시험기간 : 2004년 4월~10월, 2005년 4월~10월
- 시험장소 : 개포 GS 자이 생태연못 1개소, 대치 동부센트레빌 생태연못 1개소
- 시험기관 : 한국생활환경 시험연구원

시험항목	단 위	시험결과	시험방법
COD	mg/L	2.0	수질오염공정시험법
BOD	mg/L	3.1	
SS	mg/L	1	
T-N	mg/L	불검출	
T-P	mg/L	불검출	

04 결론

현재 국내에서는 생태적인 외부공간 조성기술로서 옥상녹화, 생태연못, 정화연못, 우수저류조 등의 시스템들이 개발되어 점차 적용되고 있는 시점에 있으나 보다 효과적인 시스템 운영과 유지관리를 위해서는 각각의 기술들이 유기적으로 연계되어 우수의 저장과 효율적인 재활용을 통해 도시 사막화와, 도시홍수, 미기후 조절, 증발산을 높이는 등의 생태적인 물순환시스템의 통합적 시스템이 개발되어야 할 것이다.

향후 공동주택 단지를 위한 이러한 생태적 외부공간 통합시스템은 에너지 절약과 지속적인 생태공간의 확보, 수자원(우수)의 효율적인 이용이 가능하여 소비형 단지개념이 아닌 자급자족형 단지개념으로 점차 바뀌어 나갈 것이다. S