

I. INTRODUCTION AND BASIC CONCEPTS

1. 강의 개요:

see 강의계획서

(1) 담당교수

(2) 교재

(3) Term paper



2. 환경공학 (Environmental Engineering) 이란?

2.1 공학 (혹은 과학기술) (Engineering) 이란?

- (1) the profession (전문직, 예, 변호사, 의사, 성직자, 교사 등 학문적 소양을 필요로 하고 사회적으로 인정하는 자격을 소지한 직업으로 “occupation”과 구별됨)
 - (2) based on the knowledge of the mathematical and natural sciences
 - (3) gained by study, experience, and practice
 - (4) to utilize economically the materials and forces of nature
 - (5) for benefit of mankind
- defined by 미국과학기술교육인증원 (Accreditation Board for Engineering and Technology: ABET)

2.2 Key Words of Engineering

- (1) 인간 (Human)
- (2) 시스템 (System)
- (3) 설계 (Design)
- (4) 제작 (Manufacturing)
- (5) 유지관리 (Maintenance)
- (6) 합리적이고 실현 가능한 해답 (Reasonable and Feasible solution)

2.3 Professional (전문직)의 속성

- (1) 미국의 인구조사국
 - Professionals (전문직)이란 특별한 기술, 지식 및 정신적 집중을 요하는 활동을 직업으로 하는 사람들 (예, 회계사, 건축가, 예술가, 변호사, 성직자, 의사, 언론인, 교사, 과학기술자 등)
- (2) 과학기술 발전협의회
 - 사회의 필수적인 이익을 만족시켜야



- 재량적 판단을 행사하고 어떤 표준에 지배되지 않는다.
- 특정분야의 교육과 실습을 거쳐서 획득한 높은 수준의 과학지식 및 기술적 능력
- 과학기술의 발전과 사회적 봉사라는 전문가로서의 이상과 동업자 집단 의식을 소유
- 법적 지위와 사회적 허가

(3) Ernest Greenwood

- **Body of Theory** (체계적 이론)
- **Authority** (전문적 권위): **customer** (고객)은 자신이 원하는 서비스 혹은 상품의 좋고 나쁨을 자신이 결정하는 반면에 **client**(의뢰인)은 서비스의 좋고 나쁨에 관해 전문가의 판단에 맡긴다.
- **Licensing, Monopoly** (사회의 허가 및 독점): **Relative Immunity** (상대적 면책특권)과 **Peer Review** (동료들에 의한 평가)
- **Code of Ethics** (윤리강령): 전문직의 권위와 독점권은 윤리적으로 타당할 때, 비로서 사회적 인정 가능, 구성원에 대한 내부 규율 필요.
- **Professional Culture** (전문가 문화): 예, 전문직 교육기관의 교육기간을 통해, 전문가 문화에 비추어 비정상적으로 예상되는 사람을 배제. 구미 국가가 동업자단체를 중심으로 사회의 신뢰를 업기 위해 전문가로서의 도덕성을 강조해 온 전문가 문화와 우리나라와 일본과 같이 처음부터 국가에서 전문가 자격증을 부여해 온 전문가 제도와는 전문가 문화에서 큰 차이가 발생함

토목인의 윤리강령(대한토목학회)

1. 사회복지에 공헌한다.
2. 자질향상과 기술발전에 진력한다.
3. 기술자로서 양심과 명예를 존중한다.
4. 안전을 제일로 한다.
5. 환경보전에 최선을 다한다.



6. 제 법규와 기준을 준수한다.
7. 기술적 불합리를 적극 시정한다.

Homework: 대한토목학회의 윤리강령과 미국 ASCE (American Society of Civil Engineers)의 Code of Ethics 을 조사하고, 두 기관의 윤리강령을 비교 분석해 보시오.

2.4 한국공학교육인증원 (Accreditation Board for Engineering Education of Korea: ABEEK)

- (1) 공학교육의 내실을 다지고 시대적 환경변화에 부응하는 창의적인 과학기술자들을 배출하기 위해, 공학교육관기구 (예, 전국공과대학장협의회 등), 공학전문학회 (예, 대한토목학회, 대한환경공학회 등), 산업체, 정부(예, 산업자원부) 등의 협조로 발족한 비영리 사단법인으로서 우리나라 공학교육에 대한 전문인증기구임.
- (2) ABEEK 에서 요구하는 공학도로서의 구비 능력 (미국 ABET 에서 제시하는 사항과 동일)
 - 수학, 과학, 공학지식을 응용할 수 있는 능력
 - 자료를 이해, 분석하고 실험을 계획/수행할 수 있는 능력
 - 시스템과 요소, 프로세스를 적절히 설계할 수 있는 능력
 - 다학문적 팀을 이루어 기능할 수 있는 능력
 - 공학문제를 인식하고, 공식화하고 해결할 수 있는 능력
 - 직업적, 도덕적 책임에 대한 이해
 - 효과적으로 의사를 전달할 수 있는 능력
 - 전 세계적인 관점에서 공학적 해결 방안이 끼치는 영향을 이해하기 위해 필요한 폭넓은 교육
 - 평생교육에 대한 필요성 인식과 평생교육에 참여할 수 있는 능력
 - 동시대 논점에 대한 지식
 - 기술, 공학 현장에 필요한 현대적 공학 도구를 사용할 수 있는 능력

(3) 공학 교육 프로그램의 분류 (가나다 순)

- 건축학
- 건축공학
- 조경학
- 생물공학
- 섬유공학
- 원자력, 방사선공학
- 재료공학
- 전기, 전자, 정보공학
- 토목공학 (구조, 수공, 토질, 건설관리, 환경, 교통, 공간정보 등 7 개 분야 중 최소 4 개 이상의 전공분야를 기본적으로 포함해야 함. 이는 외국과의 상호인증을 고려하여 ABET 과 동일하게 설정)
- 화학공학
- 환경공학

(4) 미국 ASCE BOK (Body of Knowledge) Committee 에서 제안하는 토목공학도로서의 구비 능력

- an ability to apply knowledge in a specialized area related to civil engineering
- an understanding of the elements of project management, construction, and asset management
- an understanding of business and public policy and administration fundamentals
- an understanding of the role of the leader and leadership principles and attitudes

(5) 구미 30 여개국에 구축된 국제적공학교육 인증기관 Network 에서 인정하고 있는 미국과학기술교육인증원 (ABET)의 기준에 상응하는 공학교육인증 기준을 독자적으로 설정하여 인증 중임.

(6) ABEEK 기준의 특성

- A. 전공분야 별 인증
- B. 연구요소보다는 교육요소의 충실성에 치중



- C. 인증여부만 결정 (등급이나 서열은 결정하지 않음)
- D. 자발적 참여를 기조 (예, 우리나라의 경우, 2000년 2개 대학교가 참여; 미국 ABET의 경우, 공학계 대학의 95%가 참여 중)
- E. 기본 목적이 순위 평가가 아니라, 공과대학이 학생들에게 공학현장이 필요로 하는 능력 및 자질을 배양하도록 유도하는 것이므로, 현장으로부터 의견을 수렴하여 평가 기준을 도출

2.5 Environmental Engineering의 형성

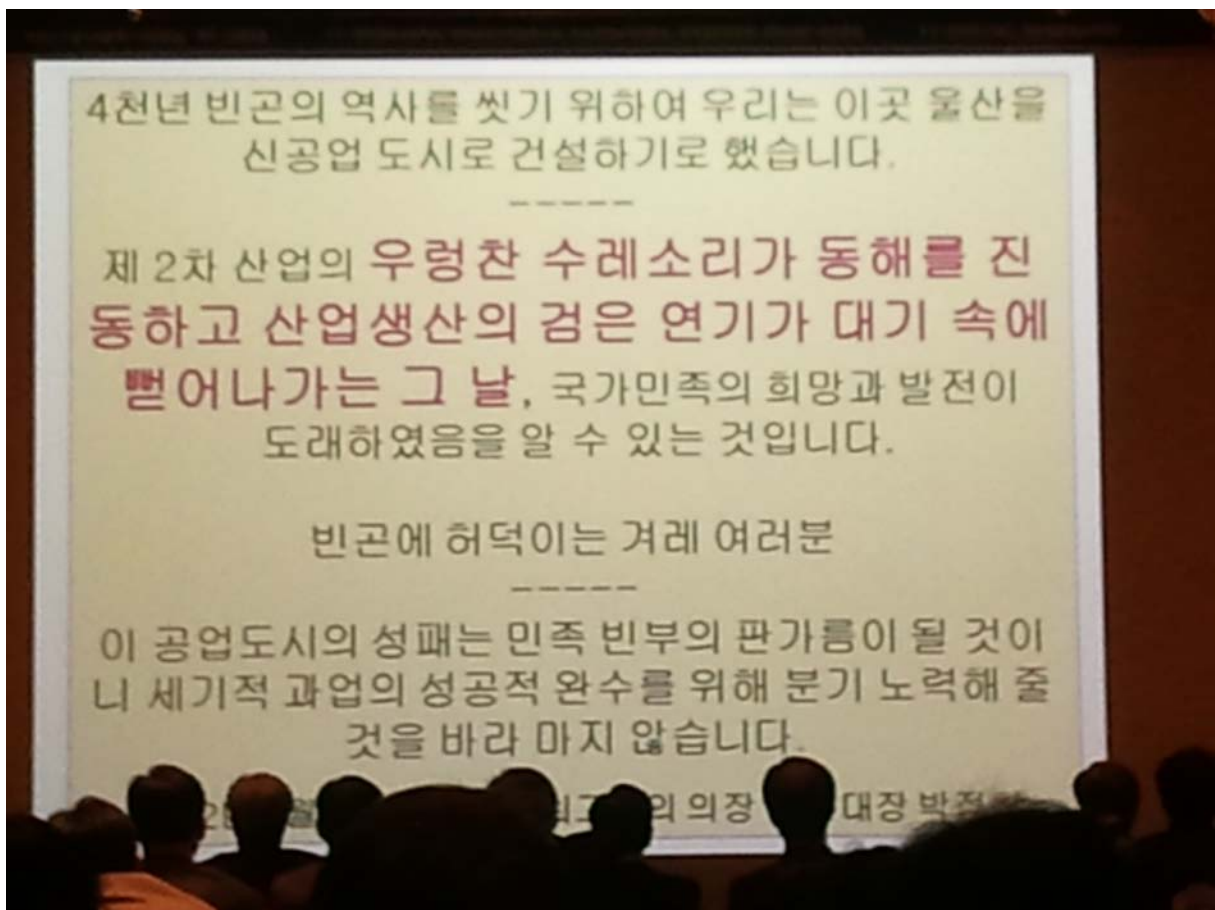
- (1) Civil Engineering (see Figure 1-1, p.3) : Code of ethics
- (2) 고대, Builder (성곽, 해자, 투석기, 수도교 등 건설)
- (3) 1802. Military Academy at West Point: 현대적 의미의 과학기술 교육기관 (탄약, 폭약, 대포 등 주로 군수물자의 제조와 도로, 교량, 운하 등의 건설에 관한 과학기술을 교육)
- (3) 17C 중반, Military Engineering vs. Civil Engineering (도로, 교량, 건물, 철도, 상하수도 관거 등 설계 및 제작. 독학 또는 사관학교에서 교육).
- (4) 19C 후반, 수인성 전염병 문제 발생 후, 상하수도시설의 필요성 대두, Sanitary engineer (미국), Public-health engineer (영국) 등
- (5) 20C 중반, 보다 복잡하고 다양한 환경문제 대두
정수장 및 하수처리장의 설계에서 환경적 피해의 복구 및 오염원 제어로 영역이 확대되는 과정에서 Sanitary engineering에서 Environmental engineering로 변화. 즉, 전통적인 수처리 영역에서 폐기물 관리, 소음 진동 관리, 방사성 폐기물 관리, 온실가스 제어 등 다루어야 할 영역도 확대, 정수장이나 하수처리장에서도 전통적인 오염물질보다 오염물질의 종류나 독성이 훨씬 다양하고 복잡해짐.
- (6) 차세대 환경공학 교육
 - ABEEK의 기준은 전통적인 공학 교육의 기준 (Sanitary Engineer)
 - Sanitary Engineer 양성 과정은 Environmental Engineer 양성을 위해 충분한가? Environmental Engineer 교육을 위해서는 전통적인 공학기



술자 교육에 환경매체에 대한 이해, 화학적 기초, 독성학 등에 대한 기초 교육이 포함되어야 하고 이러한 내용은 Sanitary Engineer 교육 과정을 넘어서는 부분.

- Environmental Engineer 교육과정은 오염물질의 사후 처리와 더불어 오염물질의 원천 제어를 포함하여야 한다. 이를 위해서는 오염물질을 발생시키는 산업계나 생활계 시스템에 대한 충분한 이해가 필요 (Green technology, 청정기술)
- 현재의 환경공학 교육과정은 대체로 토목공학 중심 체제와 화학공학 중심 체제로 구분할 수 있으나, 어느 한쪽에 치우친 4년의 교육으로는 차세대에 필요한 환경공학기술자 양성이 불가능

(7) 환경문제 인식의 역사



2.6 Environmental Engineering 의 정의

2.7 Environmental Engineer

로마인 율리우스 푸론티누스 (Sextus Julius Frontinus)는 AD 97 에 로마의 수로관리청 장관에 임명되었다. 그가 저술한 “The Aqueducts of Rome, 로마의 수로”는 오늘날에도 훌륭한 과학기술자, 공직자의 길을 가르쳐 주고 있다.

“내가 시민의 편의, 건강, 안전과 관련된 수로관리 장관으로 임명된 이상, 내가 가장 먼저 해야 할 일은 내가 맡은 일을 숙지하는 것이고, 가장 중요한 것은 직책 수행원칙을 정하는 것이다. 이와 같은 기본없이 해야 할 일과 하지 말아야 할 일을 판단할 수 없다. 나는 직책을 수행할 때마다 실제의 경험을 책으로 기술하였고, 그 직책을 떠날 때는 후임자에게 그 저술의 이용에 관해 조언하였다. 이 책도 후임자에게 유용할 것이지만, 특히 자신의 업무 수행 지침으로 활용하기 위한 것이다.”

2.8 Environmental Engineering 의 분야

- (1) provision of safe
 - (2) palatable and ample public water supplies
 - (3) proper disposal of or recycle of wastewater and solid wastes
 - (4) control of pollutions
- 이상이 major 분야이고,
- (5) adequate drainage of urban and rural areas
 - (6) social and environmental impact of solutions
 - (7) public health (control of arthropod-borne diseases, elimination of industrial health hazards, provision of adequate sanitation, etc.)
 - (8) effect of technological advances on the environment
 - (9) etc.

2.9 Sustainability(지속가능성)

- Pollution prevention by the minimization of waste production



- Life cycle analysis of our production techniques to include built-in features for extraction and reuse of materials
- Selection of materials and methods that have a long life
- Selection of manufacturing methods and equipment that minimize energy and water consumption

2.10 Environmental Regulations

A *pristine environment* is a setting in which the composition of the environmental fluids not significantly impacted by human activities. Pristine environments are not free of contaminants, and it is not the goal of environmental engineering to create a pristine world. We have to design and operate treatment processes and emission control facilities to meet *environmental quality standards*. Although environmental standards is a political activity, the input of environmental engineers is essential to the development and presentation of accurate information on the technical options for control and the associated costs. Society cannot make a decision about whether or not there should be environmental contaminants; we can only decide what levels of pollution are acceptable.

3. Environmental Systems

system = interrelated parts, affects one another, etc.

Real system → fair approximation → Simplified model
 Solution for real system ← transformation ← Solution for model

Pollution problems

- (1) Single-medium problem: confined to one system, e.g., air, water, or soil
- (2) Multimedia problems: not confined to one system but cross the boundaries from one to the other

3.1 Water Resource Management System

4.1.1 Water Supply Resource System

see Fig. 1-6, p.13

collection (취수), transmission (도수), treatment (정수), and distribution (배수)

average daily water consumption vs. peak demand rate => storage reservoir (배수지)

for example,

maximum daily consumption rate = 2.2*average daily, and

peak hourly consumption rate = 5.3*average daily

3.1.2 Wastewater Disposal System

see Fig 1-8, p.16

WWTP (wastewater treatment plant, 하수종말처리장)

POTWs (public owned treatment plants)

Quantity of sewage = f (water consumption)

however, infiltration and inflow (I&I) especially during rainstorms.

Sewers(관거) (1) sanitary (하수관), (2) storm (우수관), and (3) combined (합류관)

lift station : when the gravity flow is not possible or sewer trenches become uneconomically deep

3.1.3 Air Resource Management System

Differences of air resource from water resource

(1) quantity = free of charge



(2) quality = no pretreatment before we use it

Elements in the air resource management : see Fig 1-5, p.14

3.1.4 Solid Waste Management System

see Fig. 1-6, p.15

배출, 수거, 적환, (중간)처리, (최종)처분

not only waste isolation and disposal but also resource and energy recovery

Environment Management Systems

(1) Goal

(2) Cost vs. Benefit

4. Basic Concepts

4.1 Material Balance

Material balance (or Mass balance)

In an environmental system,

Amount of Accumulation = Amount of Input – Amount of Output

Rate of Accumulation = Rate of Input – Rate of Output

Completely mixed systems

Steady state (i.e., the rate of accumulation is zero.) 정상상태

If there is any sink or gain term (i.e., conversion or transformation) ?

Rate of Accumulation = Rate of Input – Rate of Output +/- Rate of Transformation

see Example 1-3, p. 38

4.2 Engineering Analysis

Key three steps

- (1) Translate the physical system into a mathematical representation
 - a. Identify and specify symbols to represent the unknowns
 - b. Identify and quantify the known parameters and variables in the system
 - c. Identify and write relationships based on the physical, chemical, or biological principles that link the unknowns to the knowns (For the problem to be fully specified, there must be one relationship for each unknown, and these relationships must be independent of one another).

- (2) Solve the mathematical problem to obtain the result
A pure mathematical step.

- (3) Interpret the significance of the result for the physical system
 - a. What is the significance of this result? (Or, What does this answer mean?)
 - b. Is the result I expected? (If yes, you have a basis for increased confidence in your understanding; If no, you should review your work and think more carefully about the system)

4.3 Precision and Accuracy

Precision (정밀도): repeatability with little variability

Accuracy (정확도): relationship between the average value of observations and the goal

- Engineers do not generally seek accuracy or precision that is much greater than necessary because we have to seek to consider the economic feasibility.
- Quantitative results in environmental engineering rarely have less than 1% error and seldom have less than 10% error.



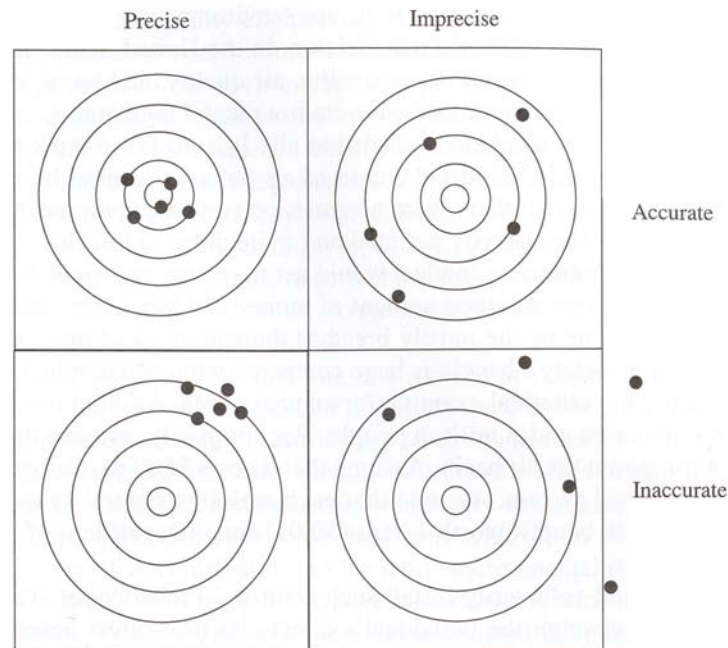


Figure 1.C.5 Sharpshooter's targets, illustrating the concepts of precision and accuracy.

Precision

$$RPD = \frac{(A - B)}{(A + B)/2} \times 100$$

where RPD (상대표준편차백분율) = relative percent difference

A: 큰 측정값

B: 작은 측정값

경고기준: $\pm (x + 2s)$

관리기준: $\pm (x + 3s)$

where x = average of observed data more than 20

s = standard deviation of the observed data

Accuracy

$$\%R = \frac{\text{측정값}}{\text{참값}} \times 100$$

where R: 회수율



경고기준: $\pm (x + 2s)$

관리기준: $\pm (x + 3s)$



5. 환경주의와 환경산업

- 5.1 현대 환경주의의 전개
- 5.2 국제사회에서의 환경주의
- 5.3 환경의 범위
- 5.4 환경기술
- 5.5 환경산업의 분류
- 5.6 환경산업의 미래

환경분야 정책과 가치관의 변화과정은, 공해시대에서 미량오염시대를 거쳐 생태소비시대로 이어질 것으로 예상된다. 공해시대란 말 그대로 공해와의 싸움을 벌이는 시대이다. 이 시대에 환경공학의 역할은 오염물질이 환경매체로 유입되는 end point에서의 오염물질 저감 기술로 기여하였다. 정수장, 하수 및 폐수처리장, 쓰레기 위생매립장 및 소각장, 대기오염방지시설 등의 설치로 공단이나 대도시에서 배출되는 대량의 오염물질에 대한 관리가 어느정도 가능해짐에 따라 극도로 미량의 화학물질들이 일으키는 미세한 건강상의 피해에 대해 관심이 이동하는 미량오염시대로 이어졌다.

대부분의 소비재들을 즐기기 위해서는 다른 사람들과의 경쟁이 불가피하다. 그러나, 생태소비시대의 자연 소비나 경관 소비는 다른 사람들과의 경쟁이 없으며, 있다 하더라도 극히 제한적이다. 환경재의 또 다른 특징은 싫증이나 권태감이 쉬이 생기지 않으며, 한번 투자하여 만들어진 환경재는 내구성마저 극도로 크다. 잘살게 될수록 자연재를 찾는 욕구는 높아진다. 멀지않은 미래에는 국민 삶의 질을 향상하는 데에 환경재, 생태재, 자연재에 대한 투자가 투자 대비 가장 효율적이며, 환경공학의 발전 방향도 이에 따를 것이다.

2008년말 미국 공학한림원은 미국과학재단(National Science Federation, NSF)의 요청으로, 인류의 삶의 질 향상을 위해 해결되어야 할 21세기의 14가지 공학적 도전 과제를 발표하였다. William Perry(前 스탠포드대 교수), Mario Molina(노벨상수상자, 캘리포니아대 교수), Larry Page(구글 창립자) 등 전 세계

다양한 분야의 전문가 18명으로 구성된 위원회는 웹사이트(www.engineeringchallenges.org)를 통해 일반 대중들의 의견도 수렴하였다. 도전과제의 발굴은 지속가능성(Promoting sustainability), 건강증진(Advancing health), 위험 감소(Reducing vulnerability to risk), 행복한 삶(Increasing joy of living)이라는 4개 관점에서 도출되었다. 이상 4개의 관점을 보더라도 앞으로 인류에게 주어진 가장 시급한 공학적 과제들의 방향성이 예상되며 환경공학의 미래도 이와 크게 다르지 않을 것이다. 도출된 14개 도전과제는 아래와 같다.

Promoting sustainability(지속가능성): 1. 경제성 있는 태양에너지 실용화 2. 탄소 격리 3. 핵융합을 통한 에너지 공급 4. 깨끗한 물 확보 5. 질소 순환 관리 6. 도시 기반시설의 재건 및 개선 7. 과학연구를 위한 도구 개발

Advancing health(건강증진): 8. 개인맞춤형 신약 개발 9. 의료 정보학 10. 인간의 뇌에 대한 역공학(Reverse-Engineering)

Increasing joy of living(행복한 삶): 11. 개인맞춤형 학습 프로그램 12. 가상현실 활용

Reducing vulnerability to risk(위험감소): 13. 핵무기 테러 예방 14. 사이버공간의 보안

이상 14개 도전과제 중, 환경공학 분야에서 다루어질 수 있는 과제들에 대해 주요 내용과 연구동향에 대해 좀더 상세히 살펴 보자.

탄소격리(Develop carbon sequestration methods): 화석연료의 연소를 통해 발생하는 CO₂를 포집하여 땅 속이나 바다에 저장하는 기술이다. 지구온난화 방지에 기여할 뿐 아니라 관련 기술을 발전소 및 철강, 석유화학산업 등에 응용함으로써 경제적 과급효과도 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

깨끗한 물 공급(Provide access to clean water): 지구상의 물 중 97%에 해당하는 바닷물에서 염분을 제거하는 담수화기술이 현재 주로 중동지역 등에서 활용되고 있으며, 분리막을 이용한 역삼투압 기술 및 나노튜브를 이용하여 염분을 걸러내는

나노삼투압 기술(비용이 보다 저렴) 등이 개발되고 있다. 나노필터막을 이용한 폐수, 하수 재처리 기술 및 농업용수 소비량을 저감시킬 수 있도록 작물에만 물방울이 떨어지게 하는 세류관개 (drip irrigation) 기술 등도 개발 중이다.

질소 순환 관리(Manage the nitrogen cycle): 곡물의 대량 생산을 위한 질소가 포함된 화학비료의 과다 사용과 화석연료의 사용 등으로 산성비 등의 환경문제 뿐 아니라 심각한 질병을 초래할 가능성이 있어 질소 사용을 최소화하기 위한 기술이 필요하다. 질산을 질소 가스로 환원시켜 대기 중으로 돌려보내는 '탈질화(denitrification)' 및 질소 사용의 효율성 향상을 위한 기술개발이 추진이다.

도시기반시설의 재건 및 개선(Restore and improve urban infrastructure): 사회적 약자(장애인, 노약자 등)를 배려한 장애물 없는 도시환경 구현기술, 도시공간의 재배치 기술, 폐기물 처리 기술, 도시형 종합 에너지시스템 개발, IT(RFID 등)를 활용한 도시체계 재설계 등과 관련된 기술이 핵심 내용이다.

자연은 인간의 무지와 태만에 대해 엄정한 대가를 반드시 치르게 한다. 인류의 안전하고 쾌적한 삶을 위한 자연의 개발도 지나치면 해가 된다. 인간 개인의 삶은 유한하지만, 인류의 삶은 무한해야 한다.