

<학술기사>

水資源開發의 環境影響 評價方法

李吉成*

1. 머릿말

環境惡化에 따른 위기감, 環境保存에 대한 관심과 필요성의 대두, 大規模 開發事業에 따른 環境影響 評價制度의 의무화 등의 重要 事案(issues)은 環境影響을 고려한 開發計劃을 요구하고 있다. 국토개발의 측면에서 수자원 개발사업은 종합적인 계획과 관리가 필요하며, 環境保存의 측면에서 수자원 개발사업에 따른 環境影響의 豫測 評價, 惡影響의 저감방안 구성, 環境保存計劃 등이 필요하다. 이러한 배경에서 수자원 개발계획의 기본원리와 지침, 環境影響의 分析과 評價, 環境影響 評價方法의 비교·분석을 통하여 바람직한 環境影響 評價制度의 정착을 위한 기본 방향을 提示하고자 한다.

2. 수자원 개발의 原理와 指針

2.1 설정목적과 계획수준(Planning Levels)

수자원 개발계획의 기본 原理(principles)는 계획활동의 광범위한 정책적 골격/framework)을 제시하는 것이고, 基準(standards)은 代案事業(alternatives)의 구체적인 구성과 正·負效果의 측정·비교·판단시 一貫性(consistency), 一樣性(uniformity)을 제시하기 위한 것이다(Eisel, et al., 1982).

수자원 개발계획은 사업목적과 사업대상지역의 규모에 따라 다음과 같은 세가지의 계획수준이 결정된다(WRC, 1980).

- 골격계획 (framework planning) 수준 : 국토계획 수준
- 하천유역계획 (appraisal planning) 수준 : 最適 建設過程 제시 수준
- 사업시행계획 (implementation planning) 수준

2.2 국가적 목적(National Objectives)

미국의 경우 수자원 개발은 NED(National Economic Development) 목적(국가의 경제발전을 보호·향상 : 국가경제의 효율성 목적), EQ (Environmental Quality) 목적(環境狀態의 보호·향상 : 環境의 屬性 목적)의 두가지 항목으로 법령화(Water Resources Planning Act, 1965)되어 있는 반면, 저개발국가의 수자원 개발은 식량생산의 증가, 지역개발의 촉진·조장, 운송체계의 개선, 안전한 용수공급, 소득의 재분배 등의 사항에 목적을 두고 있다.

2.3 대안사업계획(Alternative Plans)

국가적 목적을 달성하는 수단으로서 기본적으로 요구되는 대안사업계획은 다음과 같다.

*서울대학교 土木工學科 부교수

가. 국가경제 개발계획 (NED Plan)

NED 목적에 대한 純 공헌도를 최대화하는 계획

나. 環境狀態 보존계획 (EQ Plan)

EQ 목적에 대한 純 공헌도를 최대화하는 계획

다. 非構造的 計劃 (Non-structural Plan)

구조적 사업이나 계획에 대한 대안이 고려될 때 마다 완전한 또는 부분적인 候補計劃으로 구성되어 포함되는 계획

2.4 효과계정 (Effects Accounts)

다음 4개의 계정이 대안사업계획의 影響에 관한 정보를 구성하는데 사용된다. 각 계정에 있어서 대안의 효과는 'with' 계획에 의해 도출된 조건과 'without' 계획에 의해 도출된 조건에 따른 차이에 의한다.

가. NED 계정

나. EQ 계정

다. RED (Regional Economic Development) 계정

라. OSE (Other Social Effects) 계정

2.5 계획과정 (Planning Processes)

수자원개발의 계획과정은 다음 6단계 (steps)로 구성되는 다양한 단계를 반복하는 動的過程이다 (그림 1).

1단계 : 수자원개발의 문제 (problems)와 사용기회 (Opportunities)를 인지

2단계 : 사업 계획지역내에서 수자원의 상황·조건 (database)을 명시, 분석

3단계 : 대안사업계획의 構成

4단계 : 대안사업계획의 評價

5단계 : 대안사업계획의 比較

6단계 : 순편의 법칙 (net-benefit rule)에 의한 추천계획의 선택

특히 EQ 목적의 경우 범위설정 (scoping)·자원 명세 (inventory)·평가 (assessment)·鑑定 (appraisal)의 4 수순 (phases)을 상세도에 따라 반복 시행한다

3. 개발사업에 따른 環境影響分析

3.1 環境影響分析의 배경과 목적

環境影響分析을 위한 연구절차를 구성할 때 既存 環境體系, 體系-體系 또는 체계-인간간의 관계에 대한 양적·질적 특성, 人間과 環境과의 관계개선을 우선적으로 고려하여야 한다 또한 人間과 環境사이의 적합성 (compatibility) 달성을 위하여 제안사업에 대한 자료의 蒐集·評價에 대한 질서있는 과정과 環境影響評價書에 포함될 정보 등의 내용이 필요하다.

3.2 環境體系 (Environmental Systems)

環境은 물리적, 인간/사회적, 경제적 인자로 명백하게 구분하는 것이 어렵지만, 개발사업의 설계에서 일반적인 環境의 副體系 (subsystem)는 다음과 같

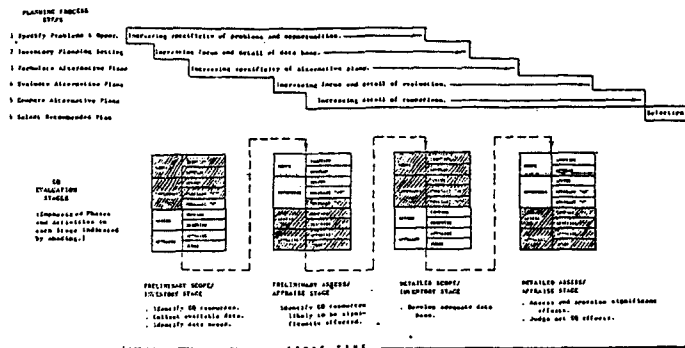


그림 1. 계획과정의 단계

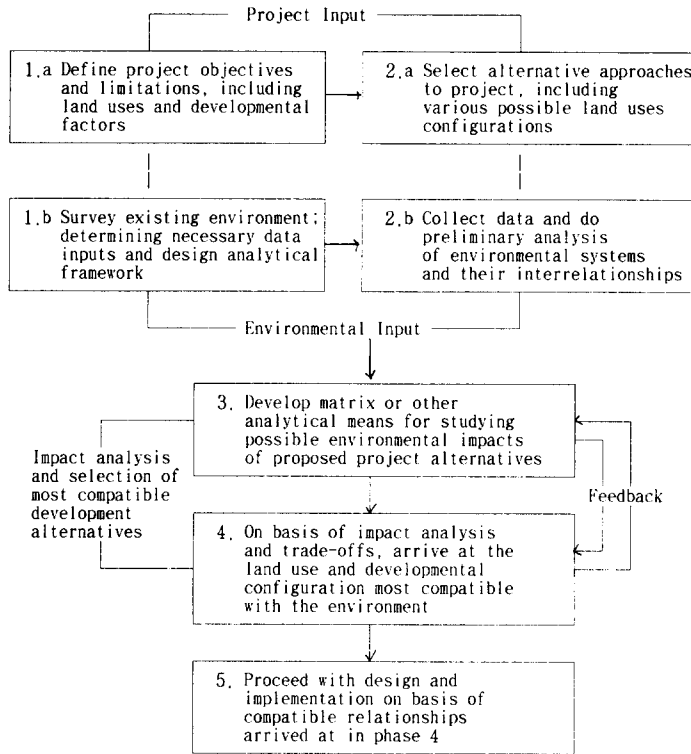


그림 2 개발사업의 설계과정 (CCC, 1972)

이 분류 (grouping)되며 분류항목은 상호배타적 (mutually exclusive)이 아니다 (California Council of Civil Engineers & Land Surveyors, 1972).

가. 물리적 체계 : earth, water and air;

biological phenomena ;

man-made systems,

나. 인간/사회적, 정치적, 문화적 관계와 가치

다. 개발사업의 손익을 결정하는 경제적 관계

3.3 環境的 設計過程 (Environmental Design Processes)

環境影響分析을 계획과정에 포함하는 개발사업의 環境的 設計過程은 다음과 같이 5 단계로 구분된다 (그림 2).

1단계 : 정부, 사기업, 공공단체가 개발사업을 시작 시행단체의 목표에 의하여 사업의 일반적 골격 (framework)을 형성

2단계 : 개발사업 참가자와 계획규정 (game rule)의 결정 계획에 부여된 기회와 정치·경제·사회적 제약의 설정

3단계 : 자료수집과 環境影響研究

- 인간적 (사회적·경제적) 및 물리적 (비인간적) 環境體系 (environmental systems)의 진화과정
- 개발사업의 대안 (development alternatives)
- 위 사항들의 상호적합성 (mutual compatibility)

4단계 : 참가자가 자료분석에 근거하여 개발여부를 결정

개발시 가장 적합한 토지사용과 개발형태의 결정에 따른 설계골격 (design framework)의 형성

5단계 : 구체적인 계획에 環境影響 고려사항을 반영
개발사업 시행은 環境影響에 기여

3.4 環境影響評價 (書)의 내용

1969년 미국의 環境政策法(NEPA : National Environmental Policy Act)에서는 人間環境에 重大한 影響을 미치는 모든 정부활동(-정부주도 개발 사업)에 대하여 環境影響分析에 근거한 環境影響評價書의 작성내용에 포함될 기본적인 사항을 규정하였다(표 1).

3.5 環境影響評價의 節次(Wright, et al., 1987)

가. 범위설정 - 수행될 評價의 시·공 境界범위를 설

정

나. 상호작용(interaction)의 인식

다. 흐름도 작성 - 環境影響의 확대방향 기술

라. 指標(indicator), 특성 설정 - 적합한 環境指標 설정

마. 상호작용의 분석

바. 影響의 순위(ranking) 결정

사. 影響의 評價

표 1 CEQ에서 규정한 EIA/EIS 목차의 개요(Goodman, 1984)

- I. Project Description
 - A. Purpose of action
 - B. Description of action
 1. Name
 2. Summary of activities
 - C. Environmental setting
 1. Environmental prior to proposed action
 2. Related federal activities
- II. Land Use Relationships
 - A. Conformity or conflict with other land use plans, policies, and controls
 1. Federal, state, and local
 2. Clean Air Act and Federal Water Pollution Control Act
 - B. Conflicts and/or inconsistent land use plans
 1. Extent of reconciliation
 2. Reasons for proceeding with action
- III. Probable Impact of the Proposed Action on the Environment
 - A. Positive and negative effects
 1. National and international environment
 2. Environmental factors
 3. Impact of proposed action
 - B. Direct and indirect consequences
 1. Primary effects
 2. Secondary effects
- IV. Alternatives to the Proposed Action
 - A. Reasonable alternative actions
 1. Those that might enhance environmental quality
 2. Those that avoid some or all adverse effects
 - B. Analysis of alternatives
 1. Benefits
 2. Costs
 3. Risks
- V. Probable Adverse Environmental Effects That Cannot be Avoided
 - A. Adverse and unavoidable impacts
 - B. How avoidable adverse impacts will be mitigated
- VI. Relationship between Local Short-Term Uses of the Environment and the Maintenance and Enhancement of Long-Term Productivity
 - A. Trade-off between short-term environmental gains at expense of long-term losses
 - B. Trade-off between long-term environmental gains at expense of short-term losses
 - C. Extent to which proposed action forecloses future options
- VII. Irreversible and Irretrievable Commitments of Resources
 - A. Unavoidable impacts irreversibly curtailing the range of potential uses of the environment
 1. Labor
 2. Materials
 3. Natural
 4. Cultural
- VIII. Other Interests and Considerations of Federal Policy That Offset the Adverse Environmental Effects of the Proposed Action
 - A. Countervailing benefits of proposed action
 - B. Countervailing benefits of alternatives

Source, Jain et al, (1974)

4. 수자원 개발사업의 環境影響評價

4.1 WRC(Water Resources Council) 방법

WRC(1971)가 제안한 環境部類는 16개의 부류(categories)를 포함하는 4개의 등급(classes)으로 분류되어 있다(표 2). 미국 연방주도의 개발사업계획은 각각의 環境部類를 評價하는 데 필요한 專門家를 포함하기 위하여 조직된 官廳間(interagency) 또는 학제적(interdisciplinary) 단체(team)에 의하여 수행된다. 단체에 의한 環境部類의 評價는 다음과 같은 3가지 評價因子(evaluation factors)에 의하여 시도된다.

- 量的因子(Quantity Factors) : 影響의 量은 보통 數(양, 면적, 거리, 비율)로 확인되고 표현된다.
- 質的因子(Quality Factors) : 質的狀態의 판단 또는 측정은 0--10 척도의 사용에 의하여 記述되고 표현된다. 0 은 알려진 최악의 상태, 10 은 최적의 상태이다.
- 人間影響因子(Human Influence Factors) : 판단에 의한 측정은 0 - 10 척도상에 있다.

4.2 EQA(Environmental Quality Assessment) 방법

미국 개척국(Bureau of Reclamation)에서 개발한 EES(Environmental Evaluation System)의 개정방법으로 WRC의 EQ 계정에 포함된 양상에 관심의 영역을 제한하고, WRC의 원리와 기준에 일치시켰다. 環境因子의 선택은 Leopold 행렬(그림 3)에 의존하며, 'with'와 'without' 사업의 미래상황에 대한 기초자료와 추정(projection)은 적합한 물리적 단위로 표에 첨가된다(Nichols, et al., 1982).

4.3 WRAM(Water Resources Assessment Methodology)

미국 공병단(Army Corps of Engineers)이 WRC에서 위임된 4개 계정(NED, EQ, 사회복지, 지역개발)에 대하여 다목적 결정도구로 고안 개발한 방법으로 연구분야의 전문가·지역대표단·제휴단체의 선택과정을 통하여 評價變數目錄을 개발한다. 影響의 상대적인 크기(magnitude)는 0 과 1 사이의 등급으로 표현되는 環境狀態水準에 대한 변수측정과정

표 2 WRC가 제안한 環境部類의 구분(WRC, 1971)

-
- I. Class-Areas of Natural Beauty Categories:
 - A. Open and Green Space
 - B. Wild and Scenic Rivers
 - C. Lakes
 - D. Beaches and Shores
 - E. Mountains and Wilderness Areas
 - F. Estuaries
 - G. Other Areas of Natural Beauty
 - II. Class-Archeological, Historical, Biological, Geological, and Ecological Categories:
 - A. Archeological Resources
 - B. Historical Resources
 - C. Biological Resources
 - 1. Fauna
 - 2. Flora
 - D. Geological Resources
 - E. Ecological Systems
 - III. Class-Quality Considerations Categories:
 - A. Water Quality
 - B. Air Quality
 - C. Land Quality
 - IV. Class-Irreversibility or Irretrievability Considerations Categories:
 - A. Irreversibility or Irretrievability
-

Reference : Federal Register, December 21, 1971, Vol.36, No.245,
 "Water Resources Council, Proposed Principles and Standards for Planning Water and Relater Land Resources, Notice of Public Review and Hearing."

에 의하여 결정되고, 각 변수(대안선택계수)에 대한 등급인자는 상대적 중요계수인 가중인자를 곱하여 '최종선택행렬'을 산출한다(Nichols, et al., 1982).

環境廳(1989)에서 제시한 수자원 개발사업의 일반적인 環境要素는 표 3 과 같다.

5. 國內의 環境影響 評價方法과 실적분석

5.1 環境影響評價(書)의 실시절차와 작성내용

環境影響評價의 실시절차는 그림 4 와 같다. 環境處(1990) 자료에 의거한 環境影響評價書는 요약문, 사업의 개요, 環境影響要素 및 環境因子 行렬식 대조표, 環境現況 조사, 環境影響의 豫測 및 評價, 環境에 미칠 惡影響의 저감방안, 불가피한 環境에의 惡影響, 대안, 事後 環境管理計劃, 綜合評價 및 결론, 타 사업 및 다른 상위계획 또는 법령과의 관계, 기타의 내용으로 구성된다. 評價書의 검토는 評價內容의 충실성, 사업계획에 포함된 環境影響의 정도, 環境影響評價書의 검토 및 협의절차 등의 사항에 대하여 실시한다.

5.2 環境影響要素와 環境因子(Environmental Factors)

RATING		SAMPLE	
Impedance— 1.3 Low to High	Kepchinda— 1.3 Low to High	a	b
		1	2
		3	4
		5	6
		7	8
		9	10
		11	12
		13	14
		15	16
		17	18
		19	20
		21	22
		23	24
		25	26
		27	28
		29	30
		31	32
		33	34
		35	36
		37	38
		39	40
		41	42
		43	44
		45	46
		47	48
		49	50
		51	52
		53	54
		55	56
		57	58
		59	60
		61	62
		63	64
		65	66
		67	68
		69	70
		71	72
		73	74
		75	76
		77	78
		79	80
		81	82
		83	84
		85	86
		87	88
		89	90
		91	92
		93	94
		95	96
		97	98
		99	100

그림 3. 環境영향분석행렬(CCC, 1972)

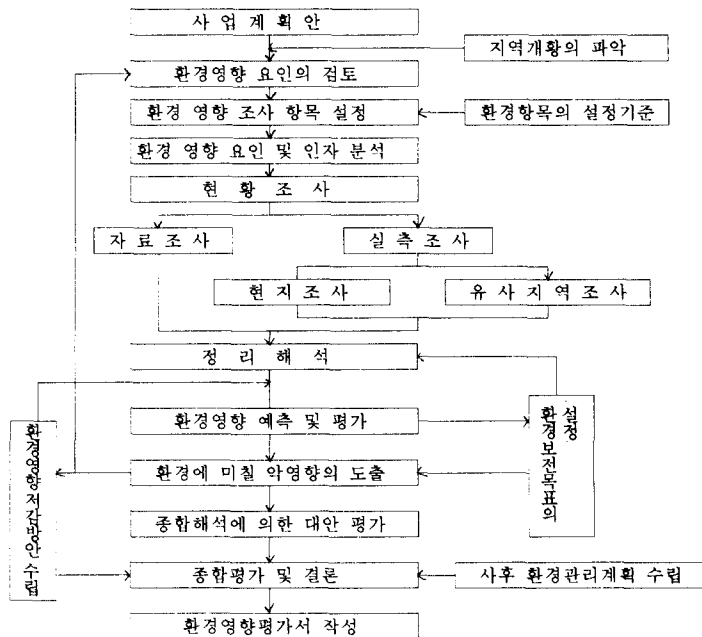


그림 4 環境영향평가의 실시절차(환경청, 1989)

PROPOSED ACTIONS WHICH MAY CAUSE ENVIRONMENTAL IMPACT

環境廳(1989)에서 규정된 環境因子는 다음과 같다(김 귀곤, 1988).

가. 自然環境(Natural Environment)

- 1) 기상, 기후 - 상대습도, 안개일수, 일사량, 기온변동, 수위변동
- 2) 지형, 지질 - 골재채취, 堆砂量(침식작용),

절토, 굴착, 방조제 설치에 따른 지반침하, 유사량의 변화

- 3) 생태계 - 하천생태계, 저수지생태계, 어류, 鳥類, 藻類 불법포획, 저수지형성, 저수지의 결빙, 염수 전이대의 이동·감소, 칠새서식 공간의 변화
- 4) 海洋環境 - 준설에 의한 해양오염
- 5) 천연자원 - 鑛床

표 3 수자원 개발사업의 일반적인 환경요소

(환경청, 1989)

범	하구언
건설단계 자연형질 또는 지형의 변형 - 森林 伐採 - 농지의 遺廢 - 유로변경, 河川改修 - 埋立, 干拓, 浚深 - 切土, 築土, 削孔 자재채취, 운반 시설공사, 건설공사 - 掘削, 抗打, 削孔, 發破 - 콘크리트 타설 - 포장, 공원녹지화 - 제방, 관개, 배수로공사	건설단계 자연형질 또는 지형의 변형 - 河川改修, 유로변경 - 해안·해저지형의 변형 - 湖沼의 변형 - 조석에 의한 변형 자재채취, 운반 시설공사, 건설공사 - 掘削, 抗打, 削孔, 發破 - 콘크리트 타설 - 포장, 공원녹지화 - 방조제, 호안공사
운영단계 구조물 - 건축물(댐, 여수로 등등) - 도로, 橋梁 - 터널, 호안, 제방 운송(육상운송, 해상운송) 이용 - 홍수조절, 용수공급 - 취수, 방류 사회적 변화 - 도시화 - 산업구조의 변화	운영단계 구조물 - 방조제, 방파제, 호안 - 수로, 魚道 - 도로, 교량 이용 - 취수, 방류 - 배수 사회적 변화 - 도시화 - 산업구조의 변화

나. 生活環境(Living Environment)

- 1) 토지이용 - 저수지형성, 이설도로 건설, 하상의 洗堀
- 2) 대기질 또는 대기상태 - 飛散粉塵, 건설장비에 의한 오염물배출
- 3) 수질 - 성층화현상, 부영양화현상, 염수피해(潮水), 골재채취에 의한 수질오탁, 유출입량의 변화
- 4) 토질오염 - 건설장비의 油類 유출로 인한 국부적 오염
- 5) 고체 폐기물 - 건축잔해, 축산폐기물
- 6) 소음, 진동, 악취
- 7) 전파장애(Wave Interference), 日照遮斷
- 8) 위락시설, 경관 - 낚시터, 위락시설, 관광지개발

표 4 환경영향평가 협의실적(환경청, 1989)

사업명	82	83	84	85	86	87	88	계
도시개발	0	1	3	7	2	8	5	26
산업입지 및 공업단지 조성	1	1	6	4	4	6	12	34
에너지개발	1	0	2	1	1	1	2	8
항만건설	0	0	3	0	0	0	1	4
수자원개발	1	2	1	0	4	1	0	9
간척 및 공유수면 매립	0	3	1	2	2	3	5	16
택지개발	1	8	13	10	10	11	12	65
관광지개발	0	0	2	5	10	9	14	40
도로건설	0	0	0	1	2	3	2	8
철도건설	0	0	0	0	3	0	1	4
공항건설	0	0	0	0	1	0	1	2
전원개발	0	12	17	23	14	27	18	111
계	4	27	48	53	53	69	73	327

자료: 한국환경연감(환경청, 1989)

9) 위생, 공중보건(Public Health) - 住居環境

다. 社會·經濟的 環境(Socioeconomic Environment)

- 1) 인구 - 수물지구 주민의 이주대책
- 2) 주거 - 이주대책, 피해보상
- 3) 산업 - 취업의 기회, 소득증대
- 4) 공공시설 - 학교, 관공서, 보건소 등등
- 5) 교육시설
- 6) 교통 - 수물도로, 신설도로의 이용
- 7) 문화재 - 국보, 보물, 지방문화재

5.3 環境影響 評價書의 실적분석

1982년부터 1988년까지 시행된 環境影響評價 협의실적은 표 4 와 같으며, 수자원 개발사업과 관련된 評價事業은 댐 건설사업 6건, 하구언 건설사업 3건, 특정지역 종합개발사업 2건으로 총 11건이다(環境廳, 1989).

6. 우리나라 環境影響 評價制度에 관한 제안

6.1 評價書 작성지침

ASCE 위원회(1978)가 제시한 중요한 사항 - 위협성의 분석, 신뢰성 인식, 에너지개발의 고려, 전문가 선택과 비전문가의 견해치리에 대한 기준의 표시, 影響分析을 위한 적절한 시간의 할당 - 을 작성에 관한 일반지침에 포함시켜야 할 것이며, 가능하고 적절하리라고 여겨지는 다른 요구서류와 評價書가 통합되어야 한다.

6.2 環境影響評價 對象事業

評價對象事業을 특정사업으로 제한하는 방법보다는 미국 NEPA(1969) 규정(제 102 조)에 의한 대상사업의 결정이 바람직하다고 여겨지며, 環境影響의 최소화에 중점을 두고있는 현 상황에서는 CEQA(1976)에서 규정한 항목에 해당하는 사업으로 결정하는 것도 무난하다. 環境影響評價 대상사업은 개발사업의 측면뿐만 아니라 環境影響의 측면에서 결정하는 것이 바람직하며, 소관 관청별 대상여부에 관

한 결정과정(screening process)이 필요하다.

6.3 環境影響 評價因子

사업의 특성과 무관한 評價項目의 획일적 규정(3가지의 주항목, 22가지의 부항목으로 규정)으로 각각의 항목이 광범위한 영역을 포함하고 있다. 외국의 경우에는 전문가들에 의한 위원회를 구성하고 대상사업의 특성에 맞는 評價項目을 선정하여 객관성과 전문성을 유지한다.

6.4 주민참여방법

주민참여는 단지 評價書의 公覽에 의한 소극적인 방법 뿐만 아니라 공청회·설명회 등의 적극적인 방법으로 진행되어야 하며, 環境評價에 대한 주민의 광범위한 의견반영이 정책적으로 보장되어야 한다.

6.5 評價書 작성자

評價節次에 있어서 環境影響 評價書의 작성주체인 개발사업자가 직접 연구기관을 선정하는 대신, 연구비를 관련 정부 당국에 공탁하고 評價研究의 집행을 관련 주무부처가 직접 관장하도록 한다. 사업의 규모와 계획과정의 반영에 따른 評價書 작성경비와 평가기관은 관련 부처의 주도하에 결정한다.

감사의 말

본연구는 1990년도 건설부·수자원국의 수탁연구 과제로 수행되었으며 동 발주처에 심심한 사의를 표합니다.

參考文獻

- 1. 金貴坤(1988). 環境影響 評價制度의 定着 및 開發에 관한 研究. 國立 環境研究院報. 제 10 권. pp. 187-211.
- 2. 環境廳(1990). 國立環境研究院. 新規環境管理委員. pp. 167-203.
- 3. 環境廳(1989. 12). 韓國環境年鑑. 제 2호. pp.69-102. 697-713. 부록.
- 4. 環境廳(1989. 12). 環境影響評價書 작성지침서(수자원개발사업편).
- 5. California Council of Civil Engineers & Land Surveyers. Environmental Impact Analysis(1972) : An Introduction to Analytical and Presentation Methods, Central Print- ing

92-09-18		Machinery and Cavitation	(Brazil)	Av. Prof. Lucio Martin Rodrigues 120 Cidade Universitaria 05508 Sao Paulo SP Brazil Fax 11-8135217
92-10-early	CERC/IAHR*	23rd Conference of the Coastal Engineering Research Council of ASCE IAHR Section on Maritime Hydraulics	1 Venice (Italy)	Coastal Engineering Research Council 412 O' Brien Hall Dept. of Civil Engineering University of California Berkeley, California 94720, U.S.A.
92	IAHR	XVth LAD-IAHR Congress, Colombia	1	Secretaria Permanente Region Latinoamericana Apartado Postal no. 196 MERIDA C.P. 5101 Venezuela Tel. (074)524019 Fax (074)527704
92	IAHR*	6th International Symposium- Flow visualization	1 Yokohama (Japan)	

*251에서 계속

Co. .

Mar. .

6. Committee on Impact Analysis of the Water Resources Planning and Management Division(1978). *The Civil Engineer's Responsibility in Impact Analysis*, Proc. of the Water Resources Planning and Management Div. . Aug. .
7. Eisel, L.M., G. D. Seinwill, and R.M. Wheeler, Jr. (1982). *Improved Principles, Standards, and Procedures for Evaluating Federal Water Projects*, WRR, Vol. 18, No.2, Apr. .
8. Goodman, A. S. (1984). *Principles of Water Resources Planning*, Prentice Hall, 1984.
9. Nichols, R., and E. Hyman(1982). *Evaluation of Environmental Assessment Methods*, Proc. of ASCE, J. of the Water Resources Planning and Management Div. .
10. Petersen, M. S. (1984). *Water Resources Planning and Development*, Prentice Hall.
11. Water Resources Council(1971). *Proposed Principles and Standards for Planning Water and Related Land Resources*, Federal Register, Vol. 36, No. 245, Dec. 21.
12. Water Resources Council(1980). *Proposed Rules ; Principles, Standards and Procedures for Planning Water and Related Land Resources*, Federal Register, Vol. 45, No. 73, Apr. 14.
13. Wright, D. S., and G. D. Greene(1987). *An Environmental Impact Assessment Methodology for Major Resources Developments*, J. of Environmental Management, Vol. 24, pp. 1-16.

→ 12p에서 계속

45. Toksoz, S., Kirkham, D. and Baumann, E. R. (1965). *Two-dimensional infiltration and wetting fronts*, J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 91 (IR3) :65-79.
46. Trout, T. J., and Johnson, G. S. (1989). *Earthworms and furrow irrigation infiltration*, Trans. ASAE 32(5) : 1594-1598.
47. Yeh, J.-C. J (1989). *One-dimensional steady state infiltration in heterogeneous soil*, Water Resources Research 25(10) : 2149-2158.