

수자원 경제성 분석 입문(10)

심 명 필 (인하대학교 토목공학과 교수)

- 1. 시작하며
- 2. 물의 경제적 가치와 수자원경제
- 3. 수자원사업의 경제성분석
- 4. 편익·비용분석기법
- 5. 이자율과 할인율
- 6. 편익과 비용의 산정
- 7. 편익의 산정방법
- 8. 산업연관분석과 파급효과
- 9. 대안의 선정과 최적규모의 결정
 - 9.1 수자원사업의 계획과정
 - 9.2 대안의 선정
 - 9.3 최적규모의 결정
 - 9.3.1 경제성 측면의 최적규모
 - 9.3.2 경제성 외적측면의 최적규모
 - 9.3.3 사업종류별 규모결정 요소
- 10. 민감도 분석
- 11. 수요와 공급
- 12. 비용배분

9.3 최적규모의 결정

최적규모의 결정은 조사·계획단계의 최종과정으로서, 대안선정의 한 과정이라 할 수 있다. 앞 절에서 설명하였듯이 대안분석의 일반원리로서 여러 가지 대안을 사업종류별로 비교하거나(용수공급의 예를 들면, 댐건설, 하천수개발, 지하수개발 또는 강변여과수개발 등), 한가지 사업의 개발규모를 달리하여 비교하거나(댐을 건설하는 경우, 저수용량은 1억 또는 2억 입방미터 등), 또는 이들 사업종류와 규모를 조합

하여 비교하는 방안이 있을 수 있다.

사업의 최적규모 결정에 대한 평가 기준은 기술적, 환경·생태학적, 재무성 평가 등이 고려되어야 하지만 경제성 타당성에 집중되는 것이 일반적이다. 사업비용과 편익은 사업규모의 함수이므로 최적규모를 결정하기 위해서는 경제성평가가 반드시 수행되어야 한다. 경제성 평가의 범위와 단계에 따라서 시설물의 최적 운영조작률(operation rules)을 고려하여 편익과 비용의 분석이 요구되며, 이 경우 다양한 운영기법(operation research)이 적용되기도 한다. 대청댐의 경우 저수지 최적운영률 결정에 동적계획법(DP)을 이용한 조작모형을 구성하였는데 이는 댐의 다목적 운영에서 용수공급을 최우선으로 하면서 아울러 발전 효과도 높일 수 있도록 이수과 치수의 양면에 합리적인 최적규모를 설정하기 위함이었다.

9.3.1 경제성 측면의 최적규모

여러 대안이나 사업규모들 중에서 편익비용비(B/C ratio)가 1보다 작은 경우에는 투자비용에 비해 편익이 적은 경우로서, 경제성이 없는 경우로 간주하여 대상사업을 제외시킬 수가 있다. 그러나 B/C가 1보다 커서 경제성이 있는 사업이더라도 어떤 규모가 가장 경제성이 높은가의 결정은 편익·비용 증가분비(incremental benefit-cost ratio)를 이용할 수가 있다. 편익·비용 증가분비($\Delta B/\Delta C$)는 사업규모를 증가시키는데 소요되는 추가비용에 대해 발생하는 추가 편익의 비율로서, B/C와는 다른 의미라는 점을 주의하여야 한다. $\Delta B/\Delta C$ 가 1에 가까운 경우의 규모를 최적규모로 선택할 수가 있다.

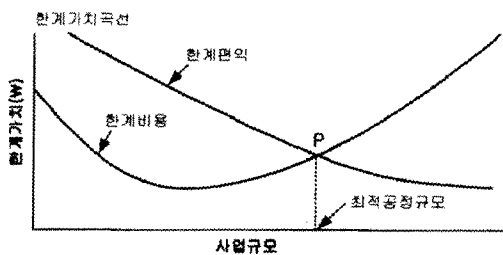
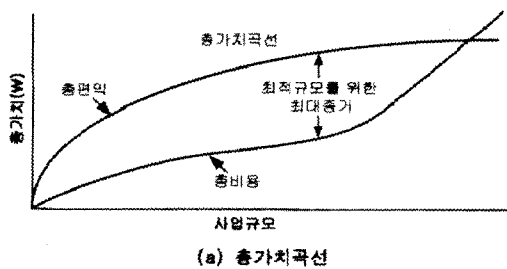
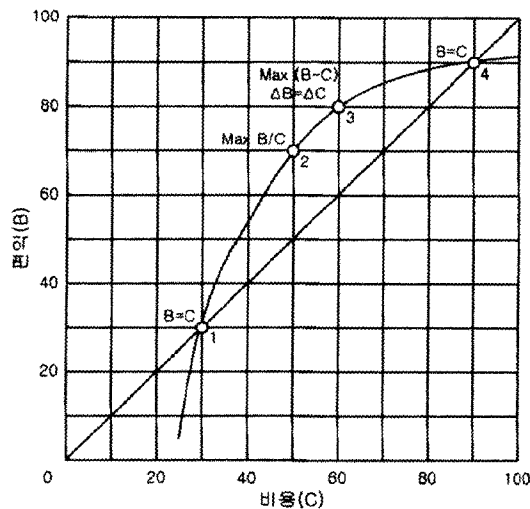


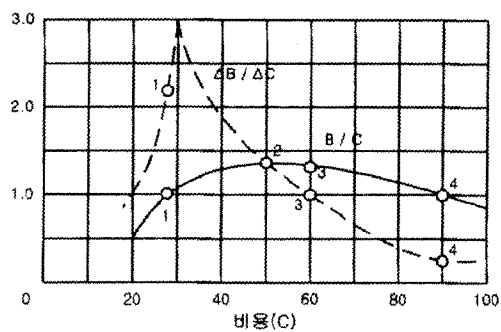
그림 9-3. 총가치곡선과 한계가치곡선

〈그림 9-3〉의 (a)는 대안의 사업규모에 따른 총가치곡선(total value curves)으로 각각 총비용과 총편익의 변화를 보여주고 있다. 〈그림 9-3〉의 (b)는 사업규모를 한 단위 증가시킬 경우의 비용 또는 편익을 나타내는 한계가치곡선(marginal value curves)으로서 사업규모에 따라 달라지며 그림(a)의 총가치곡선의 기울기와 같다. 그림(b)에서 P점까지는 한계편익이 한계비용보다 값이 크므로 개발규모를 증가시킬 수 있으며, 이들 값의 비율인 $\Delta B/\Delta C$ 가 1보다 큰 값을 나타낸다. 즉, P점까지는 개발규모를 한 단위 증가하면 추가로 투자된 비용에 비해 더 큰 추가편익을 얻을 수 있으므로 규모를 늘리는 것이 이득이나, P점을 넘어서부터 규모를 늘릴수록 추가비용에 비해 편익이 적으므로 비경제적이라는 것을 뜻한다.

이들 관계를 다른 그림으로서 설명을 해보자. 〈그림 9-4〉는 사업의 규모가 증가함에 따라 편익의 변화와 B/C ratio의 변화를 보여주고 있다. 〈그림 9-4〉(a)에서 직선 45°선은 B/C가 1이며 경제적 타당성을 갖는 최소한의 규모를 의미한다. 점 1과 점 4 사이는 편익이 비용보다 큰 구간으로서 개발이 가능한 범위를 나타내며, 점 1은 최소한의 사업규모를 나타



(a) 최대 순편익(B-C)과 편익·비용비(B/C)의 관계



(b) B/C와 편익비용 증가분비($\Delta B/\Delta C$)의 관계

그림 9-4. 최적규모와 편익비용의 관계

낸다. 점 1을 지나 사업규모가 증가하면 편익·비용비(B/C)와 순현재가(net present value)가 증가하여 편익·비용비(B/C)는 점 2에서 최대(70/50=1.4)가 되고, 점3에서는 작아진다(80/60=1.33). 〈그림 9-4〉(b)에서 추가편익비용비($\Delta B/\Delta C$)는 점1에서 1보다 크며 비용이 30일 때 최대값을 가지고 점점 감소하나, 점 2에서 점 3 사이의 구간에서도 1보다 크기 때문에 개발규모를 계속 증가시킬 수 있다. 개발규모가 점 3에 도달하면 비용 증가분과 편익 증가분이 일치하게 되어서 ($\Delta B/\Delta C=1$), 최적의 사업규모

에 도달하게 되며 순편익이 최대가 된다. 그러나 점 3부터 개발규모를 확대하면 편익증가분이 비용증가분보다 적으므로 ($ΔB/ΔC < 1$), 순편익은 감소하기 시작한다. 결과적으로 <그림 9-4>에서 최적규모는 점 3이 되며, 투자재원이 부족한 경우에는 점 2를 차선의 최적규모로 할 수 있다.

9.3.2 경제성 외적측면의 최적규모

앞 절에서 설명한 최적규모는 경제적 효율성만을 고려할 경우의 사례이며 개발과 관련된 정치적, 사회적 환경 등에 의해 개발규모는 조정될 수도 있다. 특히 수자원사업은 사업계획단계의 예상공사비와 사업 종료후의 실제 공사비와 차이가 많고, 사업비 추정에 비해서 발생하는 편익을 계량화하기가 어려워 편익산정 또한 쉬운 문제가 아니다. 수자원 사업의 개발규모는 기술적, 환경적, 정치적, 경제적, 재정적, 사회적, 법적 및 제도적 요소들에 의해 좌우되지만 실질적인 규모 결정은 인구추정이나 지역계획에 따른 해당사업의 수요예측 및 다른 사업과의 투자 우선순위 등을 종합적으로 고려하여 결정하게 된다.

수자원사업은 이수목적이든 치수목적이든 공공사업의 성격이 강하므로 경제성 분석만으로 사업의 최적규모나 타당성을 판단하는데는 무리가 있을 수 있고, 사업의 특성상 정확한 경제성 분석을 하기 힘들다. 특히 수자원사업은 주변지역에 환경·생태적 변화가 따르게 되고, 최근의 영월다목적댐, 낙동강 물종합대책 등의 사례에서 볼 수 있듯이 사회적 및 정치적 영향도 많이 받게 되므로 개발규모의 결정은 경제성 외적 측면에도 큰 영향을 받게 된다. 그러므로 사업의 타당성을 판단하고 개발규모를 결정하는데는 다른 공공사업과 마찬가지로 지역경제 파급효과, 지역균형개발, 지역적 선호도와 갈등문제, 재원조달계획과 투자비 회수방안을 집중적으로 검토해야 하고, 아울러 통합 유역개발과 관리계획, 인명·재산보호 및 재해예방 효과 등의 정책적인 문제도 중요하게 고려되어야 할 것이다.

9.3.3 사업종류별 규모결정 요소

(1) 사업종류별 규모결정요소

사업의 개발규모를 결정하는 과정에서 사업의 목표와 목적을 명확히 설정하고, 개발 이익 과 개발에 따른 부작용을 신중히 고려하여야 한다. 개발에 따른 이익은 편익으로써 정량화 할 수 있는 반면 부작용은 간과되기 쉬울 수 있다. 수자원사업은 '규모의 경제'에 해당하므로 이러한 부작용은 자연환경과 사회·경제 전반에 걸쳐 나타날 수 있는데 안동댐의 경우, 부작용으로는 댐 주변지역의 인구감소와 이에 따른 지방세수감소, 재정지출의 증대, 주요자원의 수몰로 인한 경제력의 감퇴, 지역개발의 제한 및 생활의 불편 등을 거론하고 있다(안동군, 1993).

환경에 대한 효과 분석으로 대표적인 것은 환경영향평가를 들 수 있다. 우리나라에서도 환경영향평가나 사전환경성검토가 있으며, 미국의 경우는 국가환경정책법(National Environmental Policy Act ; NEPA, 1969)에서 다음의 항목에 대하여 평가하고 있다(이길성, 1989).

- ① 계획하고 있는 사업을 행할 시 미치는 환경의 영향
- ② 사업 수행시 필연적으로 나타나는 환경에의 악영향
- ③ 계획하고 있는 사업의 대안
- ④ 환경의 단기간의 영향과 장기간의 생산성 유지 및 증진과의 관계
- ⑤ 계획하고 있는 사업이 수행될 때 원상회복이 불가능한 자원의 훼손여부

수자원 사업의 개발 목표에 따라 규모를 결정할 때 최소한으로 고려해야 하는 요소들을 사업 항목별로 다음 <표 9-3>과 같이 요약하였다. 사업의 최적규모는 경제적 효율성뿐만 아니라 사회적, 환경적 요소들에 좌우되지만, 실질적인 규모 결정은 장래의 인구증가나 수요예측을 고려하여야 하며, 그 규모는 사업주체에 따라 달라질 수 있으며 제반 여건에 따라서 조정될 수도 있다.

표 9-3. 수자원사업의 용도별 규모결정 고려요소

사업항목	고려요소
생활, 공업용수 및 발전소 용수공급	현재 및 미래의 생공용수 수요 수요관리에 의한 생공용수의 수요감소효과 발전소의 냉각 용수의 총수요량과 소비량 상수도의 수질의 급수결정과 배분
관개와 농업용수	관개에 의한 토지분류 현재의 관개 및 갈수기 때의 영농범위 특정 농작물의 수요와 시장성 농작물의 물수요
홍수조절	상습피해지역 및 피해예상지역 잠재적인 홍수피해 및 피해저감 효과
수력발전	발전시스템의 특성(발전, 송전, 배전) 위치, 배치, 용량, 잠재적 수요
주운	대체 교통시설의 영향 현재와 미래의 수상 교통량 예측 수송량 대체효과 및 경제성 레크리에이션 운하의 최소 수심과 수심유지용 최소유량 갑문 이용과 수심유지용 용수공급 방안

(2) 용수공급 시설의 최적규모

대상지역의 동일한 양의 생·공용수를 공급하기 위해 여러 가지 방법(지하수, 담수화, 재사용, 인공강우, 생·공용수 전용댐 등)과 여러 각도의 조합이 가능하다. 여기서 고려해야 할 점은 각각의 방법이 서로 다른 '규모의 경제'를 보일 수 있다는 것이다. 그러므로 생·공용수 공급량의 예정규모에 따라 다른 대체시설이 선택되어질 수 있다. 왜냐하면 우리가 필요로 하는 '대체시설 비용'은 여러 대체시설 중에서 최소한의 비용을 보여주는 수치이기 때문이다. 특히, 주어진 공급규모에 대해 오직 한가지 대체시설의 선택만이 최소한의 비용을 보장해주지 못하고 여러 대체시설의 혼합을 통하여 최소한의 비용이 얻어지는 경우가 있을 수 있다.

대체시설의 규모는 외생적으로 주어진다. 예로서, 다목적댐의 용도중 생·공용수 공급계획량이 상위결정변수로 주어진다. 저수지의 용수공급능력 및 적절한 댐 규모를 결정하기 위해서는 예비조사 단계에서는 누가유량곡선법(mass curve analysis)와 같은 간략법을 이용하기도 하나, 저수지 모의운영기법을 이

용하는 것이 일반적이다.

댐의 용수공급능력을 평가하기 위해서는 보장공급량 기준과 신뢰도 기준으로 나누기도 한다. 보장공급량 기준은 과거에 발생한 최악의 가뭄에도 용수공급이 가능한 기준으로 수문자료의 기간이 길수록 보다 심한 가뭄기간이 포함될 수 있어 용수공급량의 변동이 있을 수 있다. 또한 물부족을 허용하지 않는 상태에서 공급가능량을 기준으로 용수공급능력을 평가함에 따라 용수공급을 지나치게 축소하므로써 수자원 이용률의 저하를 가져올 수 있다. 신뢰도 기준은 전체 계획기간 중에서 일정기간 동안은 용수공급의 부족을 허용하여 평가하는 방법으로서 자료기간이 길수록 정확도가 높아지는 방법이라 할 수 있다. 따라서

용수공급의 신뢰도를 높이면서도 수자원의 이용률을 높여야 하는 상반된 조건을 적절히 수용하기 위해서는 물 부족상태의 심각성을 나타내는 용수공급능력 평가방법이 요구된다.

국내의 기존댐은 대부분 보장공급량 또는 이와 유사한 기준에 의해서 평가하였으나, 최근에는 일정기간은 물 부족을 허용하는 신뢰도 기준에 의해서 평가하는 방향으로 가고 있다. 이와 같은 평가기준의 변화는 제한된 수자원을 효율적으로 이용하고 장차 발생할 수 있는 물부족 사태에 대비하기 위한 실정으로 볼 수 있다.

저수지 모의운영기법은 과거의 유입량 자료를 기초로 하여 댐 건설후의 실제 저수지운영과 같은 조건과 운영규정으로 초기저수위를 가정하고, 용수수요량, 방류량, 저수지 수면증발량 등을 고려하여 기간별로 저수지의 수위 변화를 검토하여 적절한 저수지 규모를 결정하는 방법이다. 이를 위해서는 대상유역의 장기간에 걸친 유입량 자료의 확보와 정확한 수요예측이 필수적이라 할 수 있다. 저수지 규모에 따른 적정 용수공급량은 용수공급신뢰도를 기준으로 하여

90~95%로 하는 것이 일반적이다.

1) 저수용량의 결정방법

저수용량을 결정하는 방법은 Rippl(1883) 이후 서로 다른 많은 접근법들이 이제까지 연구되어 왔다. 이들 저수용량을 결정하는 방법은 여러 가지 범주로 나눌 수 있는데, 자료의 처리 방법에 따라 극한기간법(Critical Period Method)과 확률행렬법(Probability Matrix Method), 그리고 모의발생법(Procedures Based on Data Generation)으로 나눌 수 있다. 다른 기준으로는 예비설계방법(preliminary design techniques)과 최종설계방법(final design techniques), 그리고 특수방법(special techniques)으로 분류할 수 있고, 이 외에도 경험적 방법, 실험적 방법, 해석적 방법의 세 가지, 확정론적 분석법과 추계학적 분석법의 두 가지로 나누기도 하나 그 어느 것이나 유사한 분류법이라고 할 수 있겠다. <그림 9-5>는 저수용량 결정방법의 분류를 보여주고 있다(최영욱, 2000).

McMachon과 Mein(1986)은 호주와 말레이시아의 다수의 하천에 여러 가지 저수용량 산정방법을 적용한 결과를 바탕으로 극한기간의 대소에 따라 각각 다른 산정방법을 사용할 것을 제안하고 있으며, 극한기간이 12개월 이상인 경우는 Gould의 Gamma법, McMahan의 경험적 방법, 그리고 Hardison의 이월저수량 분석법을 사용하도록 하고, 극한기간이 6개월

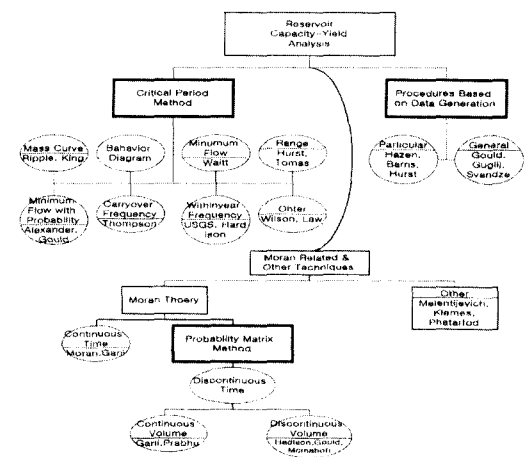


그림 9-5. 저수용량 결정방법의 분류

이하인 저수지에서는 갈수빈도곡선을 사용할 경우에는 연중빈도법을 사용하여 산정된 저수용량을 10% 늘리도록 하였고, 갈수빈도곡선을 사용하지 않는 경우는 거동분석법을 사용할 것을 제안하고 있다(최영욱, 2000).

2) 용수수요량과 공급규모의 결정

용수공급시설과 대체시설규모를 비교하기 위해서는 기본적으로 몇 가지 절차가 필요하며 간단히 서술하면 다음과 같다.

먼저, 용수공급 대상지역의 용수수요량을 연도별로 추정하여 현재의 공급가능량과 비교한다. 이들의 차이가 장래의 물 부족량이 되며 신규로 용수공급시설이 공급하여야 할 총공급량이 결정된다. 특히, 생활용수 수요량은 현 거주민의 물 부족량과 미래증가분을 포함하여야 하며, 계획 연도별, 대상도시별로 장래의 인구와 상수도 보급률 및 단위급수량을 적용하여 산정한다. 상수도 보급률 및 단위급수량을 산정하기 위해서는 과거의 값을 기준으로 한 추정, 유사한 타도시의 경우로부터 추정하거나 도시의 특성과 도시계획을 분석하여 추정하는 방법 등이 있으므로 대상지역의 복합적인 제반특성을 고려하여 결정하여야 한다.

공업용수 수요량은 현재의 물 부족 실태와 설문조사 또는 관련보고서를 통하여 조사한 미래수요를 고려하여 도출하여야 한다. 용수의 제약으로 인해 입주를 못하고 있는 업체의 수요량과 현재의 양호한 용수 조건에서 다른 제약에 의해 입주를 못하는 경우에는 미래의 가능성을 고려한 도출수요(derived demand)도 고려하여야 한다. 특히 국토종합개발계획과 지역의 도시계획 등을 포함한 여러 가지의 공업단지 개발계획을 고려하여야 하며 공업부지별 및 용도별로 공업용수 원단위를 적용하여 장래의 공업용수 수요량을 추정하도록 한다.

용수의 수요량은 공급가격에 큰 영향을 받게 된다. 다목적댐의 용수는 원수, 침전수 및 정수 등으로 공급가격이 구별되며, 지역별 지방상수도의 수도요금에 의해서도 결정된다. 수도요금 인상 등을 통해서 물절약을 유도할 수 있으며 결과적으로 미래의 수요량을 감소시킬 수 있을 것이다. 용수가격 정책은 경제적 수

요관리 방안이며, 누수방지나 절수기기 보급, 그리고 중수도 확대 등은 기술적 수요관리 방안이고, 대중에 대한 정보제공이나 홍보프로그램은 교육적 수요관리 방안이라 할 수 있다(신부식, 2000).

수요관리는 용수수요예측이 기반이 되어야 하며 이를 위해서는 우선 물 수요에 영향을 미치는 요인들에 대한 분석이 선행되어야 한다. 이러한 물 수요 결정요인으로는 인구(또는, 급수인구, 급수가구 수), 수도요금, 요소소득(또는, 지역내총생산: GRDP), 생활양식, 산업구조, 상수도보급률, 에너지가격, 기후, 경기변동, 정부의 수자원관리 대책 등이 고려될 수 있다.

물에 대한 수요는 다른 재화와 마찬가지로 직접적으로 가격에 영향을 받으므로 경제적인 동기부여를 통한 수요관리가 현실적인 대안이라 할 수 있다. 그러나 수요관리에 효과추정은 현실적으로 많은 어려움을 갖고 있다. 특히, 지금까지의 각종 용수수요를 추정함에 있어서 수도물의 가격은 고려하지 않고 과거의 이용추이를 그대로 반영하는 것이 일반적이었다. 이러한 방법은 가격효과와 소득효과를 고려하지 못하고 있음은 물론, 개인 소비패턴 및 선호의 변화, 생산기술의 변화, 산업구조의 변화 등을 전혀 반영하지 못한다는 방법상의 한계를 가지고 있어 최근 대부분의 연구들에서는 물 수요의 예측에 있어 가격효과나 소득효과를 고려하려는 경향이 나타나고 있다.

가격인상에 따른 수요절감효과는 지역의 특성을 고려하여 수요탄력성을 조사·분석하여야 한다. 용수 가격 변화에 따른 수요량의 변화를 정확히 파악할 수 있어야 유의성 있는 수요함수의 도출이 가능하다. 그러나 이것은 현실적으로 어렵기 때문에 현재 및 잠재 수요자에게 수요량에 따른 가상적인 지불의사를 직접 물어서 해결하나, 이러한 경우 객관성 확보가 극히 어렵다는 문제점을 내포하고 있다. 현재로서는 수도요금 인상을 통한 수요감소효과를 정량적으로 나타내기는 쉬운 일이 아니다.

물 자체가 갖고 있는 특성과 물관련 산업이 갖고 있는 특이성 그리고 지역적 특성으로 인해 이를 반영할 수 있는 각 용도별 수요함수를 도출해야 한다. 수요함수는 수계별 데이터나 해당지역의 생활용·용수,

공업용 용수, 가격, 급수 인구, 소득 등의 데이터가 필요하다. 도출된 수요함수를 통해 용도별 수요가 가지는 가격탄력성과 소득탄력성을 유도, 분석하고 여러 가지 시나리오를 구상하여 미래 수요량 변화를 예측해야 할 것이다. 이러한 일련의 작업들은 많은 경험 있는 연구자와 충분한 연구기간을 가지고 수행되어야 할 것이다.

물론 수요량의 추정이나 수요절감 효과의 평가는 가격만의 함수가 아니라 경제성장률, 실질소득 및 다양한 수요관리 변수들에 의해 복합적으로 영향을 받게 될 것이다. 이들 가격탄력성의 값을 이용하여 수요관리에 의한 목표 절감량이 제시된다면 소요 가격인상율을 간접적으로 유추할 수 있을 것이다. 우리나라의 생활용수의 가격탄력성의 범위는 각종 보고서에 의하면 -0.229~-1.064 으로 알려져 있다. 이는 다양한 입력변수와 추정방법에 따라 비교적 넓은 범위의 값을 나타내고 있으며, 수도요금은 수요에 비탄력적이라는 분석 결과가 제시되기도 하였다(김광임, 1996).

물부족에 대비하기 위해서는 장기적인 물수급계획을 수립하고 수요관리 효과를 고려한 적정규모를 결정하여야 한다. <그림 9-6>는 수요관리 등의 적용여부에 따른 개발규모의 비교하여 보여주고 있다.

3) 건설시점에 따른 사업규모의 배분

경제성분석 기간동안 수요량이 연도별로 큰 변화를 보이는 경우에는 계획시설이나 대체시설의 건설시

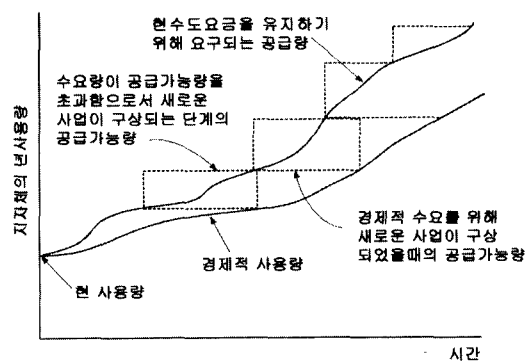


그림 9-6. 수요관리 등의 적용여부에 따른 개발규모의 비교

점을 달리하는 경우를 고려하여 사업규모를 결정하여야 한다. 대체시설의 선정과 비용곡선 도출은 인근지역에 대체시설의 개발가능성 여부, 제반 상황 및 조건을 고려하여 선정하며 일부시설은 고려대상에서 제외할 수도 있다.

4) 최적규모와 한계가치

목적이 다른 용수공급의 최적개발 규모는 이론적으로는 한계가치와 한계공급비용을 같은 점을 찾음으로서 구할 수가 있다. <그림 9-7>에서 보인바와 같이 일반적으로 관개용수는 많은 용수량을 필요로 하나 한계가치(marginal value)는 낮으며, 반면에 도시용수는 적은 용수량에 비해 높은 가치를 나타내고 있다. 두 개의 곡선을 수평적으로 합치면 합성용수의 한계가치와 용수량의 관계를 나타내게 된다.

(3) 홍수조절 시설물의 최적규모

홍수조절편익은 대상사업의 유무(with & without project)에 따른 홍수피해액의 차이이며, 사업시행으로 인해 장차 홍수피해가 감소됨으로써 얻을 수 있는 기대이익이고, 치수편익이라고도 한다. 어느 지역의 수방대책을 수립하는 경우, 일반적으로 하나 또는 둘 이상의 대책이 복합적으로 검토될 수 있으며 최적규모와 이에 따른 경제성분석이 이루어지게 된다.

이를 위해서는 대상구역의 과거 홍수피해조사에 따른 수위-피해곡선(stage-damage curves)이 기본적으로 필요하다. 최적규모를 결정하기 위해서는 홍수조절방안을 선정하고, 댐계획이 있는 경우는 홍수조절용량별로 댐방류량과 이에 따른 하류의 홍수량과 홍수위를 산정하고(하천개수의 경우는 빈도별 홍수량에 대한 값을 산정함), 대안별 홍수조절효과를 검토

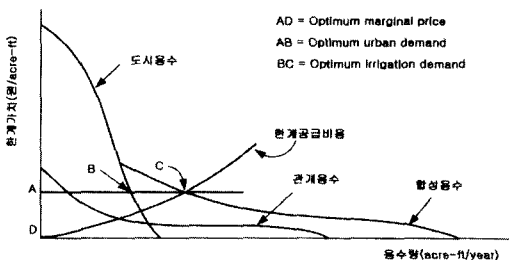


그림 9-7. 도시용수와 관개용수의 용수량과 한계가치

하게 된다. 최종적으로 대안별로 비용과 편익을 산정하여 경제성을 검토하여 최적규모를 결정하게 된다.

1) 홍수 발생확률과 예상피해액 산정

홍수로 인해 침수된 지역의 복구비용은 홍수로 발생하는 홍수피해를 평가하는 수단이 되기도 한다. <표 9-4>는 홍수의 빈도 및 발생확률과 피해액을 복구비 기준으로 나타낸 예이다. 발생확률은 과거홍수로부터 침투홍수량이 특정값과 같아지거나 초과하는 초과확률(exceedance probability)을 결정함으로써 구할 수 있다. <그림 9-8>에서 연평균 예상피해액은 피해액-홍수발생확률 곡선의 아랫부분의 면적으로부터 산정할 수 있다. <그림 9-8>에서 보듯이 연평균 예상피해액은 1억2천만원이 된다.

2) 구조물적 홍수조절 대안

홍수피해를 경감시키기 위해서는 여러 종류의 구조물적 홍수조절 대안이 있을 수 있다. 대표적인 구조물적 방안으로는 상류에 홍수조절용 댐 또는 다목적댐을 건설하거나 제방증고나 하상정비를 통한 하천개보수 대안도 있을 수 있고, 이들의 조합도 가능한 대안이다.

표 9-4. 홍수발생 확률과 피해액

빈도(years)	200	100	50	20	10	2.32
발생확률	0.005	0.01	0.02	0.05	0.10	0.433
피해액(백만원)	881	867	620	500	380	57

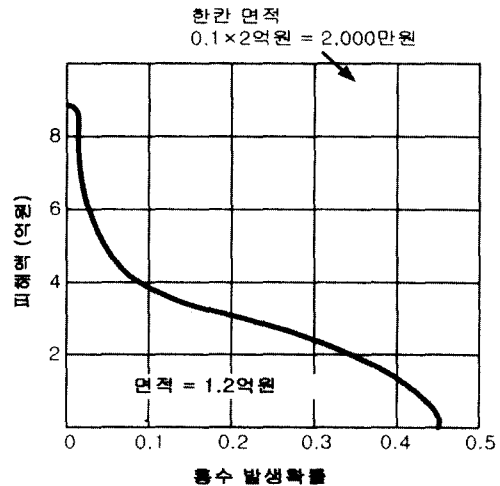


그림 9-8. 홍수 발생확률과 예상피해액 산정

홍수조절용 댐은 하류의 홍수피해를 최소화하기 위한 운영규칙에 따라 여수로 수문을 조절함으로써 운영된다. <그림 9-9>와 같은 수문곡선의 홍수사상이 댐에 유입된다고 가정하면, 가장 이상적인 댐운영은 ACD선으로 홍수유입곡선 ABC의 첨두유량 B를 낮추는 방법이 될 것이다. A점까지 유입량이 댐에 저류되지 않고 하류로 방류되며, 이때부터 댐이 만수될 때까지 저류되어 C점에 도달할 것이다. 마지막으로 댐은 2차 홍수에 대비하여 최대방류량 AC를 초과하지 않는 선에서 가능한 빨리 저류된 물을 방류할 것이다. D점(면적 ABC=CDE)에 이르러 댐은 모든 유입수를 방출하여 비어있는 상태가 되어야 한다. D점 이후에 다시 상류의 유입수는 댐에 저류 없이 하류로 방류된다.

홍수시 이상적인 댐운영은 유입수문곡선의 사전예측이 필수적이다. 그렇지 못하다면 댐운영자는 저류시점인 A를 결정할 수 없을 것이다. 만약 A의 시점을 놓친다면 최대방류량이 ACD선을 초과할 것이며, 반대로 너무 일찍 저류를 시작한다면 저류수위가 C점에 도달하기 전에 만수될 것이다. 점선으로 나타낸 FCG 곡선은 댐에서 방류된 임의 지점의 유출수문곡선을 나타낸다. 면적 FBC=CGE가 되고, 결과적으로 B에서 C의 첨두홍수량을 흡수하는데 필요한 댐의 저류용량은 면적 ABC가 된다.

3) 저수지와 하천개수의 조합

홍수조절계획의 경제성분석을 위한 한계가치는 일반적으로 빈도별 설계홍수의 함수로 표시할 수 있다. 각각의 빈도별 홍수는 여러 대안의 조합으로 표시될 수가 있으며, 댐과 하천개수의 최적 조합은 각 빈도별 홍수에 따른 비용에 따라 결정되므로 최종적으로는

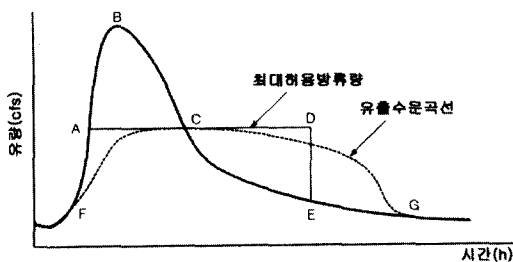


그림 9-9. 홍수조절 운영계획

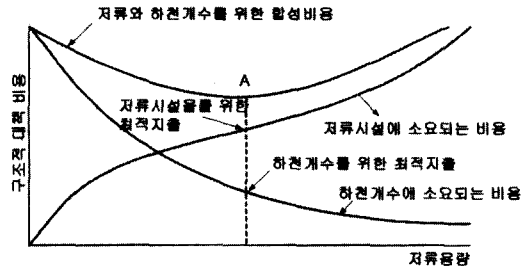


그림 9-10. 저류시설과 하도개선의 비용과 최적조합

빈도의 함수로 표시된다. <그림 9-10>은 초과확률 10% 인 홍수발생에 대해 저류시설(저수지)과 하천개수(제방증고)에 의한 수방대책의 소요비용의 조합을 보여주며, 점선으로 표시한 부분이 최소 비용으로서 최적의 조합을 보여주고 있다. 일반적으로 홍수조절사업의 경제성분석은 빈도별 설계홍수의 함수로 나타내진다. 보다 자세한 홍수조절편익의 산정에 대해서는 “수자원 경제성분석 입문(5)”(본 학회지 2001년 1월호)를 참고하기 바란다.

4) 구조물적 방안과 비구조물적 방안의 조합

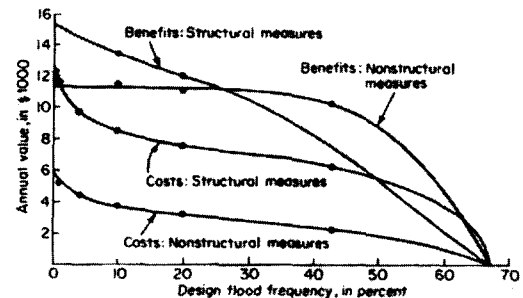


그림 9-11. 빈도별 홍수조절에 대한 방안별 총비용 및 총편익곡선

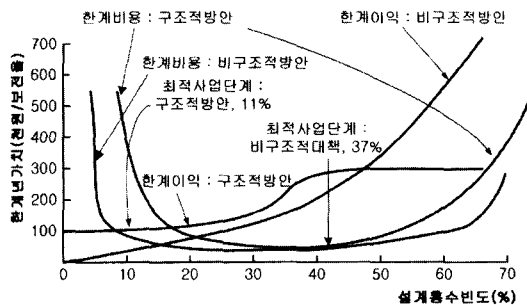


그림 9-12. 홍수조절 방안에 대한 한계가치곡선

홍수피해를 방지하기 위해서는 구조물적인 방안뿐만 아니라 비구조물적 방안을 조합하여 최적대안을 선정할 수 있다. <그림 9-11>은 홍수빈도별 구조물적인 방안과 비구조물적인 방안에 따른 총비용과 편익 곡선을 나타내며, <그림 9-12>는 이들로 부터 구한

한계비용과 한계편익을 보여주고 있다. 구조물적 방안과 비구조물적 방안의 최적조합은 각각 홍수의 초과확률이 11%와 37% 인 경우로서, 이들 빈도에 해당하는 대상홍수의 최적규모를 구할 수가 있다. ●