국토연 2002-2

View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

provided by K

합리적 수자원 배분모형 설정에 관한 연구

Design of Water Allocation Model
-Efficiency and Risk Aspects-

김종원

國土硏究院

연 구 진

연구책임 · 김종원 연 구 위 원

국토연 2002-2 · 합리적 수자원 배분모형 설정에 관한 연구

글쓴이 · 김종원 / 발행자 · 이규방 / 발행처 · 국토연구원
출판등록 · 제2-22호 / 인쇄 · 2002년 12월 26일 / 발행 · 2002년 12월 31일
주소 · 경기도 안양시 동안구 관양동 1591-6 (431-712)
전화 · 031-380-0426(정보자료팀) 031-380-0114(대표) / 팩스 · 031-380-0474
값 · 6000원 / ISBN · 89-8182-201-8
http://www.krihs.re.kr

©2002, 국토연구원

* 이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서
정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

서 문

수십년간 전 세계는 고갈되어 가는 자원에 대한 걱정의 목소리를 높여왔다. 특히, 최근의 환경적 이슈가 이러한 염려를 더욱 고조시키고 있다. 생명체의 존속을 위해 가장 중요한「맑은 물」은 고갈되어 가는 자원이라는 측면과 수질오염이라는 환경적인 양면을 모두 갖고 있는 하나의 상품이다. 우리나라는 1960년대 이후 지속적인 경제성장과 도시화에 따른 물 수요가 지속적으로 늘어왔고 이에 대한 정부의 수자원개발에 대한 노력으로 수요에 부응하여 왔다. 이러한 노력의 결과로 개발가능한 수자원을 상당량 확보하고 있음에도 불구하고 맑은 물의 부족에 대한 염려는 지속적으로 대두되고 있다.

물의 부족에 대한 대처방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 댐 등의 수자원 개발을 통한 방법, 수요관리를 통한 수요의 억제, 두 가지 방법의 병행 등이 될 수 있다. 지금까지 우리나라의 물 관리정책을 보면 건설교통부와 농림부를 중심으로 한 공급확대정책, 환경부의 생활용수를 중심으로 한 수요관리정책으로 크게 대별해 볼 수 있다. 그러나 본 연구는 이러한 방법을 통한 공급확대나 수요관리와는 다른 차원인 기 개발된 수자원을 다양한 수요처간에 어떻게 배분하는 것이 국가적으로 효율적인가를 다루고 있다. 특히, 아무리 댐 등의 건설을 통하여 용수공급능력을 확보하였다하더라도 이상가뭄의 지속으로 댐 등의 저수지에 저장할 수 있는 물 자체가 부족할 경우에는 물 수요처간의 경쟁으로 인한 물 분쟁에 대한 해결을 더욱 어렵게 할 것이다.

이러한 배경하에서 본 연구는 물이라는 변수는 하나의 확정된 양이 아니라 강우량에 의존하는 하나의 확률변수로서 유량의 평균과 편차에 의해서 물 배분방법이 달라질 수 있으므로, 이러한 여건을 감안하여 수요처간에 어떻게 물을 배분하는 것이 가장 경제적 효율성을 높일 수 있는 배분방법인가를 찾고자 하고 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 경제적 효율성을 달성할 수 있는 물 배분 모형을 설정하고, 사례대상지역 연구를 통하여 효율적인 물 배분방법의 대안을 비교·검토함과 동시에 개별 수요처가 직면할 수 있는 위험도 분석을 병행하여 제시함으로써 정책결정자가 보다 합리적인 대안을 선택할 수 있도록 하고 있다. 여기서 제시된 연구결과는 용도를 고려한 상·하류간의 물 배분량을 결정하는 방법에 기여할 수 있을 것이다. 또한 개별 유역 또는 저수지별로 수요처간의 물 배분 협약 등의 사전적 제정으로 가뭄에 따른 물 부족시의 물 배분에 따른 분쟁을 사전적으로 차단할 수 있을 뿐만 아니라 한정된 수량을 가장 효율적인 방법으로 배분함으로써 국가의 수자원운용계획수립에 기여할 수 있을 것으로 기대한다. 여기서의 연구 결과는 남북한을 가로질러 흐르는 공유하천인 임진강과 북한강 유역의 물 배분협상에도 커다란 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구를 위해 최선의 노력을 다해 준 김종원 연구위원에게 감사를 표한다. 본 연구를 진행하면서 부딪히는 여러 가지 어려운 점을 아무런 보수도 없이 연구의 동반자로서 진지하게 함께 고민해주고 좋은 의견을 제시하여 주신 영남대학교의 한동근 교수에게는 특별히 감사의 말씀을 드리고자 한다. 그리고 본 연구의 외부심의위원으로 참여한 서울대학교 지구환경시스템공학부 허은녕 교수를 비롯한 원내의 연구심의위원께도 감사드린다. 마지막으로 본 연구의 결과들이 정부정책 수립에 많은 도움이 되길 바란다.

2002년 12

원장 이 규 방

요 약

본 연구는 기존의 물 배분방법의 개선을 통한 사회적 효용을 극대화할 수 있는 합리적인 물 배분 모형을 설정하는데 있다. 이를 위하여 유역내 또는 유역간의 상이한 수문학적 조건, 상이한 경제적 여건, 그리고 물 이용에 따른 경제성 등을 고려하여 사회적 후생을 극대화할 수 있는 물 배분방안을 모색하고자 하였다. 특히, 본 연구에서는 기존의 연구에서 등한시하고 있는 경제적 효율성 관점에서의 지속가능한 수자원 배분체계를 확립하는데 기초가 될 연구를 수행하여 정책적 의사결정에 도움을 주는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적의 달성을 위하여 다음과 같은 접근방향을 설정하였다. 먼저 경제적 효율성을 반영한 사회적 기대이익을 최대화할 수 있는 목적함수를 설정한 뒤, 기대이익을 극대화하는 배분모형을 다루고 있다. 본 모형에서 다루고 있는 배분모형은 최적 배분, 비율배분, 고정배분이라는 세 가지 형태의 배분방법을 다루고 있다. 특히, 본 연구에서 다루고 있는 모형은 단순하면서도 분석의 결과를 통한 지역간・용도간에 합리적으로 물을 배분하는 방안을 제시하고자 하였다.

이를 위해 제2장에서는 우리나라의 물 배분제도의 현황과 문제점의 분석을 통하여 합리적 물 배분방법의 필요성을 제시하고 있다. 우리나라의 수자원 배분관련제도를 보면 유역내의 상·하류간 물 이용 및 배분에 대한 기준이나 협약이 미흡하여 상·하류간에 분쟁발생시 해결에 어려움을 겪고 있다. 비록 모든 물을 국가소유로 하고 있지만 기득수리권이나 관행수리권을 인정하는 등 권리관계가 명

확하지 않고, 하천으로부터 용수를 이용하는 농업용수에 대한 법적인 등록이나 평가없이 물이 배분되다보니 효율적 물 배분이 이루어지지 않고 있다. 특히, 물이 부족할 경우에 어떠한 기준에 의하여 물이 배분되어져야하는지에 관한 법·제도적 장치의 미흡으로 물 분쟁이 끊이지 않고 재연되고 있다.

제3장에서는 국내·외 물 배분관련 모형에 대한 문헌연구를 다루고 있다. 우선 국내의 연구는 물 배분을 선형계획기법 및 동학적 기법으로 접근한 연구가 있다. 이들 연구는 목적함수로 편익의 최대화 및 비용의 최소화문제를 다루면서 가장 중요한 물의 용도별 편익산정 방식에 커다란 문제점을 노출시키고 있다. 예를 들면, 비용최소화문제를 다루면서 거리의 최소화를 비용최소화와 동일한 것으로 간주하여 모형을 분석함으로써 그 결과를 왜곡하거나, 편익을 도출하면서 지역의 총생산액과 물 사용량과의 단순회귀분석을 통하여 편익을 추정하고 있다. 이 경우에는 다른 모든 요소를 고정시키고 물 사용량만을 변화시킴으로써 과대추정의 문제가 발생한다.

외국의 사례를 보면, 1980년대 이후에 진행된 연구의 대부분은 단순한 선형계획(수송모델)에 의한 물 배분을 다루는 것이 아니라 물의 용도별 가치를 정확히 반영할 수 있는 모형의 개발이 주류를 이루고 있다. 특히, 유역의 물 배분을 위하여 경제-수문통합모델을 개발하고 있고, 용도별 물의 가치를 정확히 반영하여 이를 편익함수 추정에 이용하는 노력을 기울이고 있다. 다른 하나는 정부주도의 물 배분이 비효율적이라는 판단하에 물 부족지역을 중심으로 시장기능에 맡겨 물이 효용가치가 높은 방향으로 이동하도록 하는 제도적 변화를 꾀하고 있고, 여기에 대한 효과를 분석하는 연구가 주종을 이루고 있다. 결론적으로 외국의 경우 물 배분이 기술적인 차원의 물 배분이 아닌 물의 용도별 가치에 중점을 두고 물 배분을 도모하고 있다. 제3장 제2절에서는 수자원의 경제적 가치를 추정하는 이론적 방법을 생활용수, 농업용수, 공업용수 등 용도별로 다루고 있다. 일반적으로 생활용수는 수요함수의 도출을 통한 수요의 탄력성을 이용하는 게 주류이고, 농업용수는 생산함수를 이용하거나 예산분석방법을 이용하는 경우가 주류이다. 공

업용수는 공정에 투입되는 물을 재활용하는데 드는 비용을 업종별로 추정하여 물 사용가치의 대리변수로 많이 사용하고 있다.

제4장에서는 본 연구의 중점인 물 배분에 따른 사회적 기대이익을 최대화하는 물 배분모형을 정립하고 있다. 여기서 다루고 있는 모형은 두 지역 모델이지만 두 지역은 개별 지역내의 수요처별 물의 용도를 고려하고 있기 때문에 정확히 말하면 물의 용도를 고려한 두 지역모델이다. 이 제안된 모형을 이용하여 유역의 상황과 계절별로 용도를 고려한 상ㆍ하류간의 물배분을 어떤 형태로 배분하는 것이 경제적 효율성 측면에서 바람직한가를 고찰하였다. 유역의 수문학적 특성을 반영하기 위해서는 유량자료의 유량을 하나의 확률변수로 설정하여 보다 현실적인 접근을 시도하였다. 여기서 이론적으로 최적배분방안을 먼저 도출한 뒤, 현실적인 적용 상의 문제점 등으로 고정배분과 비율배분을 동시에 도출하고 있다. 따라서 기대이익을 최대화하는 목적함수로부터 먼저 최적배분의 조건을 도출하고, 다음으로 비율배분량과 고정배분량을 각각 도출하여 이들간의 이론적 비교를 시도하였다. 여기서의 비율배분이라 함은 항상 일정하게 상・하류간에 비례적으로 배분하는 것이 아니라 기대유량과 편차에 따라서 상류지역과 하류지역에의 배분비율을 어떻게 조정하는 것이 사회적 기대이익을 최대화하는 배분방법인지를 찾는 방법이다. 또한 고정배분방법도 용도를 고려한 상・하류간의 물 배분시에 항상 일정하게 하류지역에 얼마의 물을 고정적으로 배분하는 것이 아니라 기대유량과 편차에 의하여 고정배분량을 어떻게 달리하는 것이 주어진 여건하에서 사회적 기대이익을 최대화할 수 있는지를 다루는 방법이다.

제5장에서는 이 연구의 이론적 모형을 합천댐 하류의 황강유역을 대상으로 적용 및 분석하여 보았다. 먼저 상류지역은 합천군의 생활용수 및 관개용수, 그리고 칠서공업단지의 공업용수로 설정하였고, 하류지역은 마산・창원시의 생활용수, 그리고 울산공업단지에 공급하는 공업용수로 설정하였다. 다음으로 유량의 기대값과 유량의 분산을 고려한 경제적 효율성에 기준한 최적배분, 비율배분, 고정배분 등의 방법별로 상・하류간의 배분량과 그때의 사회적 편익을 추정하였

다. 마지막으로 본 연구에서는 효율성뿐만 아니라 개별 물 배분방법에 따라서 상·하류가 부담하게될 위험도 분석을 통하여 형평성의 문제를 다루었다. 이렇게 함으로써 지속가능한 수자원관리에 필요한 효율성과 형평성을 동시에 고려한 연구를 진행함으로써 연구의 결과물의 실용성을 제고하였다. 형평성을 고려한 상·하류간의 위험도 분석은 유량의 기대값과 분산을 이용한 변이계수를 사용하여 추정하였다. 분석의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 최근 13년간의 평균유량자료를 이용한 현재의 수요처간의 물 배분에서는 수요량보다 공급량이 많아서 배분의 문제가 발생하지 않는다. 그러나 갈수기에는 공급량이 수요량에 미치지 못하여 배분의 문제가 중요하게 대두된다.

둘째, 여기서는 물 수요처를 상·하류로 구분하여 배분하고 있지만, 상·하류 구분시에 물의 용도를 고려하고 있으므로 이러한 방식을 상·하류 지역내의 모든 수요처에 동일하게 적용할 수 있다. 즉, 여기서의 배분방법을 이용하여 상·하류지역에 물을 일정량씩 배분하였다고 가정하면, 배분된 량을 기준으로 상류지역내의 수요처를 두 부문으로 분리하여 동일한 방법을 통하여 배분할 수 있다.

셋째, 방류량 자료를 보면 풍수기에는 연평균 유량이 10억톤에 달하나 갈수기에는 3억톤 이하로 떨어지는 점을 감안하여, 다양한 유량 시나리오 (유량의 기대값과 편차의 고려)를 통하여 물 부족시에 어떻게 물 배분을 하는 것이 가장 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 효율적인 배분이 될 수 있는지를 살펴보았다. 그 결과, 평균기대유량이 4억톤일 경우는 유량의 분산이 아주 큰 경우를 제외하고는 비율배분으로 배분하는 것이 가장 효율적임을 알 수 있었다. 이 경우의 위험도 분석 결과도 비율배분을 하는 것이 사회적 위험도를 동시에 낮출 수 있는 대안임을 알 수 있었다. 기대 유량이 3억5천만톤, 3억톤, 2억5천만톤으로 줄어들수록 유량의 고정배분이 효율적인 경우가 점점 더 늘어나고 있음을 발견하였다. 이는 하류지역의 물 소비량이 상대적으로 큰 상황 하에서, 가용수량이 적어질수록 하류지역으로 배분하는 몫을 일정하게 보장하는 것이 사회적으로는 더 효율적이라는 것이다.

넷째, 우리나라와 같이 강우가 특정 계절에 집중됨으로 인하여 강우량이 적은 1/4분기의 가용용수를 합리적으로 배분하는 방법을 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다. 1/4분기는 전체 용수의 약 50%를 사용하는 농업용수에 대한 수요가 발생하지 않는 시기로서 평균유량이 많은 경우에는 비율배분이 사회적 기대이익을 극대화하는 배분방법이지만, 위험도 측면에서는 유량의 편차가 큰 경우에는 비율배분이, 적은 경우에는 고정배분이 유리한 것으로 나타나고 있다. 기대유량이 8천만톤, 5천만톤으로 줄어듦에 따라 유량의 편차가 큰 경우는 고정배분방법이 비율배분방법보다 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 배분방법으로 나타났지만, 위험도 측면에서는 비율배분이 대부분의 경우에 유리하게 나타났다.

다섯째, 2/4분기는 본격적인 농사철이 시작되는 시기로서 농업용수에 대한 용수수요가 발생하는데 따른 상·하류간의 물 배분량과 사회적 기대이익을 최대화하는 배분방안을 살펴본 결과, 상류지역의 농업용수수요가 많은 시기의 합리적 배분방안을 보면 1/4분기와는 달리 기대유량이 1억톤이고 유량의 편차가 적은 (□=50) 경우를 제외하고는 모든 경우에 고정배분방식이 사회적 기대이익을 극대화하는 배분방법으로 나타났다. 이상의 분석결과를 다시 요약하면 경제적 효율성을 감안함과 동시에 각각의 배분방법에 따라서 나타날 수 있는 수요자의 위험도를 분산분석을 통한 변이계수로 살펴본 결과, 경제적 효율성을 극대화하면서 위험도를 동시에 최소화할 수 있는 경우가 있는가 하면, 효율성과 위험도는 상충관계(trade-off)로 나타나는 경우도 있어서 정책결정자가 유역의 상황, 배분방법별 기대이익의 차이, 위험도의 크기 등을 고려하여 상·하류지역간의 배분방법을 선택해야 할 경우가 발생하고 있음을 알 수 있었다.

제6장은 맺음말로서 본 연구의 요약과 한계점 그리고 향후의 정책과제를 제언하였다. 본 연구는 경제적 효율성을 고려한 물 배분모형을 설정하면서 수요처간의 물 배분을 확률적인 기법을 고려하여 추정한 연구로서 국내에서는 처음으로 소개된다는 점에서 의의를 찾을 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 경제적 효율성을 고려하면서 유량의 분산을 고려한 위험도 분석을 동시에 시도하였다는 점에

서 물 배분정책의 발전에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 여기서는 비록 다양한 수요처를 상·하류로 가정하여 용도를 고려한 두 지역간의 물 배분을 다루고 있지만, 정책적 의미는 크다고 할 수 있다. 왜냐하면 여기서 배분된 상·하류간의 수량을 통하여 다시 상류지역 및 하류지역내의 수요처간에 동일한 기준으로 배분할 수 있기 때문이다.

본 연구를 통하여 제시할 수 있는 정책대안으로는 첫째, 물의 양에 따라 수요처별로 배분될 수 있는 수량의 종류를 달리할 필요가 있다. 둘째, 허가수리권을 연간 수량으로만 허가 할 것이 아니라 가뭄이 자주 발생하는 1월에서 6월 사이에는 분기별 또는 월별로 가뭄의 정도에 따라서 허가수리권의 양을 구체적으로 명시할 필요가 있다. 셋째, 유역별로 물 사용자간에 물 배분협약 등을 제정할 필요가 있다. 넷째, 여기서 제시한 효율성과 형평성의 원칙에 입각하여 댐 용수의 재배분을 도모할 필요가 있다. 다섯째, 남북을 가로지르는 공유하천에 대한 용수의 배분협정이 조속히 체결할 필요가 있다.

끝으로 향후의 연구과제로는 유역의 특성이 다른 지역을 대상으로 여기서 검토된 방법론을 적용할 경우에 발생할 수 있는 문제점을 보완한다든가 하여 보다 적용가능성이 높은 배분방안을 모색할 필요가 있다. 또한 정책제안으로 제시한 내용에 대한 보다 지속적이고 심도 있는 연구가 수행될 수 있도록 모형개발 및 배분기술개발에 중앙정부 차원의 지속적인 지원이 필요하다.

차 례

서 문 ····· i
요 약 ····· iii

제1장 서론

1. 연구의 필요성 ····· 1
2. 연구의 목적 ····· 2
3. 연구의 범위 및 방법 ····· 3
4. 기대효과 ····· 4
5. 연구보고서의 구성 ····· 4

제2장 물 배분 현황과 문제점

1. 물 배분현황 ····· 9
2. 물 배분상의 문제점 ····· 11
   1) 허가상의 문제 ····· 11
   2) 물 배분 법·제도상의 문제 ····· 14

제3장 물 배분관련 이론 연구

1. 모형관련 문헌연구 ····· 19
   1) 국내 ····· 19

2) 국외 ····· 21
3) 통합모형의 개관 ····· 25
4) 국내 · 외 사례의 시사점 ····· 29
2. 물 배분모형정립에 필요한 경제적 이론 ····· 30
1) 수자원의 물리적 특성 ····· 30
2) 수자원의 경제적 특성 ····· 31
3) 수자원의 가치 ····· 34
4) 모형추정과 관련된 편익의 측정방법론 ····· 37

제4장 물 배분모형의 설정

1. 이론적 모형 정립 ····· 47
2. 최적배분 모형 ····· 51
3. 비율배분과 고정배분 ····· 55
1) 효율적인 비율배분량 ····· 55
2) 효율적인 고정배분량 ····· 56
4. 이론적 배분방법의 비교 ····· 58
5. 위험도 분석 ····· 59

제5장 물 배분 모형을 이용한 합리적 물 배분방안

1. 대상지역 및 자료 ····· 61
2. 편익함수의 추정 ····· 62
1) 연간 편익함수의 추정 ····· 62
2) 분기별 편익함수의 추정 ····· 67
3. 배분대안별 효율성 분석 ····· 69
1) 배분방법별 추정절차 ····· 69
2) 합리적 배분 대안 ····· 73
4. 배분대안별 위험도 분석 ····· 88
1) 배분대안별 분산분석 ····· 88
2) 위험도 분석방법론 ····· 92

3) 연도별 자료의 위험도 분석결과 ····· 93
5. 분석결과의 요약 ····· 107

제6장 요약 및 정책제언

1. 요약 ····· 113
2. 정책제언 및 연구의 한계 ····· 116

참고문헌 ····· 121
SUMMARY ····· 125
부 록 ····· 131

표 차례

<표 2-1> 국가·지방하천 유수사용 허가현황('90~2001.10) ····· 12

<표 3-1> 생산함수를 이용한 물의 한계가치 추정치 ····· 42
<표 3-2> 텍사스의 High Plains 지역의 물의 가치 ····· 43
<표 3-3> 오염 폐수규제가 산업용수 비용과 재사용에 미치는 영향 ····· 45

<표 5-1> 분기별·용도별 최적 용수량 및 편익 ····· 68
<표 5-2> 분기별 상·하류의 편익함수 추정결과 ····· 68
<표 5-3> 배분방법별 배분량 및 기대편익 ····· 74
<표 5-4> 유량 및 편차 시나리오 ····· 76
<표 5-5> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형1 ····· 77
<표 5-6> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형2 ····· 78
<표 5-7> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형3 ····· 79
<표 5-8> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형4 ····· 80
<표 5-9> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형5 ····· 81
<표 5-10> 배분방법별 배분량 및 기대편익(1/4분기) ····· 83
<표 5-11> 유량 및 편차의 시나리오(분기별 자료) ····· 83
<표 5-12> 사례유형별·배분방법별 배분량 및 기대편익(1/4분기) ····· 85
<표 5-13> 배분방법별 배분량 및 기대편익(2/4분기) ····· 86
<표 5-14> 배분방법별 배분량 및 기대편익(2/4분기) ····· 88

<표 5-15 > 상·하류의 소비량에 따른 분산 ····· 96
<표 5-16 > 변이계수 ····· 97
<표 5-17 > 배분방법별 위험배율 ····· 98
<표 5-18 > 상·하류의 소비량에 따른 분산(1/4분기) ····· 102
<표 5-19 > 변이계수(1/4분기) ····· 103
<표 5-20 > 배분방법별 위험도 분석 (1/4분기) ····· 104
<표 5-21 > 상·하류의 소비량에 따른 분산(2/4분기) ····· 105
<표 5-22 > 변이계수(2/4분기) ····· 106
<표 5-23 > 배분방법별 위험도 분석 (2/4분기) ····· 106
<표 5-24> 사회적 기대이익 및 위험도 측면에서 최적 배분대안 (연도별) · 110
<표 5-25> 사회적 기대이익 및 위험도 측면에서 최적 배분대안 (1/4분기) 111
<표 5-26 > 사회적 기대이익 및 위험도 측면에서 최적 배분대안 (2/4분기)111

그림 차례

<그림 1-1> 연구의 흐름도 ····· 7

<그림 3-1> 총가치와 한계가치 ····· 36
<그림 3-2> 수요함수와 지불의사 ····· 38
<그림 3-3> 공업용수의 재사용 ····· 44

<그림 4-1> 상·하류간의 최적배분방안 ····· 52
<그림 4-2> 배분대안별 이론적 비교 ····· 59

<그림 5-1> 편익함수의 추정절차 ····· 65
<그림 5-2 > 위험배율: 사례유형1 ····· 99
<그림 5-3 > 위험배율: 사례유형2 ····· 99
<그림 5-4 > 위험배율: 사례유형3 ····· 100
<그림 5-5 > 위험배율: 사례유형4 ····· 100

CHAPTER 1

서 론

1. 연구의 필요성

물 배분이라 함은 한정된 용수를 물을 필요로 하는 수요처에 합리적으로 나누어주는 일련의 행위를 말한다. 우리나라의 물 배분의 근간은 허가에 의하여 이루어지고 있다. 그러나 동일한 하나의 하천에서도 하천의 등급에 따라 허가주체가 달라 용수배분이 합리적으로 체계화되어 있지 않고, 부처별로 분리·운영되고 있는 등 물 배분에 어려움을 겪고 있다. 향후 신규 수자원 개발이 점점 어려워지고 공급 총량이 한정된 수자원의 분배를 둘러싼 용도간·지역간 갈등이 심화될 것으로 예상되어 합리적 물 배분방안의 모색이 요구된다. 현재 유역내의 수자원의 지자체별 또는 용도별로 합리적 배분 기준이 모호하여 가뭄이나 갈수기에 물 배분을 둘러싼 물 배분 분쟁이 반복되고 있는 실정이다.

외국의 경우는 물의 배분과 관련하여 초기의 수문학적 모델에서 출발하여 유역의 수문 및 경제적 효율성을 고려한 수문-경제통합모델을 개발하여 물 배분에 적용하고 있다. 특히 지역간 물 배분협상 및 협정의 체결 및 갱신을 위한 배분모형에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 최근에는 물 시장제도가 도입된 지역을

중심으로 정부주도의 물 배분과 물 시장을 통한 물 배분의 효과를 비교하기 위하여 물 시장에 대한 효율성을 측정하는 연구가 많이 진행되고 있다.

우리나라의 경우는 중앙정부 주도로 물 배분을 시행하고 있지만 정책적 차원에서 물 배분방법에 대한 연구는 거의 없고 댐 용수배분 등에 대한 공학적 차원에서 이루어진 연구가 몇 개 있다. 지금까지의 수자원정책이 용수공급원 확보 및 치수중심으로 이루어 지다보니 배분에 대한 문제는 상대적으로 소홀히 다루어져 왔음을 알 수 있다. 댐 용수의 경우도 댐 설계시 하류지역의 지자체의 생활용수, 관개용수, 공업용수에 대한 장래수요만을 감안하여 설계하고 배분하다보니, 현재의 시점에서 평가하면 유역전체 또는 유역간의 형평성 차원에서 합리적 배분이 이루어지지 않고 있다. 특히, 댐 건설이후에 하류지역의 도시화, 산업화로 인한 농경지의 감소, 최근에는 도시지역의 오염산업의 퇴출 등으로 기 배분된 용수에 대한 기득 및 허가수리권이 소멸되었음에도 불구하고 이에 대한 체계적인 정보의 구축이 미흡한 실정이다.

따라서 먼저 유역의 가용수자원에 대한 정보체계구축, 그리고 기득 및 허가수리권에 대한 조사를 바탕으로 우리나라도 합리적 물 배분방법 및 모형에 대한 연구를 통하여 보다 합리적인 국가 물 배분정책의 수립이 요구되고 있다.

2. 연구의 목적

이러한 연구의 필요성에 맞추어 본 연구는 가용수자원의 합리적 물 배분을 달성할 수 있는 모형을 설정하는 것을 목적으로 하고 있다. 이 모형을 이용하여 가뭄 등으로 물 부족시 지역간 물 분쟁을 사전적으로 예방하거나 상·하류간의 물 배분협정 등에 유용하게 사용될 수 있는 지역간·용도간 물 배분방법을 찾고자 한다. 여기서의 모형은 기존의 연구에서 등한시하고 있는 경제적 효율성 관점에서의 지속가능한 수자원 배분체계를 확립하는데 기초가 될 모형으로서 정책적 의사결정에 도움을 주도록 하는 것을 주목적으로 한다. 이러한 주목적 외에도 부

수적으로 다음과 같은 목적을 함께 달성할 수 있다. 기 개발된 수자원을 국가 전체적인 효율성 측면에서 물 배분을 다룸으로서 비효율적으로 사용되거나 낭비되고 있는 물을 효율성이 높은 쪽으로 배분될 수 있는 여건을 조성할 수 있다는 점이다. 다음으로 유역내의 가용수자원의 통합적 관리를 통하여 기 개발된 수자원의 공급능력을 제고함으로서 신규 수자원개발의 부담을 줄일 수 있는 효과도 기대할 수 있다.

3. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 물 배분모형을 외국에서와 같이 유역내의 수문-경제통합모형을 개발하는 것이 아니라 이러한 통합모형을 국가적 차원에서 개발을 하여야 할 당위성과 필요성을 제시할 수 있는 보다 단순화된 모형을 설정하여 분석하고자한다. 그러나 비록 단순화된 모델이라고 하더라도 정책결정자가 의사결정을 하는데 필요한 정보를 충분히 줄 수 있는 수준의 모델을 설정하고자 한다. 외국에서 사용되고 있는 모델을 국내에 적용하기에는 모델에 필요한 자료의 부족, 고려해야 할 요소 등이 달라 그대로 적용하는데는 한계가 있다. 이 부분은 수자원 공학적 차원에서 모형을 우리 실정에 맞게 설정할 수 있는 모형연구를 별도로 진행하여야 할 것으로 판단된다.

모형의 설정방법은 문헌조사, 외국의 물 배분관련 이론 등에 대한 비교분석을 통하여 우리나라에 적합한 물 배분 모형 및 방안을 찾고자 한다. 경제적 효율성 관점을 중요시한 연구를 중심으로 검토하고, 물 배분과 관련된 경제적 이론 즉, 수자원의 가치측정의 중요성, 방법론 등을 자세히 다루고자 한다.

물 배분 모형의 이론적 분석에서의 대전제는 유량을 하나의 확률변수로 설정하여 유량의 기대평균, 유량의 편차를 고려한 물 배분 모형을 설정하고자 한다. 즉, 수문학적 특성을 반영한 경제모형을 설정하여 분석을 시도하고자 한다. 특히, 하천에 흐르는 유량은 확정적인 것이 아니고 강우량과 지형 및 주변 여건에 따라

서 유동적이라는 현실적인 측면을 고려할 수 있는 방법을 찾고자 한다. 우리나라의 특정사례지역을 대상으로, 본 연구에서 정립한 물 배분모형을 적용할 경우에 보다 합리적으로 물 배분이 이루어 질 수 있음을 보여주고자 한다. 사례지역은 합천댐 하류지역인 황강지역으로서 상류지역의 생·공용수 및 농업용수와 하류지역의 생활, 공업용수의 확보(여기에는 유역이전을 통한 물배분 포함: 울산공업단지)를 위한 효율적인 물 배분이 유역의 유량상황에 따라 어떻게 이루어지는 것이 바람직한가를 구체적으로 보여주고자 한다.

4. 기대효과

본 연구를 통하여 얻을 수 있는 기대효과로는 용도를 고려한 상·하류간의 물 배분량을 결정하는 방법론의 개선에 기여할 수 있을 것이다. 특히, 수자원분야의 지속가능성, 효율성, 형평성 등의 세 가지 원칙론적인 언급은 있었지만 본 연구에서 지속가능한 수자원배분을 위하여 효율성과 형평성을 고려한 모형을 설정하였다는 점이다. 또한 개별 유역 또는 저수지별로 수요처간의 물 배분 협약 등의 사전적 제정으로 가뭄에 따른 물 부족시의 물 배분에 따른 분쟁을 사전적으로 차단할 수 있을 뿐만 아니라 한정된 수량을 가장 효율적인 방법으로 배분함으로써 국가의 수자원운용계획수립에 기여할 수 있을 것으로 기대한다. 여기서의 연구 결과는 남북한을 가로질러 흐르는 공유하천인 임진강과 북한강 유역의 물 배분협상에도 커다란 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

5. 연구보고서의 구성

본 연구의 목적을 달성하기 위하여 제2장에서는 우리나라의 물 배분 현황과 문제점을 다루고 있다. 여기서는 우리나라의 물 배분이 어떠한 법·제도적 기준에 근거하여 배분되고 있는지를 살펴보는 것과 현재의 물 배분방법상에서 노정

되고 있는 문제점을 살펴봄으로써 본 연구에서 추구하고자 하는 물 배분 모형 개발의 당위성을 확보하고자 한다.

제3장은 물 배분관련 이론적 검토를 위한 장으로 마련하였다. 여기서는 먼저 국내의 물 배분관련 문헌연구를 살펴보고자 한다. 검토의 초점은 모형의 유형, 분석의 방법, 결과의 유용성 등이다. 특히, 목적함수를 순 편익을 최대화하는 경우에 어떠한 방법으로 물의 용도별 가치를 추정하고 있는지, 이러한 추정방법이 현실적인 대안이 될 수 있는지를 살펴보고자 한다. 외국의 물 배분 관련 모형연구는 시간적 변화를 두고 어떠한 모형들이 개발되고 어떠한 분석 추세인지를 파악하는데 중점을 두고자 한다. 다음으로 이러한 물의 가치를 바탕으로 한 물배분 모형의 적용시 용도별로 이론적 근거와 실제 적용사례를 함께 검토하고자 한다. 여기서는 먼저 수자원의 경제적 특성을 살펴본 후에 본 연구와 직접적인 관계가 있는 생활용수, 공업용수, 관개용수만을 대상으로 하였다[1].

제4장은 본 연구에서 다루고자 하는 물 배분 모형의 이론적 설정부분으로 물의 용도를 고려한 두 지역[2] 모델을 설정하여 출발하고자 한다. 이를 위하여 편익을 최대화할 수 있는 목적함수를 설정한 뒤, 편익을 최대화할 수 있는 조건을 도출하여 최적배분방법을 설정하고자 한다. 그러나 최적배분의 경우는 현실적인 적용측면에서 발생할 수 있는 어려움 때문에 차선책으로 비율배분과 고정배분을 통한 합리적 물 배분방안을 함께 다루고자 한다. 이들 배분방법들은 최적배분 값을 도출하는 목적함수를 동일하게 적용하여 비율배분과 고정배분이라는 제약조건 하에서의 효율적인 배분량을 결정하는 방법이다. 끝으로 이론적으로 최적배분과 비율배분, 그리고 고정배분의 경제적 의미를 도출하고 이론적 관계를 설명

1) 그 외의 전력생산, 레크리에이션, 주운 등의 경제적 가치를 추정하는 방법은 Gibbon(1986)을 참고하기 바란다.

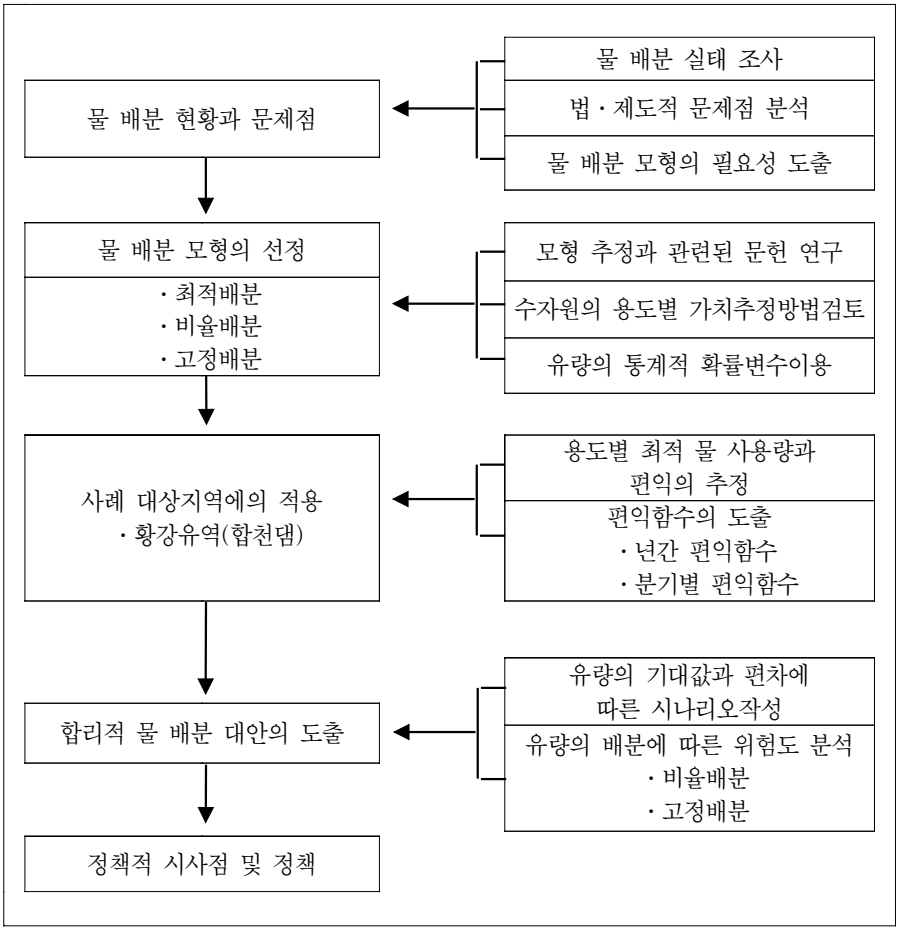
2) 여기서 두 지역이라 함은 특정지역의 수원을 이용하는 수요처를 두개로 구분하여 설정함을 의미한다. 전형적인 것이 상류와 하류지역으로 구분하여 설정하는 것이고, 다른 방법은 생활용수와 농업용수로 구분하여 다룰 수도 있고, 농업용수만을 대상으로 상·하류로 구분하여 접근 할 수도 있다. 따라서 본 모형에서 다루고자 하는 두 지역모델은 비록 단순하지만, 다양한 물 배분에 응용할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 본 연구에서는 상·하류 지역의 물의 용도를 고려한 두 지역모델을 설정하였다.

하고자 한다.

제5장은 이론적인 모형의 적용을 통한 합리적 배분방안을 다루고자 한다. 먼저 사례지역을 합천댐이 있는 황강지역으로 하고, 수요처로는 현재 합천댐의 용수를 이용하고 있는 지역중에서 상류지역은 합천군의 생활용수, 관개용수, 그리고 함안군에 위치한 칠서공단의 공업용수 수혜지역으로 상정하고, 하류지역으로 마산·창원시의 생활용수, 그리고 울산공단의 공업용수의 수혜지역으로 하고자 한다. 유량의 확률적 기대값과 편차를 이용하여 최적배분, 비율배분, 그리고 고정배분방법별로 효율성을 극대화하는 배분량과 그때의 사회적 기대값을 구하고자 한다. 여기에는 년간자료를 이용한 배분량과 우리나라의 강우의 계절적 특성을 감안하여 갈수기인 1/4분기 및 2/4분기의 유량자료로 구분하여 적용한다. 다음으로 물 배분방법에 따른 상·하류지역이 부담하여야 할 위험도를 변이계수를 이용하여 형평성 차원에서 분석하고 있다. 이와 같이 물 배분에 따른 효율성과 위험도 분석을 동시에 시행하여 정책결정자가 올바른 정책적 판단을 하는데 도움을 주고자 한다.

마지막으로 제6장은 결론부분으로서 연구결과의 요약 및 연구결과를 통한 정책적 시사점을 제시하고자 한다. 그리고 본 연구의 한계와 향후의 연구과제에 대한 제언으로 끝맺음하고자 한다.

<그림 1-1> 연구의 흐름도


물 배분 현황과 문제점
물 배분 실태 조사
법·제도적 문제점 분석
물 배분 모형의 필요성 도출
물 배분 모형의 선정
·최적배분
·비율배분
·고정배분
모형 추정과 관련된 문헌 연구
수자원의 용도별 가치추정방법검토
유량의 통계적 확률변수이용
사례 대상지역에의 적용
·황강유역(합천댐)
용도별 최적 물 사용량과 편익의 추정
편익함수의 도출
·년간 편익함수
·분기별 편익함수
합리적 물 배분 대안의 도출
유량의 기대값과 편차에 따른 시나리오작성
유량의 배분에 따른 위험도 분석
·비율배분
·고정배분
정책적 시사점 및 정책

CHAPTER 2

물 배분 현황과 문제점

1. 물 배분현황

우리나라의 물 배분의 공급원은 크게 지표수, 댐용수, 농업용 저수지, 지하수로 나누어 볼 수 있고, 배분방법은 기득수리권, 관행수리권, 그리고 허가에 의한 방법으로 나누어 볼 수 있다. 기득수리권과 관행수리권은 대부분 농업용수에 많이 적용되고 있으며, 생활용수는 댐 등의 건설이전에 그 하천에서 자연적으로 취수하던 양을 갈수기 기준으로 주어진 할당받은 기득수리권이 있다. 그 외의 모든 물의 사용은 허가에 의하여 이루어지고 있다. 하천유수의 점용허가에 관해서는 하천법과 동 시행령에 규정되어 있다. 하천구역안에서 유수(하천 바닥에 스며들어 흐르는 물을 포함)를 사용하고자 하는 자는 대통령령이 정하는 바에 의하여 관리청의 허가를 받아야 한다(하천법 제33조).[3] 시·도지사가 국가하천의 수량에 현저한 영향을 미칠 우려가 있는 유수사용 중 대통령령이 정하는 유수사용에 대하여 허가를 할 때는 건설교통부장관의 인가를 받도록 하고있다. 유수의 사용인가를 받은 사항을 변경하고자 하는 때에도 건설교통부장관의 인가를 받도록 하고있다 (동법 제67조). 건설교통부장관은 이 권한을 홍수통제소장 및 제주개발

3) 보다 상세한 하천유수 및 댐용수의 허가 절차는「지속가능한 수자원개발을 위한 수자원정책개발(2002)」를 참고바란다.

건설사무소장에게 위임한다(동법 시행령 제57조 ②항). 이상의 법조항을 정리해 보면, 하천의 유수를 사용하고자 하는 자는 국가하천의 경우에는 홍수통제소장에게[4], 지방하천의 경우에는 시·도시사에게[5] 허가를 받아야 한다.

물 배분의 허가는 하천의 기존의 허가수리권의 양과 물 수지분석을 통한 물 배분가능량을 근거로 하여 추가적인 물 배분을 허가 또는 불허를 결정하고 있다.[6] 국가 전체적인 허가수리권을 정확히 파악하는 것은 통계자료의 미비로 어려운 실정이다. 허가수리권은 허가기간의 연장 또는 신규수리권의 신청이 있을 경우에 하천법에 정해진 기준에 의하여 판단하다보니, 도시화에 의한 농지의 소멸 및 공장의 이전으로 발생하는 허가수리권의 소멸 등에 대한 통계를 정확히 파악하기가 어렵기 때문이다.

우리나라의 물 배분의 근간이 되는 하천법은 치수관리와 하천에서의 행위규제 위주로 되어 있다. 물 이용에 대한 기본규정은 모호하거나 부실하여, 명확한 수리권 조정 기준, 물사용 용도별 우선순위 그리고 미래 물 사용자에 대한 배려가 부족하다. 하천유지유량 공급에 관한 기준이나 방침도 일관성 없이 추진되어 하천유지유량을 취수허가의 기준으로 삼지 못하고 있다. 또한, 유역 차원에서 한 공급주체가 취수할 수 있는 양을 제한하거나 취수량 허가를 유역전체차원에서 합리적인가를 판단한 후에 결정하는 시스템이 제대로 갖추어지지 못하다.

개략적인 사항을 파악하기 위하여 최근에 이루어진 물 배분관련 허가사항을 보면, <표 2-1>에서 보는 바와 같이 1999년 1월 ~2001년 10월까지 이루어진 유수사용 허가는 총 491건이며 허가량은 17,404천㎥/일이다. 용도별로는 농업용수

---

4) 국가하천의 관리청은 건설교통부이므로 건설교통부장관이 허가 권한을 가지나, 하천법 시행령 제57조 ③항에 의해 이 권한을 해당 수계를 관할하는 홍수통제소장에게 위임하고 있다

5) 지방하천에 대한 관리청은 해당 시·도가 된다. 따라서 시·도지사가 허가권자가 되는데, 앞에서 본 바와 같이 국가하천의 수량에 현저한 영향을 미칠 우려가 있는 유수사용 중 대통령령이 정하는 유수사용에 대하여 허가를 할 때는 지방국토관리청장의 인가를 받아야 한다.

6) 기준갈수량이 하천별, 구간별로 상세하게 지정되지 못하고 있으며, 하천 상·하류 전구간에 대해서 체계적으로 일관되게 산정되지도 못하고 있는 실정이다. 하천정비기본계획이 구간별로 "갈수시 자연유하량"을 계산하였으나 각 지역의 수문관측자료의 정확성이 낮기 때문에 신뢰도가 떨어진다.

가 전체 허가건수의 66.4%, 허가량의 45.9%로, 우리나라의 용수 수요 중에서 가장 큰 비중을 차지함을 보여준다. 허가건수에서는 국가하천과 지방하천이 거의 비슷하나, 허가량에서는 국가하천이 80%에 가까운 비중을 차지해서 허가건당 규모가 국가하천에서 큼을 알 수 있다. 국가하천에 대한 유수사용 허가는 총 236건에 허가량은 13,636천㎥/일 이다. 한강이 39건, 낙동강이 186건, 금강, 영산강, 섬진강이 각각 4, 5, 2건으로, 낙동강 유역에 대한 유수사용 허가가 가장 많았다. 용도별로 보면, 농업용수가 건수의 72.5%, 허가량의 51.9%를 점하고 있어서 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 특히 가장 많은 허가가 이루어진 낙동강에 있어서는 농업용수의 비중이 건수의 80.6%, 허가량의 65.8%로서, 이 곳이 농업용수가 많이 소요되는 지역임을 알 수 있다. 생활용수의 허가건수는 13.6%에 불과하나 허가량은 41.8%를 차지하고 있다. 이것은 한강유역의 유수사용 허가량 중에서 생활용수의 비중이 79%나 되기 때문으로 인구가 밀집된 수도권 지역의 용수 수요가 반영되어 나타난 것이다. 지방하천에 대한 유수사용 허가는 같은 기간에 총 255건에 허가량은 3,768천㎥/일 이다. 충청남도가 허가건수와 허가량에서 가장 큰 비중을 점하고 있으며, 허가건수는 경기도, 전라북도가, 허가량은 경상북도, 경상남도 등이 많은 것으로 나타나고 있다. 용도별로 보면, 허가건수는 농업용수가 60%이상을 차지하나, 허가량은 공업용수가 72%가 넘는 특이한 양상을 보이고 있는데, 이는 서우수력(주)가 금강(지방1급)으로부터 1,880천㎥/일의 물을 사용하는 허가를 얻은 것이 영향을 미친 결과이다.

2. 물 배분상의 문제점

1) 허가상의 문제

유수사용 허가관련 규정에서 살펴본 바와 같이, 유수사용의 허가권자는 하천법 제20조, 하천에관한사무처리규정 제2조(점용허가등의 기준) 등에 의거하여

<표 2-1> 국가·지방하천 유수사용 허가현황('90~2001.10)

구분		계		생활용수		공업용수		농업용수	
		건수	허가량	건수	허가량	건수	허가량	건수	허가량
총계		491	17,404,070	47	5,842,151	118	3,569,600	326	7,992,319
국가하천	소계	236	13,636,292	32	5,702,087	33	852,365	171	7,081,840
	한강	39	3,494,985	14	2,760,635	11	176,585	14	557,765
	낙동강	186	9,802,180	16	2,932,102	20	417,780	150	6,452,298
	금강	4	25,432	-	-	1	8,000	3	17,432
	영산강	5	306,350	2	9,350	1	250,000	2	47,000
	섬진강	2	7,345	-	-	-	-	2	7,345
지방하천	소계	255	3,767,778	15	140,064	85	2,717,235	155	910,479
	서울시	-	-	-	-	-	-	-	-
	부산시	2	116	-	-	2	116	-	-
	대구시	-	-	-	-	-	-	-	-
	인천시	-	-	-	-	-	-	-	-
	광주시	-	-	-	-	-	-	-	-
	대전시	-	-	-	-	-	-	-	-
	울산시	4	6,042	-	-	-	-	4	6,042
	경기도	50	93,717	2	83,020	47	8,850	1	1,847
	강원도	19	52,760	3	6,492	12	34,927	4	11,341
	충북도	11	27,827	3	488	5	25,991	3	1,348
	충남도	101	2,086,451	3	4,864	5	1,905,200	93	176,387
	전북도	35	5,614	-	-	2	5,334	33	280
	전남도	7	112,531	-	-	4	40,307	3	72,224
	경북도	12	777,685	4	45,200	5	696,015	3	36,470
	경남도	14	605,035	-	-	3	495	11	604,540
	제주도	-	-	-	-	-	-	-	-

하천정비기본계획 및 하천설계기준과의 적합 여부, 하류 및 인근 기득수리권에 미치는 영향 유무 등을 고려하여 유수사용을 허가하여야 한다. 그러나, 허가 기준이 명확하게 규정되어 있지 않아 유수점용허가의 적정 여부를 판단하는 데 혼선을 야기하고 있다.

실제로 허가 기준의 설정방법이 국가하천과 지방하천의 경우 약간의 차이를 보인다. 국가하천에서 댐하류의 경우는 대부분 댐용수계약에 의하여 허가를 하고 있기 때문에 별도의 물수지분석 없이 허가를 하고 있는 상황이다. 그러나, 낙동강 홍수통제소의 경우 갈수시 자연유하량을 기준으로 분석한 후 댐용수계약을

고려하여 허가하고 있으며, 이 때 허가기준량은 하천정비기본계획상의 갈수시 자연유하량을 적용하고 있다. 지방하천의 경우 허가기준량은 하천정비기본계획상의 갈수시 자연유하량을 적용하고 있으나, 미수립 구간이 많고 갈수시에는 건천화되기 때문에 허가 기준의 설정에 어려움을 겪고 있다.

현재 하천법에서는 유수의 점용 및 허가에 대한 기록을 의무화하는 조항이 최근에 추가되었으나 유역내의 물 배분 관련 정보를 체계적으로 관리하거나 정확한 이용량을 파악하는 정책이 미비한 실정이다. 물 배분과 관련된 과거의 정확한 기록은 사용자간의 물 배분의 원칙과 기준의 설정에 매우 중요한 요소임에도 불구하고 물 이용 통계의 정확한 산정 등에 대한 투자가 미흡한 실정이다.

다음으로 하천에서의 합리적 물 배분을 위해서는 유량자료와 기존의 물 배분량을 고려하여 신규 용수사용허가나 허가연장을 결정하여야 하나, 유량자료의 부족 및 부정확성으로 인하여 물 배분상의 비효율성을 초래하여 결과적으로 국가 경제의 손실을 초래하고 있다. 전형적인 예를 보면, 기존의 기득수리권으로 인정되는 수량에 대한 허가가 형식적이라는 점이다. 비록 허가량이 정해져 있으나, 실제 취수량에 대한 정보는 없어서 실제 허가량보다 과다 또는 과소하게 취수하는지에 대한 정보가 없다. 다음으로는 유수사용 허가량을 물 수지분석없이 변경하는 사례이다. 또는 유수사용허가시 지방국토청장의 인가없이 허가해주는 경우가 발생하고 있다. 위의 사례와 같은 유수사용허가는 다음과 같은 문제점을 안고 있다.

실제로 하천에 충분한 유량이 있음에도 불구하고 신규허가시 이미 허가가 나간 양이 기준 갈수량을 초과하였다고 판단하여 신규허가 불허로 인한 공업 및 농업생산에 차질을 초래하여 경제적 손실이 발생하는 경우가 있다. 반대로 실제 하천에는 유량이 부족함에도 불구하고 기존의 허가취수량 기준으로 신규허가를 내어 줌으로써, 기존의 유수사용자들에게 피해를 주거나 하천의 건천화를 초래하는 사례가 발생한다는 점이다.

2) 물 배분 법・제도상의 문제

우리나라 물 배분 법・제도상의 문제를 몇 가지로 요약하면 다음과 같다. 첫째, 국가 전체적으로 물 배분에 관한 원칙 및 각 개별법에 언급된 물 배분을 조정하거나 중재할 수 있는 물 배분체계가 미흡하다. 현재 하천법에는 유수의 점용허가를 기존의 용수이용자의 피해가 없는 범위내에서 허가할 수 있도록 하고 있지만, 하천 전체의 수계를 고려한 유수의 점용허가를 통한 물 배분체계는 이루어지지 않고 있다. 가장 큰 이유는 물 수지분석에 필요한 기초 수량데이터가 부족하고 다음으로는 농업용수와 같이 기득수리권으로 취수하는 양에 대한 계측이 이루어지지 않는데 있다.

둘째, 물 배분 우선순위에 대한 언급이 없음으로 인하여 가뭄 등의 물 부족에 따른 분쟁조정장치가 미흡하다. 즉 물 배분의 우선순위에 따라 물을 배분함으로써 가뭄 등의 긴급시에 물 분쟁을 해결할 수 있는 체계가 미흡하다. 외국의 경우에는 물 배분을 위한 방법으로 수리권에 대하여 우등수리권(senior water right), 열등수리권(junior water right) 등으로 구분하여 물 부족에 따른 용수이용순위를 사전에 정함으로써 물 사용관련 분쟁을 사전에 예방하고 있다. 다른 하나의 예로는 댐 용수의 경우 댐 수위에 따라 물을 이용할 수 있는 권리를 달리 함으로써 물 부족에 대처하기도 한다. 최근의 세계적인 추세를 보면 그 동안 이수측면에서 우선순위가 낮았던 하천환경용수에 대한 배려가 우선적으로 고려되고 있거나 다른 용도와 동일하게 배분되고 있다는 점이다. 즉, 하천환경을 유지하기 위한 환경용수를 다른 용도들과 기본적으로 동등하다는 관점에 기초하여 환경을 하나의 소비적 물 사용자로 보고, 여타 용도와 경쟁관계를 갖게 되며 환경유지를 위해 필요한 물도 선택적인 것으로 간주될 수 있다는 것이다. 다른 하나는 하천환경을 유지하기 위한 용수의 확보는 수자원의 건전성 측면에서 다른 용도로 물이 배분되기 전에 우선적으로 배분하고 나머지를 용도별로 배분하는 것이다. 전세계적인 추세는 하천환경을 보호하기 위한 용수의 배분을 우선적으로 고려하여 강의

수위・유량을 일정수준으로 유지하는 것이 점차 보편화되고 있다. 극단적으로는 미국과 캐나다에서는 이익집단과 개인들이 환경을 위해 수리권을 구입하여 물을 확보하는 경우도 있다. 호주의 경우에도 최근에 새로운 물관리법을 제정하면서 1순위로 수자원보호 및 수환경, 그리고 토지소유자의 최소한의 기본적 물 수요로 규정하고 있다. 그러나 가뭄시에는 토지소유주가 필요로 하는 최소한의 생활용수에 가장 먼저 배분하고, 2순위로 지방 및 대규모 수도사업자(water utility license), 가축용 면허권자에게 배분하고 3순위로 그 외의 허가권 소유자에게 공급하는 물 배분원칙을 설정하고 있다.

셋째, 동일 수계내의 물을 이용하는 지자체간의 물 이용에 대한 협약이나 협정이 없다는 점이다. 즉, 물 부족을 경험한 대부분의 국가는 상・하류간의 물 이용에 대한 협약이나 협정 등을 통하여 합리적으로 물 배분을 도모하고 있다. 특히, 국가간을 흐르는 국제하천의 경우에는 다양한 방법을 동원하여 물을 합리적으로 이용하고 있다. 우리나라의 경우에는 중앙정부 주도로 모든 물을 배분하다 보니 상・하류에 위치한 지자체간의 물 배분협약을 통한 물 이용이 이루어지지 않고 있다. 따라서 동일 수계의 물 이용에 대한 분쟁이 발생할 경우에 관련 지자체간의 협상이나 협의에 의한 해결이 안되고 중앙정부의 중재 등을 통하여 해결하는 방법이 주류를 이루고 있다. 이 경우에도 중앙 정부에 의한 수계 전체를 고려한 물 배분은 이루어지지 않은 상태에서 그때그때 문제가 발생하면 해결함으로 인하여 수계 전체적인 관점에서 합리적 물 배분은 이루어지지 않고 있는 실정이다. 특히, 남북한을 흐르는 임진강과 북한강에 대한 국가간 물 이용에 대한 협약이 부재하여 향후, 남북한간의 공유하천의 물 이용과 관련하여 분쟁이 발생할 경우에 합리적으로 해결할 수 있는 장치가 미흡하다.

넷째, 모든 물은 국가소유로 하고 있지만 하천으로부터 용수를 이용하는 농업용수, 댐 건설 전에 상수원으로 취수하고 있던 지자체 등에는 기득수리권을 인정하는 등 권리관계가 명확하지 않다는 점이다. 특히, 기득수리권 및 관행수리권에 의하여 물 배분이 이루어지는 농업용수에 대한 법적인 등록이나 평가없이 물이

배분되다보니 효율적 물 배분이 이루어지지 않고 있다. 외국의 경우에는 부족한 물의 효율적 이용을 위하여 허가된 양의 사용에 대한 평가를 통하여 허가기간의 연장 또는 허가량을 결정할 때 기준자료로 활용하고 있다. 즉, 허가시에 제시한 목적을 위하여 제대로 사용되었는지를 판단한다. 만약 허가시에 제시한 목적이외의 용도나 또는 낭비적 이용이 있으면 허가의 연장시에 허가를 취소하거나 허가량을 줄여서 신규 물 이용 신청자에게 배분하고 있다.

다섯째, 수계를 일괄적으로 모니터링하고 문제점을 제기하고 해결하는 선도적인 역할을 할 수 있는 체계가 없다는 점이다. 물 관리가 목적에 따라 부처별로 관리되다보니 동일한 물이 부처에 따라 별개로 운영되는 등의 문제점이 발생하고 있다. 즉 동일 수계에 있는 저수지(농림부)와 댐용수(건교부)가 별개로 운영됨으로 인하여 두 수원의 연계운영을 통하여 보다 합리적인 물 배분이 이루어질 수 있는 체계가 결여되어 있다. 특히, 전체 용수가용량을 수질별로 파악하고 부처간의 이해관계를 조정할 수 있는 역할이 없다는 점이다. 예를 들면 농업용수로 사용되고 있는 I급수를 생활용수로 사용하고 현재 생활용수로 사용되고 있는 II급수를 농업용수로 전환함으로써 보다 합리적인 물 이용이 촉진될 수 있는 기회가 원천적으로 미흡하다. 또한 하수종말처리장의 건설, 종말처리수의 방류지점을 수계 전체적으로 물 이용과 연계하여 관리할 경우에는 보다 합리적인 하천유지용수 및 환경개선용수를 확보하여 하천의 건천화 등을 막을 수 있는 물 배분체계가 미흡하다.

여섯째, 물 배분이 효율적으로 이루어 질 수 있는 제도적 장치가 미흡하다. 우리나라의 물 배분은 중앙정부주도의 행정적으로 형평성의 원칙에 비추어 보면 상당히 합리적인 면이 있지만 물의 사용가치를 반영한 효율적 이용을 달성할 수 있는 체계가 미흡하다. 즉, 물이 효율성이 높은 곳으로 시장가치를 반영하여 자율적으로 이동할 수 있는 물 배분체계가 되어있지 않다는 점이다. 즉, 시장가치를 반영하여 물 배분이 이루어 질 수 있도록 할 수 있는 물 이용체계가 없고, 이를 뒷받침할 법・제도적 장치가 부재한 실정이다.[7]

이상의 국내 물 배분의 현황과 문제점에서 살펴보았듯이 우리나라는 허가에 의하여 물 배분이 이루어지고 있으나 허가의 종류가 하나이어서 물 부족시에는 물 배분을 둘러싼 분쟁해결에 도움을 주지 못하고 있다. 외국의 경우는 수리권을 물 배분 우선순위에 따라서 우등수리권, 열등수리권으로 구분한다든가, 아니면 물의 양에 따라서 안정수리권(갈수기 기준)과 풍수수리권(유량이 풍부할 경우)등으로 허가를 달리하고 있다. 또한 하천의 상·하류간의 물 배분협정이나 댐 용수의 배분을 위한 구체적인 배분방법이 결여되어있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 첫걸음으로서, 물의 양에 따라서 수요처간에 얼마의 물을 어떠한 방법으로 배분하는 것이 국가 전체적으로 효율성을 제고하는 방법인가를 연구하는 동시에 각 배분방법에 따른 위험도분석을 시도하여 정책결정자가 보다 합리적인 물 배분정책을 도모할 수 있도록 하고자 한다. 부연설명하면, 기존의 물 배분은 가용수량이 100톤일 때 배분을 농업용수에 50톤, 생활용수에 30톤 공업용수에 20톤을 허가하였다고 하자. 그러나 가뭄 등으로 가용용량이 50톤으로 줄어들었을 때 어떻게 물을 배분해야 하는지에 대해서는 법·제도적인 장치가 없음으로 인하여 물 분쟁시 해결에 어려움을 겪고 있다. 이 경우에 가장 손쉽게 정책결정자가 취할 수 잇는 배분방법은 모든 부분에서 동일하게 50%씩 배분량을 줄이는 방법이 있을 수 있다. 그러나 이러한 일률적인 감축보다는 물의 용도에 따른 편익의 크기를 고려하여 용도별로 배분량의 감축을 달리한다면 국가 전체적으로 사회적 편익을 극대화할 수 있다는 것이다. 즉, 물 부족의 양에 따라서 사전적으로 어떻게 수요처간에 배분하는 것이 합리적일 수 있는지를 알 수 있다면 물 분쟁을 어느 정도 예방하고 또한 물을

7) 행정체계는 물 배분 관리, 허가, 갈등 조정 등의 영역에서 물 이용에 영향을 미친다. 물이 부족한 외국의 경우에는 수리권에 따른 물 배분을 관리하는 기능과 수리권 부여, 변경, 이전 등으로 인한 영향을 평가하고 감독하는 기능으로 구분할 수 있는데, 지역에 따라 명확히 구분되어 운영되기도 하고, 통합되어 운영되기도 한다. 여러 지역에서 정부의 중재로 물은행이나 임대 풀 제도를 통해 행정기관이 직접 물시장 활성화를 촉진하고 있다. 정보구조 및 물리적 하부구조의 구축은 수리권 관리와 수리권 거래에 필수적인 요소임에 따라 외국에서는 수리권 및 물이용 상황(유량, 거래가능량 등) 등의 정보에 빠르게 접할 수 있고, 거래 상대방을 쉽게 찾을 수 있도록 제도적 장치가 갖추어져 있다.

보다 효율적으로 사용할 수 있을 것이다. 이는 연구에서 의도하는 물의 양에 따라서 배분량을 달리하는 허가수리권을 다양하게 발급할 수 있다면 선진국에서와 같은 효율성에 기초한 물의 이동을 자유롭게 할 수 있는 물 시장제도 등의 도입에도 도움을 줄 수 있는 제도적 기초가 될 수 있을 것이다. 다음의 제3장에서는 국내외 문헌연구를 통하여 물 배분관련 이론적 검토를 다룬다.

CHAPTER 3

물 배분관련 이론 연구

1. 모형관련 문헌연구

1) 국내

물 배분 모형과 관련된 국내·외 문헌연구를 통하여 본 연구에서 수행하고자 하는 연구의 선행 연구와의 차별성, 기존 연구에서 다루지 않았거나 미비한 부분을 진단하고자 한다. 지금까지의 국내 문헌 연구에서는 정부의 수자원 배분 정책적 차원에서 물 배분에 관한 연구를 수행한 적은 없는 실정이다. 특히, 사회과학적 측면에서 물 배분에 관한 연구는 거의 없으며, 공학적 차원에서 최적화 연구를 수행한 것이 대부분이다. 선형계획 및 동적계획기법을 이용하여 보다 합리적인 물 배분을 다룬 연구로는 이진우(1982)와 안승섭(1985)의 연구가 있다. 목적함수를 각 수원지에서 수요지까지 한단위의 물을 공급하는데 따른 단위당 편익을 계산하여 수요량과 편익의 곱을 최대화할 수 있는 배분량을 결정하는 방식을 취하고 있다. 사례대상지역의 몇 군데 수원으로부터 다양한 수요처에 물을 어떻게 배분하는 것이 사회적 편익을 극대화하는 배분량인지를 결정하는 것이다. 최종

적으로는 개별 수요처별로 최적 배분량과 장래의 물 수요량을 비교하여 어느 시기부터 물 부족이 나타날 것인지 예상함으로서 이에 대한 신규 수자원의 확보량이 어느 정도 필요한지를 제시하고 있다. 그러나 이들 연구에서 미흡한 점은 산업용, 농업용, 생활용수로 구분하여 편익을 추정함에 있어서 물 공급에 따른 편익을 산업생산액, 농업생산액, 가계소득에서 개별부분별로 물 공급에 따른 비용을 공제한 것을 순 편익으로 산정하고 있다는 점이다. 즉, 모든 생산활동의 부문별 총생산액에서 물 공급비용을 제외한 것을 순 편익으로 산정하여 계산한 점과 이 편익을 종속변수로 하여 물 사용량을 독립변수로 하여 단위당 편익을 용도별/지역별로 추정함으로써 편익을 과대추정 할 가능성이 매우 높은 단점이 있다.[8)]

유사한 연구로 낙동강 유역을 대상으로 박종권 · 차상화(1998)의 연구가 있다. 이 연구는 수요지점별 용수사용의 중요도를 감안한 합리적이고 효과적인 용수배분시스템을 개발하여 수자원의 최적 운영·관리를 기하는 것을 목적으로 선형계획법(LP)과 동적계획법(DP)을 이용하고 있다. 목적함수를 편익을 최대화하면서 안승섭(1985)과 동일한 방법으로 편익을 추정하고 있고, 단지, 차이점은 비용고려시 지역수자원의 환경오염정도에 따라 소요되는 처리비용과 거리에 따른 손실비용 및 지역의 지형상태에 따른 동력비용, 시설의 유지·관리비용 등을 보다 구체적으로 고려하였다는 점이다. 물 배분의 경제적 효과를 시도했다는 점에서는 의의가 있으나, 방법상의 문제, 모형의 적용을 통한 결과가 유역내의 물 배분이 얼마나 효과가 있었는지, 또한 그로 인한 경제적 영향은 얼마나 되는 지에 대한 구체적인 분석은 미흡한 것으로 판단된다.

다음으로 이미 확보한 수자원을 효율적으로 배분하기 위한 대안으로서 수계연결을 통한 물 배분연구를 한 것으로는 한동욱 · 서종석(2000)의 연구가 있다. 이

8) 이들 연구는 편익은 다른 투입요소를 그대로 고정시키고 단지 물의 투입량에 의해서만 편익이 증가한다는 가정 하에서 출발하고 있다. 그러나 실제 제조업의 경우에 다양한 투입요소들 중에서 물이 차지하는 비중은 금액면에서나 중요도에 있어서 극히 미미할 뿐만 아니라, 다른 투입요소를 고정시키고 물의 투입량만을 증가시킴으로서 발생하는 편익을 추정하는데는 한계가 있다. 계량경제학적인 측면에서도 중요한 관련변수를 생략하고 추정한 결과는 오류일 가능성이 매우 높다는 점을 간과해서는 안될 것이다.

모형은 목적함수를 거리의 최소화 즉, 비용 최소화를 통한 경제적인 물 배분 모형을 제시하고자 하였다. 즉, 우리나라의 서남부지역의 농업용수를 보다 효율적으로 이용하기 위하여 금강호, 새만금호, 무안호, 영산호 등 11개의 수원지의 용수를 대상으로 분석하고 있다. 분석결과는 자체수계로는 물 부족을 해결할 수 없으므로 수계연결을 통하여 물 부족을 해소할 수 있다고 주장하고 있다. 그러나 이 연구는 수계연결에 따른 건설비용, 정치·사회적 수용여부 등에 대한 검토 없이 단순히 거리를 최소화할 수 있는 물 배분을 담고 있어 현실성이 부족한 것으로 판단된다.

이상의 국내의 물 배분 관련 모형에 대한 연구를 검토한 결과, 국가정책적 차원에서 물 배분에 대한 연구는 없으며, 단지 학술적인 차원에서의 물 배분 모형을 다루고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 지금까지의 수자원정책의 초점이 기 개발된 수자원의 배분보다는 부족한 수자원의 확보를 위한 정책에 초점이 맞추어진데도 그 원인을 찾을 수 있다. 그러나 최근에 들어와서 점점 어려워지는 신규 수자원확보를 감안하면 물 배분에 대한 정부의 정책적 지원을 통하여 예상되는 물 부족이나 가뭄에 따른 일시적인 물 수급불안을 해소하기 위해서도 합리적인 물 배분정책수립이 필요한 시점임을 알 수 있다. 연구방법론에서도 모형의 목적함수를 도출하면서 수자원의 경제적 가치의 추정상에 미흡한 점을 발견할 수 있었다. 또한 한가지 아쉬운 점은 기존의 물 배분상황과 연구결과와의 비교·분석이 미진한 점이다. 즉, 최적모형을 이용한 물 배분을 시도할 경우에는 물 부족시점을 최소한 몇 년을 연기할 수 있다는 결과의 도출이 있으면 보다 설득력있는 연구가 될 수 있었을 것이다.

2) 국외

선진국에서는 효율적으로 물 배분을 달성하기 위하여 정부주도로 하천 유역모형과 같은 대규모 프로젝트를 통하여 수행하는 것이 일반적이다. 이와 같은 접근은 하천의 유량정보, 강수량자료, 유역의 물 수요전망 등의 보다 상세하고 과

학적인 자료의 뒷받침이 전제되어야만 가능하다. 미국의 서부지역, 호주 등의 물 부족지역에서는 하천유역모형을 개발하여 이용하거나 개발 중에 있다. 예를 들면, 경제적 편익을 강조한 하천유역모델 소프트웨어(Aquarius), 콜로라도강 제도모형(CRIM) 등을 개발하여 콜로라도주의 유역의 물 배분에 이용하고 있다. 이러한 모형의 설정에서 가장 중요한 인자는 수자원의 용도별, 지역별 수자원의 가치를 정확히 평가하여 모형에 접목시키는 것이다. 이러한 추세에서 보듯이 최근의 물 배분관련 연구는 물 배분에 있어서 경제적 효율성을 중요시하는 연구가 주류를 이루고 있다. 여기에는 물 시장제도를 도입하고 있는 지역에서의 물 배분효과를 측정한 연구를 비롯하여, 지역간 물이전 모델의 적용과 효과분석, 수문 및 경제통합모형 등이 있다.

Howe et al. (1986)은 물 배분의 한 방법으로 물시장제도를 통해서 물을 보다 효율적으로 배분할 수 있다는 점을 강조하고 있다. 먼저, 다양한 물 배분 대안 중에서 물 시장이 유연성, 안정성, 예측가능성, 공평성 차원에서 장점이 있는 반면에, 단점으로는 수량·수질과 관련된 회귀수 문제를 효과적으로 다루기 어려운 점이다. 그러나 이러한 문제는 물 시장모형의 문제가 아니라 수자원의 전반적인 문제이고 이는 수리권시스템에 대한 관리체계의 변화를 통해서 해소할 수 있을 것으로 보고있다.

Vaux & Howitt (1984)는 물 부족을 해소하기 위하여 지역간 물 이전에 대한 연구를 캘리포니아 지역을 대상으로 분석하고 있다. 이 연구는 두 가지 시나리오를 작성하여 물 부족을 완화하기 위한 유사시장 제도 (Marketlike institution)의 전망을 분석하였다. 첫 번째 시나리오는 캘리포니아의 역사적 물 관리 경향대로 새로운 물 공급시설의 건설(댐 건설)이 물 부족을 완화하는 유일한 수단인 상황을 가정하였고, 두 번째 시나리오에서는 지역간의 물 거래는 허용되지만, 개별 사용자간의 물 거래는 허용되지 않는 것으로 가정하고 있다. 이러한 시나리오하에서 물 이전은 신규 수자원 개발량인 1억2천3백만톤의 용수를 대체할 수 있는 효과를 가져올 수 있을 것으로 추정하고 있고, 또한 2020년에는 물 이전을 통한

구입자와 판매자의 순 편익이 219백만 달러에 달할 것으로 추정하고 있다. 물 시장과 관련된 유사한 연구로는 Booker & Young(1994)이 물 시장제도의 도입효과를 콜로라도강 유역을 대상으로 추정한 연구가 있다. 이 연구는 Vaux & Howitt에 의해 연구된 시장 이전의 최적화 모형에 기반을 두고 수행되었다. 이 연구의 첫 번째 목표는 강 유역의 시장기구의 성과를 분석하는 모델링 체계를 개발하여 이를 콜로라도강의 수자원을 보다 유용하게 이용할 가능성을 연구하는 데 적용하는 것이고, 두 번째 주요 목표는 비소비적 용도 (수력발전 등)의 추가적 가치를 포함하는 효율적 배분과 비교하여 소비적 용도에 대한 물 시장의 성과를 추정하고자 하였다. 그들은 분석결과 비소비적 사용에 대한 가치를 제외한 주간 (Inter-state) 물 이전은 소비적·비소비적 이용가치를 완전히 포함하여 배분할 때와 비교하여 효율성 향상이 낮게 나타났다는 결론을 도출하였다. 이는 주간 (Inter-state) 소비적 이용시장만으로는 콜로라도강 유역 수자원을 효율적으로 배분할 수 없으리라는 가설을 뒷받침하고 있다. 주내 (Intra-state), 주간 (Inter-state) 소비적 이용시장도 효율적 자원배분으로 한 걸음 나아간 것이지만, 각각 최적 배분에 의해 가능한 총 효율성 이익의 50%- 64%정도에 그치는 것으로 나타났다. 이와 같이 주간 소비적 이용 시장이 콜로라도강 수자원의 경제적 편익을 극대화하지는 않지만, 기존의 상류지역 물 이용의 감소에 따라 수력발전 생산이 증가하고 염분 농도가 감소하는 외부 편익을 증가시키는 점을 고려하면 보다 큰 경제적 이득이 발생할 가능성도 있을 것으로 결론짓고 있다.

최근의 연구로는 Rosegrant et al. (2000)의 경제 - 수문통합모델링이 있다. 이 모형은 유역단위의 경제-수문통합모델링 체계를 개발하여 물 이용과 배분의 효율성을 향상시키고자 한 것이다. 연구의 사례대상지역인 마이포강 유역은 칠레 중부의 대도시권의 주요 농업 지역에 위치하고 있는데, 물 부족이 갈수록 심해지고 희소한 수자원에 대한 부문간 경쟁도 갈수록 심해지는데 따른 물 배분문제를 보다 합리적으로 해결하기 위한 "성숙된 물 경제(Mature water economy)"의 주요 사례이다.

이 연구의 대상유역은 약 127,000 ha의 관개 지역과 급속하게 성장하는 공업·도시 부문, 특히 5백만 인구를 가진 수도 산티아고 시내와 교외지역에 걸쳐 있다. 이들의 모형은 비소비적·소비적 물 이용을 모두 고려하고, 물 이용의 가치를 평가하는 것은 통합모형내의 경제부문에서 실행되도록 설계하였다. 제약조건으로 수문학적, 환경적, 제도적 관계를 고려할 수 있도록 하고 있다. 농업용수의 수요는 실증적 작물생산함수를 이용하였고, 도시·공업용수의 수요는 시장수요함수에 기초한 도시·공업용수 수요함수를 이용하여 모형내에서 내생적으로 결정되도록하였고, 물 공급은 각 수요처에 강유역의 수문학적 물수지 균형을 통해 결정되도록 하고 있다. 이렇게 함으로써 물 수요와 공급이 내생적 시스템에 통합되고 관개, 수력, 도시·공업용수의 이용으로부터의 편익을 극대화하는 경제적 목표에 기초하여 균형을 이루도록 모형을 정립하였다. 모형은 1년이라는 시간범위내에서 월단위로 이러한 요소들의 필수적 상관관계를 고려하도록 하고 있다. 또한 물 거래의 영향을 분석하기 위해 세 가지 시나리오를 가정하였다. 첫째, 유역전체에 대해 편익을 극대화할 수 있는 완전한 정보를 가정하는 경우(BO), 둘째, 거래는 허용되지 않는 수리권(WR), 셋째, 거래가능한 수리권(WRT) 등이다.

분석의 결과는 물이 거래될 수 있을 때, 관개용수 취수는 더욱 감소하는데, 이는 관개 구역내의 농민들이 그들의 수리권의 일부를 도시 및 공업용수 수요처에 판매하여 수리권 판매이익을 도모하기 때문으로 해석된다. WR시스템하에서는 물이 더 유용한 용도로 이전되는 것을 허용하지 않기 때문에, 물 부족시 물의 사용으로부터 얻는 편익이 상당히 감소되어 총 순편익이 최적해의 절반 미만으로 나타나고 있다. 수리권을 고정 비율에서 거래로 바꿈으로써, 유역의 총편익은 BO시나리오의 45%에서 80%로 증가함을 발견하였다. 이 연구는 필수적인 수문학적, 경제적 관계를 모두 포함하고 있고 모형이 다른 유역에도 폭 넓게 적용가능한 모형이라는 점에서 장점이 있다.

최근의 물 배분과 관련된 또 다른 연구로는 상ㆍ하류간의 물 배분협약에 의한 물 배분을 다룬 Bennett et al. (2000)의 연구가 있다. 이 연구는 주(州)를 가로질

러 흐르는 물의 배분을 지역간 협약이라는 제도적 틀을 이용하여 배분하는 방안을 다루고 있다. 이 연구는 상·하류간의 물 배분제도를 시행함에 있어서 경제적인 효율성에 보다 많은 중점을 두고 있다.[9] 중요한 연구 결과는 어떠한 배분 방식이 항상 더 바람직하다기 보다는 유역의 상황에 따라 다르다는 점을 강조하고 있다.

3) 통합모형의 개관[10]

일반적인 하천유역에서의 유역통합모델은 크게 목적함수와 제약조건으로 나눌 수 있다. 목적함수는 유역내의 농업, 공업, 생활용수, 전력, 그리고 하천에서의 어업, 환경보호 등의 활동에 따른 순편익을 극대화하는 용수배분이 목적이 된다.

$$\begin{aligned} Max \quad & Obj \\ = & \sum_{agdm} VA(agdm) + \sum_{\mu ndm} VM(\mu ndm) \\ & + \sum_{pwst} VP(pwst) + \sum_{wetdm} VW(wetdm) + \sum_{fdm} VF(fdm) \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 개별부호는 다음과 같다.

VA : 관개용수공급에 따른 순편익
VM : 도시 및 산업용수공급에 따른 순편익
VP : 전력생산에 따른 순편익
VF : 어업을 통한 순편익
VW : 습지 등의 환경용수확보에 따른 순편익

9) 이 연구는 Booker & Young(1991)의 연구를 기초로 하여 좀더 경제적인 측면을 보다 강조한 연구이다.
10) 여기서의 통합모형의 개관은 가장 전형적으로 제시되고 있는 모형의 일반적인 형태를 제시하고자 한다. 그러므로 이를 이용한 사례연구의 결과보다는 통합적인 모형을 이와 같이 고려할 수 있다는 점을 소개하고자 한다. 본 연구에서 사용될 모형은 이와 같은 통합적인 모형이 아니라 이러한 방향으로 나아가기 위한 기초연구의 성격을 갖는 단순한 모형으로 국한하고자 한다.

agdm : 관개용수
undm : 도시 및 산업용수
pwst : 전력생산
wetdm : 환경용수
fdm : 어업용수

다음으로 각각의 용도별 편익을 산출하기 위한 방법은 다음과 같다.

① 관개용수 수요의 편익계산

편익함수는 총생산액에서 비용을 제외한 순편익을 계상하는 형태를 가진다. 농업생산에 투입되는 비용으로는 비료, 기계설비비용, 관개시설투자비용등이 포함된다.

$$
\begin{aligned}
&VA(dem) = \\
&\sum_{cp} area(agdm, cp) * ylda(agdm, cp) * price(cp) \\
&- \sum_{cp} area(agdm, cp)(ferc(agdm, cp) + machc(agdm, cp) + \\
&laborc(agdm, cp) + irrigc(agdm, cp) + ocost(agdm, cp)) \\
&- w_ca(agdm) \sum_{pd} (to_infa(agdm, pd))
\end{aligned}
\tag{2}
$$

여기서 area는 관개면적, ylda는 농작물 생산함수, ferc는 비료투입비용, machc는 기계설비비용, irrigc는 관개비용, ocost는 기타비용, w_ca는 용수공급비용, to_infa는 용수취수량을 나타낸다.

② 도시용수 및 공업용수의 편익계산

도시용수와 공업용수의 편익함수식은 다음과 같다. 여기서 일반적인 편익함수는 수요함수를 콥-다글라스(Cobb-Douglas)형태와 같은 단순한 함수형태의 역수요함수로부터 도출하는 방법을 취하고 있다.

$$VM(\mu ndm) = \sum_{pd}[\, w_0(m undm, pd)^* p_0^*[\,(l/(l+\alpha)^*(w(m undm, pd)/w_0(m undm, pd))^{\alpha} + (a-1/(1+\alpha))] - w(m undm, pd)^* w_cm(mundm)] \quad (3)$$

여기서 w_o는 도시 및 공업용수의 최대 월취수량, p_o는 물의 가치, w는 물의 실제취수량, e는 수요탄력성, α 는 탄력성계수의 역수, w_cm는 물 공급비용을 나타낸다.

③ 전력생산의 편익함수

수력발전을 통한 편익함수의 산출은 발전판매이익에서 비용을 제외하는 형태이다. 이는 다른 용도의 편익추정에 비하여 손쉽게 추정이 가능하다.

$$VP(pwst) = \sum_{pd}(power(pwst, pd) \cdot [\, pprice(pwst) - pcost(pwst)] \quad (4)$$

여기서 pprice는 가격, pcost는 생산비를 의미한다.

④ 어업활동의 편익함수(VF)

어업활동에 따른 편익은 유역내의 유량의 크기, 생산비용, 어획량의 판매이익을 고려한 함수로부터 도출된다. 유량과 어획량간의 관계를 평가할 수 있는 전형적인 함수형태는 찾을 수가 없어서 대부분의 연구에서는 그때의 상황에 맞는 함수형태를 가정한다든가, "Arctans Function"을 많이 사용한다.[11]

11) Arctans Function은 유량이 적을 때는 생산량이 유량에 비례하여 감소하는 량보다는 크게, 그리고 유량이 풍부할 경우에는 비례적인 유량의 증가보다는 적게 증가하는 함수형태이다.

$$VF(fdm) = [prod(fdm) * a * (fprice(fdm) - f\ \cos\ t(fdm))] * mfdft(fdm) \quad (5)$$

여기서 prod는 어업생산량, fprice는 가격, fcost는 비용, a는 정상적인 어업생산량과 최대어업생산량을 연결시키는 계수, mfdft는 어업활동에 필요한 최소한의 유량(월)을 의미한다.

⑤ 습지 등 환경용수확보에 따른 편익

습지로부터의 순편익은 습지면적과 생산량의 함수형태를 가지는데, 가뭄과 홍수와 같은 정상적인 유량으로부터 벗어나는 편차에 관계된 잠재적 손실을 공제하여 추정한다.

$$\begin{aligned} VW(wetdm) = & \sum_{pd} warea(wetdm) * wyld(wetdm) * f \\ & - \sum_{pd} (flowdew(wetdm, pd)^2 * damfw(wetdm, pd)) \\ & - \sum_{pd} (lakew(wetdm, pd)^2 * damlw(wetdm, pd)) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 warea는 습지면적, wyld는 습지의 생산량, flowdew는 정상적인 유출량으로부터의 유출량 변동, lakew는 저수지의 변동, damfw는 유량흐름의 위험계수, damlw는 습지와 연결된 저수지의 위험계수, f는 매개변수이다.

일반적으로 이상과 같은 목적함수를 유역별로 설정한 뒤, 이 목적함수를 최대화하는 물 배분량을 구하는 형태를 가진다. 이와 같은 목적함수에 대한 제약조건은 다음과 같은 항목을 설정하여 용도별 최적배분을 다루고 있다.

- 유량의 물 수지균형과 이전관련 제약조건
- 농업용수의 회귀수 제약조건
- 도시 및 공업용수의 회귀수 제약조건
- 최소한의 하천유지용수 제약조건
- 최소한의 농업용수 제약조건

이러한 모형을 적용한 사례로는 메콩강 유역의 수자원이용과 배분에 적용된 것과 칠레의 메이포강 유역에 적용한 것이 전형적인 예이다. 이와 같은 통합모형을 국내에 적용하기 위해서는 보다 방대한 자료와 시간이 요구되기 때문에 현실적으로 적용하는데는 어려움이 있다.

4) 국내 · 외 사례의 시사점

우선 국내의 연구는 목적함수를 편익의 최대화 및 비용의 최소화문제를 다루면서 가장 중요한 물의 용도별 편익산정 방식에서 미흡한 점을 발견할 수 있다. 이는 물 배분 연구가 공학적인 접근을 하면서 경제적인 접근기반이 취약한데 기인한다고 할 수 있다. 예를 들면, 비용최소화문제를 다루면서 거리의 최소화를 비용최소화와 동일한 것으로 간주하여 모형을 분석함으로써 그 결과에 의문을 주고있다. 즉, 거리가 아무리 가까워도 수계가 다를 경우에는 수계연결에 따른 비용, 사회적 반대 등의 여러 가지 어려움으로 연구결과가 현실성이 결여될 수 있다는 점을 간과하고 있다.

외국의 사례를 보면, '80년대 이후에 진행된 연구의 대부분은 단순한 선형계획(수송모델)에 의한 물 배분을 다루는 것이 아니라 물의 용도별 가치를 정확히 반영할 수 있는 모형의 개발이 주류를 이루고 있다. 특히, 유역의 물 배분을 위하여 경제-수문통합모델을 개발하고 있고, 용도별 물에 대한 가치를 반영한 편익함수 추정에 이용하는 노력을 기울이고 있다. 다른 하나는 정부주도의 물 배분에 따른 어려움으로 시장기능에 맡겨 물이 효용가치가 높은 방향으로 이동하도록 하는

제도적 변화를 꾀하고 있고, 여기에 대한 효과를 분석하는 연구가 주종을 이루고 있다. 결론적으로 외국의 경우 물 배분이 기술적인 차원의 물 배분이 아닌 물의 용도별 가치 (물 한 단위의 사용에 따른 용도별 한계가치 등)를 추정하는데 중점을 두고 물 배분을 도모하고 있다는 것이다. 외국에서 개발된 수문-경제모델들에 대한 소프트웨어가 있지만 이들 소프트웨어를 사용하기에는 유역의 통계자료부족, 수문학적 특성의 차이, 제도적 차이로 인하여 그대로 활용하기에는 어려운 실정이다. 이들 소프트웨어를 이용하거나 수정하여 이용하기 위해서는 수자원공학자 및 관련전문가의 지속적인 연구가 요구된다.

다음절에서는 이러한 물 배분에 필요한 경제적 가치를 추정하는 이론적 접근을 다루고자 한다. 여기서는 수자원의 물리적인 측면, 경제적인 특성, 수자원의 가치 등을 포함한다.

2. 물 배분모형정립에 필요한 경제적 이론

1) 수자원의 물리적 특성

우리가 물을 '소비한다'고 할 때 먼저 강내 (Instream: nonwithdrawal)이용과 강외 (Offstream: withdrawal)이용을 구분해야 한다. 주운, 레크리에이션, 낚시, 수력발전 등의 목적은 전자에 속하고 관개, 도시 및 공업용 목적의 이용은 후자에 속한다. 또한 물의 사용은 소비적 사용과 비소비적 사용으로 나눌 수 있다. 소비적 사용은 물이 사용된 이후 절대량이 줄어드는 것을 말하는데 대개 도시 및 공업용, 관개용 사용이 여기에 속하고, 비소비적 사용은 주운, 낚시, 레크리에이션 용도의 사용이 여기에 속한다. 그러나 비록 비소비적 사용이라 하더라도 일단 사용되고 나면 물의 질(Quality)이나 위치(Location)가 바뀌어 물의 가치가 달라지는 경우가 많다.[12]

12) 예를 들면, 낚시 및 레저활동에 따른 수질오염으로 인한 물의 가치가 저하될 수 있고, 양수발전에

일반적으로 기후나 강수량의 영향을 많이 받는 수자원은 그 가용성이 확률분포에 의해 결정된다. 만약 가용수자원의 확률분포가 안정적이고 분산이 크지 않다면 공급가능량을 보다 정확히 예측할 수 있을 뿐만 아니라 물을 보다 안정적으로 공급할 수 있으므로 이 경우에는 특정 용도로 사용될 수자원의 가치는 높게 나타날 것이다. 반면, 가용수자원의 확률분포가 안정적이지 않고 분산이 크다면 언제 얼마만큼의 수자원이 모자라게 (혹은 남게)될지 예측하기가 어려울 것이고 이는 그만큼 그 수자원의 가치가 저하된다는 것이다. 왜냐하면 예측이 어려울수록 안정적인 수자원 확보를 위한 예방적 투자(예를 들어 댐, 저수지, 지하수 개발 등)를 많이 해야 하기 때문이다.

2) 수자원의 경제적 특성

(1) 희소자원

시장경제에서는 가격이 서로 경쟁적인 용도간의 자원배분을 담당하게 되는데, 가격기능은 일반적으로 높은 수익(가치)을 산출하는 용도에 우선적으로 자원이 배분되게 한다. 우리나라에서는 최근까지도 수자원은 거의 자유재로 인식되어 왔다. 그러나 인구증가와 경제발전은 물에 대한 수요를 크게 증가시킬 뿐만 아니라 수질을 악화시키는 요인으로 작용하여 이용가능한 수자원이 점점 희소해지고 있다.[13] 이로 인하여 수자원을 어떤 용도에 얼마만큼 배분해야 할 것인가가 사회적 이슈로 등장했고, 이 문제의 중심에는 용도별 물의 가치를 정확히 반영한 배분이 중요한 역할을 하게 되었다. 만약 물에 대한 시장이 형성되어 시장이 효율적으로 작동한다면 가격기능에 물의 배분을 맡길 수 있지만, 수자원은 그 특성상

의한 위치의 변경으로 필요한 곳으로 물을 공급하는데 더 많은 기반시설을 필요로 할 때에도 물의 가치가 저하된다.

13) 맑은 물의 희소성의 가치는 수질이 악화된 물의 양이 많아짐과 동시에 악화된 수질의 처리비용이 더 많이 들어 갈수록 점점 더 희소가치는 커진다고 할 수 있다.

효율적 시장이 존재하기에는 어려운 여러 이유들이 존재한다.[14] 따라서 물의 배분에 어느 정도의 정부의 개입은 불가피한데 이와 같은 인위적인 수자원의 배분에는 용도별 물의 가치를 측정해야 하는 문제가 핵심으로 떠오르게 된다.

⑵ 시장실패

① 완전경쟁의 조건달성 어려움

일반적인 자원의 효율적 배분은 자원의 재배분을 통해 생산량과 효용의 증가가 더 이상 불가능하게 자원이 배분되어 있는 상태를 의미한다. 경제이론에 의하면 생산의 한계대체율과 소비의 한계대체율이 동일하고, 생산요소의 한계대체율과 생산요소의 상대가격이 같아지면 자원 배분의 효율성이 달성된다. 이는 완전경쟁시장하에서는 자동적으로 달성되나, 수자원의 경우에는 완전경쟁을 제한하는 요인들이 많이 존재하므로 시장기능만으로는 수자원의 효율적 배분을 보장할 수 없다는 데 있다.

② 비용체감산업의 존재

수자원과 관련된 시장실패의 요인으로는 비용체감산업의 존재이다. 예컨대 댐과 같은 장치산업은 초기비용이 많이 들지만, 일단 댐이 완성되면 가변비용은 적게 들어간다. 이는 댐을 통한 물의 공급량이 많아질수록 물 공급의 평균비용이 감소하고 이는 한계비용이 항상 평균비용보다 작다는 것을 의미하므로, 가격을 한계비용과 일치하도록 설정한다면 댐 회사는 필연적으로 손실을 볼 수밖에 없다. 그러므로 이러한 시장의 실패요인으로 댐 등의 수자원관리에 국가의 개입이

14) 이러한 어려움에도 불구하고 물 부족지역을 중심으로 물의 가치가 높은 쪽으로 배분될 수 있도록 물 시장제도를 도입하고 있다. 이러한 제도의 도입조건과 과정에 대한 구체적인 내용은 건설교통부(2000)를 참조바란다.

요구된다. 이는 필연적으로 댐 용수의 배분도 국가가 담당하게 되는 결과를 초래한다.

③ 공공재적 성격

다음으로는 '공공재'의 성격을 들 수 있다.[15] 공공재는 소비의 비경합성과, 비배제성의 특징을 가진 서비스를 의미한다. 예를 들어 홍수방지대책 같은 서비스는 댐의 건설에 기여를 했든 하지 않았든 일단 댐이 건설되면 주변주민들은 다 같이 서비스를 향유할 수 있다. 이러한 공공재의 소비에는 무임승차(Free rider)가 가능하므로 소비자들이 진정한 수요를 나타내지 않는다. 따라서 공공재에 대해서는 처음부터 시장이 존재할 가능성이 희박하여 사적시장에 맡겨두면 공공재 부문에 자원이 너무 적게 배분될 가능성이 높다.

④ 외부성

상류지역의 농업에 이용된 물이 하류의 도시 및 산업용에 투입될 때는 수질이 저하되어 있을 수 있다. 이와 같이 상류의 물 사용이 하류에서의 비용을 높이면 부(-)외부효과가 있다고 말한다. 물론 정(+)의 외부효과도 있을 수 있다. 예컨대 전력생산을 위해 물을 많이 저장하면 그것이 '레크리에이션 서비스'를 더 쉽게 생산할 수 있을 것이다. 이와 같이 물의 사용에는 외부성이 강하게 작용한다. 하나의 용도에 투입된 물이 다른 용도의 물 사용에 영향을 미치는 양상은 두 가지로 분류할 수 있는데, 경쟁적 관계 (Competitive relationship)와 보완적 관계 (Complementary relationship)가 그것이다.

경쟁적 관계란 한 용도로 물이 사용되면 다른 용도로의 사용이 제한되는 경우를 말한다. 즉, 도시용이나 산업용의 물 사용이 경쟁적 관계의 하나의 예이고, 보

15) 연구자의 판단으로는 수자원의 공공재적 성격은 홍수방지, 하천의 생태계보전을 위한 용수 등이고 일반 수요자에게 공급되는 생활용수, 공업용수는 공급라인에 의하여 무임승차를 배제할 수 있으므로 이러한 부분에 대해서는 공공재적 성격은 거의 없는 것으로 판단된다.

완적 관계란 한 용도로 물이 사용되면 다른 용도로의 사용이 용이하게 되어 다른 서비스의 생산에 도움이 되는 관계를 말한다. 예를 들어 하상교통을 돕기 위해 증가된 수량(水量)은 레크리에이션 서비스를 생산하는데 도움이 되는 경우가 여기에 해당된다.

이처럼 물 사용에 있어서의 외부효과가 있을 경우에는 물의 가치를 평가할 때 특정 용도로 사용될 물의 가치를 평가함에 있어서 다른 용도에 미치는 영향을 종합적으로 고려하여야 한다. 따라서 특정 용도의 물의 가치를 평가할 때 그것이 다른 용도에 정 (+)의 영향을 미친다면 그만큼 가치를 더해야 하고, 부(-)의 영향을 미친다면 그만큼 가치를 공제하여야, 보다 정확한 가치를 반영할 수 있다는 것이다. 이상과 같이 수자원을 시장에서 거래되도록 맡겨둘 수 없는 경제적 특성 때문에 정부의 개입이 요구된다고 할 수 있다. 그러나 이러한 시장실패의 요인을 제도적으로 보완해주고 최소한의 정부개입을 통하여 물이 보다 효율적으로 이용될 수 있도록 하는 노력이 물 부족지역을 중심으로 많이 연구되고 있다.

3) 수자원의 가치[16)]

(1) 수자원의 가치 개념

시장이 존재하지 않는 재화와 서비스의 가치를 추정하기 위해서는 '만약 시장이 존재한다면' 하는 있을 법한 결과를 추정하여 얻을 수 있다. 이 때의 기본원리는 '합리적인 경제행위자가 그 재화나 서비스를 얻기 위해 최대한 지불할 의사가 있는 금액'으로 가치를 측정함으로써 얻을 수 있는데, 이 '지불의사'는 그 재화나 서비스에 대한 수요함수에 반영된다는 것이다. 최종소비재의 경우에는 이 지불의사는 소비자의 효용함수에 의해 도출될 것이고, 중간재의 경우에는 생산과정

16) 본 연구에서 수자원의 가치추정에 관한 이론적인 부분을 여기서 자세히 설명한 또 하나의 이유는 지금까지 국내의 수자원관련 연구에서 이론적 측면을 자세히 다루고 있는 연구가 없어서 다음에 이와 유사한 연구를 수행하는데 도움을 주기 위함이다.

에서 그 자원이 기여하는 정도에 따라 지불의사가 결정된다. 최종소비재에 대한 수요함수나 중간재(생산요소)에 대한 수요함수가 (-)의 기울기를 가진 형태를 취하는 것은 한계효용 체감과 한계생산력 체감의 법칙이 작용한 결과이다.

⑵ 여러 가지 가치의 개념

수자원의 가치에는 경제학에서 말하는 총가치, 한계가치, 그리고 평균가치로 나누어 살펴보면 다음과 같다. 일정의 소비량이 주어질 때 그것을 얻기 위해 지불할 의사가 있는 금액이 그 소비의 총가치이다. 곧 수요함수가 다음 (1)식과 같이 주어질 때,

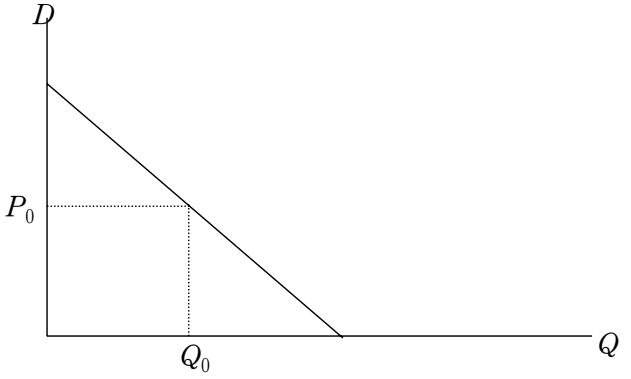
$$D = f(Q) \tag{1}$$

Q_0의 소비량이 가지는 총가치(V)는 (2)식으로 표현된다.

$$V = g(Q) = \int_0^{Q_0} f(Q)dQ \tag{2}$$

한계가치는 일정한 소비량이 주어질 때 그 소비량에서 한 단위의 추가적인 소비가 가져다주는 효용의 추가분을 의미하는데, 수학적으로는 총가치(V)의 일차미분 값, 즉 수요함수이다. 총가치와 한계가치를 그래프로 표현하면 <그림 3-1>과 같다. <그림 3-1>은 식 (1)의 수요함수를 나타내고 있는데 소비량이 Q_0일 때의 총가치는 소비량 0 에서 Q_0 까지의 범위에 해당하는 수요함수의 아래쪽 면적이고, 한계가치는 Q_0에서 수요함수까지의 수직거리, 곧 P_0이다.

<그림 3-1> 총가치와 한계가치



자원이 효율적으로 배분되기 위해서는 용도별로 한계가치가 동일하도록 각 용도에 자원을 배분해야 하므로 한계가치가 자원배분 문제를 위해서는 가장 중요한 가치개념이다. 그런데 한계가치는 바로 수요함수 자체이므로 자원의 효율적 배분을 위해 필요한 가장 중요한 정보는 그 자원에 대한 수요함수라는 것을 알 수 있다.

평균가치는 총가치를 소비량으로 나누어 구할 수 있다. 즉 평균가치($\overline{V}$)는 다음과 같이 표현된다.

$$\overline{V} = \frac{V}{Q} \tag{3}$$

이론적인 측면에서 보면 평균가치는 자원배분의 효율성을 제고하는데 그리 유용한 정보를 제공하지 못한다. 그러나 평균가치는 계산이 용이하고 이해하기가 쉬운 개념이어서 현실적으로는 한계가치의 근사치로서 많이 사용되고 있다. 또한 소비량의 증가에 따라 총효용(총가치)이 일정하게 증가하는 경우, 즉 효용의 수확불변(Constant returns)의 경우에는 평균가치는 한계가치와 정확히 일치한다. 그러나 그런 경우는 현실적으로 발생하기가 어렵고 일반적으로 평균가치는

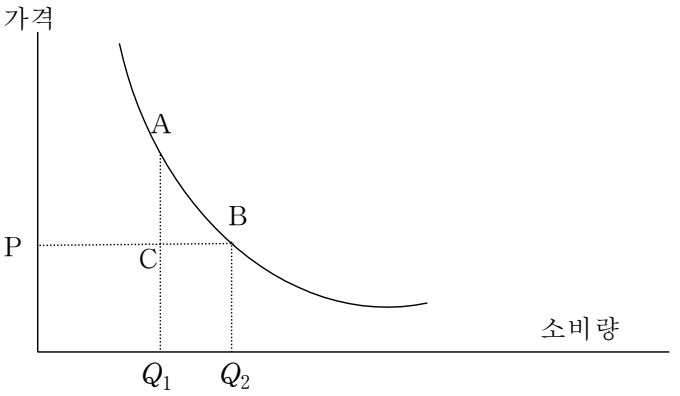
한계가치보다 훨씬 크므로 평균가치를 한계가치의 근사치로 이용하면 가치가 과대 평가되어 자원의 낭비가 초래될 수 있다.

4) 모형추정과 관련된 편익의 측정방법론

⑴ 도시용 물 수요함수와 가치추정 방법

일반적으로 도시용 물은 공공기관이나 가격규제를 받는 기업에 의해 독점 공급되는 경우가 많다. 또한 가격은 물 공급의 평균비용을 커버하는 수준에서 결정되는 경우가 많아서, 물의 가치를 반영하는 시장균형가격이 존재하지 않은 경우가 대부분이다. 그러므로 도시용수의 가치 추정을 위해서는 수요함수를 도출하여 지불의사를 이용하는 방법이 흔히 이용된다. 한 단위 더 물을 소비하기 위한 지불의사는 해당구간의 수요함수의 아래 면적으로 나타난다. 다음의 <그림 3-2>를 통하여 설명하면 다음과 같다. 소비량을 Q1에서 Q2로 늘리는데 최대한 지불할 용의가 있는 금액은 ABQ2Q1의 면적인 반면, 실제로 소비자가 지불하는 금액은 CBQ2Q1이다. 소비량을 Q1에서 Q2로 늘릴 때 단위당 물의 가치는 ABQ2Q1이라는 '소비지'에서 정화처리된 물에 대한 지불의사로 처리되지 않은 수원(Source)에서의 물에 대한 가치와는 다른 개념이다. 따라서 수원에서 처리되지 않은 물의 가치를 구하기 위해서는 정화 처리비용과 수송비, 공급에 수반되는 관리비 등을 공제하여야 하나, 공공기관이 공급하는 물의 가격은 이와 같은 비용을 커버하는 평균비용 수준에서 결정되는 것이 보통인데 그림에서 단위당 평균비용은 P로 표시되고 있다. 그러므로 소비량을 Q_1에서 Q_2로 늘릴 때 수원에서의 물의 가치는 ABQ2Q1의 면적에서 BCQ2Q1의 면적을 뺀 삼각형 ABC면적이 된다.

<그림 3-2> 수요함수와 지불의사



다른 방법으로는 수요의 가격탄력성을 이용할 수도 있다. 물 수요의 가격탄력성이 주어질 때 물의 가치를 구하는 방법은 다음과 같다. 수요의 가격탄력성이 (절대값으로) E인 수요함수는 다음과 같이 주어진다고 하자. 여기서 P와 Q는 가격과 수요량을 각각 나타낸다.

$$P = Q^{-\frac{1}{E}} \tag{4}$$

초기에 소비자가 Q_2의 물을 소비하고 있다가 Q_1으로 소비량을 줄이는 경우에서의 지불의사는 Q_1 Q_2구간에서 수요함수 아래 면적이므로 <그림 3-2>에서 ABQ_2Q_1의 면적은 다음과 같다.

ABQ_2Q_1의 면적

$$= \int_{Q_1}^{Q_2} Q^{-1/E} dQ$$

$$= \frac{1}{(1-\frac{1}{E})} [Q^{1-\frac{1}{E}}]_{Q_1}^{Q_2}$$

$$= \frac{1}{1-x}[Q^{1-x}]_{Q_1}^{Q_2} \quad (\text{단, } x \equiv 1/E)$$

$$= \frac{1}{1-x}[Q_2^{1-x} - Q_1^{1-x}] = \frac{1}{1-x}[Q_2 Q_2^{-x} - Q_1 Q_1^{-x}] =$$

$$(\frac{1}{1-x})P \cdot Q_2^{x}[\frac{Q_2}{Q_2^{x}} - \frac{Q_1}{Q_1^{x}}] \tag{5}$$

앞에서 설명한 바와 같이 수원에서 처리되지 않은 물의 가치는 AB Q_1 Q_2의 면적에서 정수비용과 소비지까지 수송비용, 즉 $P(Q_2 - Q_1)$을 공제한 다음, 물 한 단위의 가치를 얻기 위해서는 $Q_2 - Q_1$의 양으로 나누어 주어야 한다. 이를 요약하면 물 한 단위의 가치는 다음과 같다.

$$\text{물 한 단위의 가치} = \frac{ABQ_2Q_1\text{의 면적} - P(Q_2 - Q_1)}{Q_2 - Q_1}$$

$$= \frac{ABQ_2Q_1\text{의 면적}}{Q_2 - Q_1} - P \tag{6}$$

위의 공식을 이용한 가치추정에 대한 외국사례로는 Raleigh, Toronto, 그리고 Tucson 등의 가정용 물 가치가 있다. Tucson시의 경우 계절별로 한계가치를 추정하였는데, 10%의 물 소비 감소에 따른 겨울철의 에이커-피트당 한계가치는 $82, 여름은 $28, Raleigh시는 같은 시기에 $105, $21로 각각 나타나고 있다. 이는 상대적으로 물이 부족한 겨울철의 한계가치가 여름보다 상당히 높게 나타나고 있다는 것을 알 수 있다.

식(5)에서 확인할 수 있듯이 물의 가치는 가격수준과 탄력성의 크기에 좌우되는데 가격과는 비례하고 탄력성과는 반비례한다. 탄력성을 이용한 물의 가치를 추정하는데 주의해야 할 몇 가지는 다음과 같다. 첫째, 식(4)에서 물 수요의 가격탄력성이 일정하다고 가정했으나 사실은 그렇지 않을 수 있다는 것이다. 일반적

으로 소비수준이 낮을수록 수요는 더욱 비탄력적이 될 것이므로, 소비량 감소의 폭을 크게 할수록 물의 한계가치는 과소 평가될 가능성이 높다는 점이다. 둘째, 추정에 투입되는 물 값에 대한 자료가 상당히 제약되어 있다는 점이다. 대부분의 가계지출에서 물 비용이 차지하는 비중이 상당히 작을 뿐 아니라 물 값의 변동폭도 상당히 작아서 가격탄력성을 추정하는데 통계적 유의성이 작게 나타날 수 있다. 셋째, 모형에서 물 값은 원수를 처리하고 수송하는 등의 비용을 반영하는 것으로 가정되고 있다는 점을 유의해야 한다. 만약 물 값에 물 공급단체가 원수를 구입하는 비용까지 포함되어 있다면 원수 구입비용은 빼고 물 값 자료를 식(5)에 대입해야 한다. 그렇지 않으면 물의 가치가 과소 평가된다는 것이다.

⑵ 관개용 물의 가치

관개용수의 가치는 일반적으로 한계가치로 측정하기도 하고 평균가치로 측정하기도 한다. 특정한 작물을 기준으로 삼을 것이냐 아니면 여러 작물의 배합을 기준으로 할 것이냐에 따라 가치가 달라질 수도 있다. 또한 농장에서의 가치, 즉 현장(On site)가치를 따지는 것인지 수원(Instream)에서의 가치를 따지는 것인지를 명확히 해야 한다. 뿐만 아니라 장기가치를 추정할 것인지 단기가치를 추정할 것인지도 구분해야 한다. 관개용수의 가치를 추정하는 방법에는 작물의 생산함수(Crop-water production function analysis)를 이용하는 방법과 농장 예산분석(Farm crop budget analysis) 방법이 있다.

① 생산함수 분석 방법

이 방법은 투입요소와 작물생산의 관계를 바탕으로 생산함수를 이용하여 추정하는 것이다. '다른 생산요소'의 투입량을 일정하게 고정한 상태에서 물의 투입량을 변화시키면서 작물의 생산량을 관찰하면 단위당 물의 한계생산력을 구할

수 있다. 여기에 작물의 시장가격을 곱하면 단위당 물의 한계생산물가치(Value of marginal product of water)를 얻을 수 있는데, 이때의 한계생산물가치는 물의 현장가치라는 점에 주의해야 한다. 생산함수를 얻기 위한 대부분의 연구자료는 실험실에서 얻어진 자료를 이용하는 경우가 대부분이다. 때로는 집계자료(Aggregate farm data)를 통해 생산함수가 추정되기도 하지만 다른 생산요소들의 투입이 통제되지 않았다는 한계가 있으며, 특정한 작물의 물투입-생산의 관계가 아니라 여러 작물들에 있어서의 평균적인 관계라는 한계가 있다.

② 농장 예산분석 방법 (Farm crop budget analysis)

현실적으로 다른 생산요소의 투입이 통제된 상황에서의 물 투입과 생산량의 관계 자료는 얻기가 어렵다. 그러나 여기서 설명하는 예산분석 방법은 그러한 자료 없이도 물의 가치를 추정할 수 있다는 장점이 있다. 즉 작물의 총 수입에서 물 이외의 투입요소의 비용을 빼내면 농부가 물에 대해 최대한 지불하고자 하는 금액이 추산될 수 있다는 점에서 출발하고 있다. 이렇게 구한 물의 가치는 현장(On site) 가치이므로, 수원(Instream)에서의 가치를 구하고자 한다면 현장가치에서 농장까지 물을 끌어오는 비용을 제외하면 된다. 이렇게 구한 값을 물의 총량으로 나누어주면 단위당 물의 평균가치 혹은 지불의사를 얻을 수 있고, 관개시설을 하는데 필요한 고정비용을 공제하면 장기 평균가치가 될 것이고 그렇지 않으면 단기 평균가치가 된다.

③ 외국사례

○ 생산함수 분석 방법에 의한 추정결과

미국 농무성의 지원아래 물 투입-농작물 생산의 관계에 관한 실험이 아리조

나, 뉴멕시코, 텍사스, 캘리포니아, 워싱턴, 그리고 아이다호 지역에서 이루어 졌다. 생산함수를 물 투입에 관해 일차 미분하여 한계생산물을 얻고 거기다가 작물의 가격을 곱하여 관개용수의 한계생산물가치를 구했는데 그 결과가 <표 3-1>과 같다.

<표 3-1> 생산함수를 이용한 물의 한계가치 추정치

(단위 : 달러/acre-foot)

	물의 한계가치					
	아이다호	워싱턴	캘리포니아	아리조나	뉴멕시코	텍사스
당밀				<15		113
밀		59		22		35
목초				25	25	
면화			71-129	56	61	
옥수수					52	57
사탕무		144				
감자	698	282				
토마토			390			

자료: H. W. Ayer and P. G. Hoyt, "Crop-Water Production Functions", 1981.

생산함수를 구할 때 이용된 물 투입량은 관개용 물과 강수량을 합한 자료이며, 관개용 물의 가치를 계산할 때는 최대 작물생산 수준에서 관개용 물 10%를 감소시킬 경우를 상정한 경우이다. 강수량이 많은 지역의 관개용수의 가치는 상대적으로 작을 것으로 예상되었으나 결과는 그렇게 나오지 않았다. 그 이유는 기후나 토질과 같은 작물의 생장에 영향을 미치는 다른 요소들의 영향이 크기 때문인 것으로 해석된다.

○ 예산분석 방법에 의한 추정결과

Lacewell, Sprott, and Beattie는 텍사스의 'High Plains'지역을 대상으로 예산분석 방법에 의한 물 가치의 추정치를 발표했다. 그들은 5종류의 작물에 대해 각

각 3가지 투입요소가 있다고 가정했는데, 요소비용에는 관리비, 토지임대료, 취수지역에서의 펌프비, 그리고 물 매입비용까지 포함시켰다. 따라서 이들이 제시한 가치는 현장가치가 아니고 수원에서의 가치이다. 결과를 보면 비록 물의 이전에 따른 비용을 제외한 수원에서의 가치를 측정하였지만 지역에 따라서 조금씩의 차이를 보이고 있다.

<표 3-2> 텍사스의 High Plains 지역의 물의 가치

(단위 : 달러/acre-foot)

	지역 I	지역II
	수원에서의 가치	수원에서의 가치
밀	15	-
당밀	19	26
옥수수	57	65
면화	-	75
콩	-	87

자료: Ronald D. Lacewell, J. Michael Sprott, and Bruse R. Beattie, "Value of Irrigation Water with Alternative Input Prices, and Yield Levels, 1980

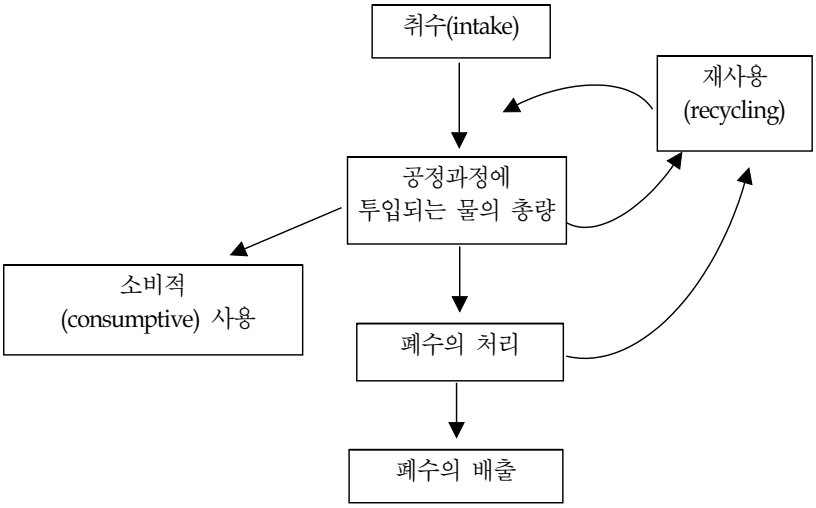
⑶ 공업용 물의 가치

① 공업용수의 수요와 가치 개념

공업용수의 특징의 하나는 많은 물이 사용되고 있음에도 불구하고 전체 비용에서 물이 차지하는 비중이 상당히 낮다는 점이다. 많은 경우 공업용수는 자체 공급되거나 낮은 가격으로 공급되고 있으므로 다른 원자재나 에너지, 노동, 그리고 자본비용에 비해 그 중요성이 낮게 나타난다. 따라서 기술, 투입요소, 생산규모에 관한 결정이 먼저 내려지고 난 후 그 결과에 따라 물 투입량이 부차적으로 결정되는 경우가 대부분이다.[17]

물이 얼마나 사용될 것인가는 투입되는 재료의 질, 투입요소들의 상대가격, 오염규제 등에 의해 영향을 받는다. 산업용수의 성격을 이해하기 위해서는 물의 재사용(recycling)에 대한 이해가 중요하다. 한번 공정에 투입된 물을 반복해서 사용할수록 신규 취수량은 적어도 되기 때문이다. <그림 3-3>은 공업용수의 취수량과 재사용의 관계를 보여주고 있다.

<그림 3-3> 공업용수의 재사용



그런데 외부에서 물을 끌어오는 비용이 증가할수록, 그리고 오염배출규제가 심할수록 재사용의 인센티브는 커질 것이다. <표 3-3>은 배출물 오염규제가 물 비용과 재사용에 미치는 영향을 보여주고 있다. 오염규제가 없을 때 비접촉냉각 공정에서는 물의 비용이 21달러/에이커-피트인데 반하여 규제로 인한 최신기술

17) 우리나라의 경우도 대규모 공업단지의 입지를 결정할 때 수자원이라는 제약조건은 그리 중요시하지 않았다. 이러한 점이 수자원부분에서의 어려움을 가중시키는 하나의 요인이기도 하다. 예를 들면 포항과 같은 지역은 자체적으로는 수원이 부족하여 영천댐을 통하여 용수를 상당부분 공급하고 있고, 영천댐은 또한 자체적으로는 저수량이 부족하여 임하댐으로부터 도수로를 통하여 유역변경을 통한 물 공급이 이루어지고 있다.

로 정수처리할 경우에는 33달러/에이커-피트가 소요된다. 한편 규제가 없을 경우에는 재사용율이 0%인데 반하여 규제가 있을 경우에 최신기술로 처리한 용수는 재활용률이 97.5%에 달하는 것으로 나타났다.

<표 3-3> 오염 폐수규제가 산업용수 비용과 재사용에 미치는 영향

공정종류	공정과정에 투입되는 물의 비용 (단위:달러/acre-foot)		공정과정에 투입되는 물의 총량 대비 재사용(recycled) 물의 비율(%)	
	규제가 없을 때	최신 기술로 정수처리 할 때	규제가 없을 때	최신 기술로 정수처리 할 때
비접촉 냉각	21	33	0.0	97.5
면섬유 공장	162	465	0.0	58.9
제지 공장	41	75	64.9	93.0
강철 공장	56	192	10.5	92.6

자료: K.L. Kollar, Robert Brewer, and Patric H. McAuley, " An Analysis of price/Cost Sensitivity of Water Use in Selected Manufacturing Indusries," 1976.

전체 제조비용에서 물 비용이 차지하는 비중이 상당히 낮으므로 공업용수의 수요에 대한 실증연구는 거의 없고, 연구의 결과도 공업용수 수요의 가격탄력성이 대단히 낮다는 것을 보여주고 있다.[18] 이는 물 값이 총비용에서 차지하는 비중이 낮고 물 투입에 관한 결정이 부차적이라는 점을 감안하면 수요함수를 통한 공업용수의 가치 추정은 사실상 불가능하다는 것을 의미한다. 마찬가지로 잔여투입요소의 귀속가치법에 의한 가치 추정도 신뢰성이 크게 없다. 이런 경우에 대안으로 사용하는 방법은 공장 내에서 물의 재사용에 따르는 비용을 물의 가치로 간주하는 방법이 이용된다. 예컨대 어느 공장에서 물 1톤을 정화해서 재사용하는 비용이 2천원이라면 이 공장이 정화처리된 물과 동일한 질을 가진 물 1톤에 대해 지불하려는 돈은 2천원을 넘지 않을 것이라는 점에 착안한 것이다. 같은 논리로

18) 공업용수의 탄력성 관련 연구는 Charles R. Brebenstein and Barry C. Field, " Substituting for Water Inputs in U.S. Manufacturing," Water Resource Research Vol. 15, pp. .55-65.을 참조바란다.

우리는 내부적으로 폐수를 재처리하는 비용을 그 기업의 최대 지불의사(Willingness to pay)로 간주하여 추정할 수 있다.

③ 공업용수의 가치추정 사례

○ 냉각수의 가치를 이용하는 방법

일회냉각(Once-through cooling process) 방식에서는 한 번 사용된 물은 높은 온도로 그냥 방출된다. 냉각수의 재활용 방식을 채택하면 증발되는 양만큼만 보충해 주면 되므로 일회냉각 방식에 비해 97%나 신규 물 수요를 줄일 수 있다. 재활용 방식의 채택은 냉각수 탑의 설치와 같은 자본투자를 필요로 하지만, 신규로 필요한 물의 량을 크게 줄일 수 있으므로 그 비용이 상대적으로 크지 않다. 냉각 방식을 재활용 방식으로 바꿀 때의 비용을 산업용수의 가치로 본다면 전력생산에 있어서의 냉각수의 가치는 "1" 에이커-피트당 6달러 내지 10달러 정도(1980년 불변가격)로 추정되었고, 발전산업에서는 1 에이커-피트당 5달러, 정유산업에서는 11달러로 추정하고 있다.

○ 공정에 투입되는 물의 가치를 이용하는 방법

공정에 투입되는 물을 재활용하는데는 냉각수의 경우 보다 더 많은 정화과정을 거쳐야하며 따라서 비용이 더 많이 소요된다. 일반적으로 공정에 투입된 물에는 염분이나 중금속, 염료, 유기물질과 같은 불순물이 많이 포함되므로 이러한 불순물을 제거하여 공정과정에 다시 투입하는 비용은 화공산업의 경우 1 에이커-피트 당 51달러, 제지산업의 경우 64달러, 광산업의 경우에는 16달러 정도로 추산되었다.

CHAPTER 4

물 배분모형의 설정

1. 이론적 모형 정립

강이 여러 행정단위 지역을 통과하여 흐르는 경우에 있어서 강물의 배분을 둘러싼 상류지역과 하류지역간의 갈등이 증가하는 추세이다. 이는 최근 수년간 강수량의 변동이 심해졌다는 이유 이외에도 인구증가와 산업구조의 변화, 그리고 소득증가에 따른 물 수요의 증가에 기인하고 있으므로 앞으로도 이러한 갈등은 더욱 심화될 것으로 예상된다. 오래 전부터 국경을 통과하는 강의 상류지역과 하류지역간에는 물 분쟁이 있어 왔고 이러한 분쟁을 해결하기 위하여 다양한 배분방안을 통한 국가간 협약 등을 체결하여 물 분쟁을 해결하여왔다. 미국과 같이 여러 주를 경유하여 흐르는 강의 경우에도 주간 협약을 통하여 합리적 배분을 도모하여왔다.

우리나라의 경우는 남북한이 공유하는 하천이 있지만 물 배분에 관련한 어떠한 협정도 존재하지 않고 있으나 앞으로 남북한 교류의 활성화 등으로 물 배분에 대한 합리적 대안이 필요한 시점에 와 있다. 또한 강의 상·하류 지역에 위치한 수요처에 대한 보다 합리적인 물 배분대안이 또한 요청되고 있다. 즉, 현재의 물

배분은 허가에 의한 물 배분정책을 시행하면서 물의 양에 따라 허가의 종류가 다른 것이 아니라 모두 일정한 하나의 허가로 되어 있고 또한 물 부족시에 어떠한 기준에 의하여 기존의 수요처간에 물 배분을 하는 것이 국가 전체적으로나 수요처간에 분쟁을 최소화할 수 있는 방안인지에 대한 연구가 없는 실정이다. 이러한 점을 합리적으로 해결할 수 있는 물 배분모형을 본 장에서 이론적으로 정립하고자 한다.

본 연구에서는 Bennett et al.(2000) 및 Booker & Young(1991)이 적용한 모델을 기초로 하여 우리나라의 사례에 적용하기 쉬운 모델로 재구성하였다. 이들 모형에서는 상·하류간의 물 배분을 다루면서 물 사용에 따른 순편익을 극대화하는 목적함수를 다음과 같이 설정하였다.

$$Max\left[\sum_i \pi_i(w_i, x_i) + \sum_j (\pi_j(w_j, x_j) - c_j(w_j, x_j))\right]$$

여기서 π는 순편익함수이고, i, j는 상류 및 하류를 의미하고, w_{ij}는 각각 상하류위 유량, x_{ij}는 각각 상·하류의 물 사용량을, c_j는 상류의 취수에 따른 하류지역의 비용함수를 의미한다. 또한 편익함수의 추정을 위하여 Booker & Young (1991)은 편익함수를 2차함수로 정의하고 이를 회귀분석을 통하여 계수를 추정한 반면, Bennett et al. (2001)은 편익함수를 동일한 2차 함수로 정의한 후에 최적 물 사용량과 그때의 최대편익을 별도로 구하여 2차 함수식의 계수를 추정하고 있다. 본 연구에서는 위의 목적함수에서 비용을 제외한 편익부분만을 대상으로 하고, 편익함수의 도출은 Bennett et al. (2000)이 제시한 방법을 이용하였다.

이러한 모형을 이용하여 유역의 유량의 기대값과 유량의 편차의 크기를 고려한 년도별, 계절별, 상·하류간의 물의 용도를 고려한 물배분을 어떤 형태로 배분하는 것이 경제적 효율성 측면에서 바람직한가를 고찰하고자 한다. 유역의 수문학적 특성을 반영하기 위해서는 유량자료의 유량을 하나의 확률변수로 설정하여 분석하고자한다. 또한 물의 용도를 고려한 편익을 상·하류별로 각각 추정하여 최적배분, 비율배분, 고정배분의 관계를 살펴보고자 한다. 다음절에서 자세히 설명하겠지만 최적배분은 고정배분과 비율배분의 혼합한 형태를 띄고 있으며 비

율배분은 유량을 일정비율로 배분하는 것이며 고정배분은 유량의 크기에 따라서 하류지역에 고정적으로 얼마의 양을 배분하고 나머지를 상류지역에서 사용하는 형태이다. 여기서 언급하고 있는 비율배분은 최적배분에서와 동일한 목적함수를 이용하되 비율배분이라는 제약조건 하에서 최적해를 구하는 방법이다. 고정배분도 최적배분에서와 동일한 목적함수를 이용하되 고정배분이라는 제약조건 하에서 최적해를 구하는 형태이다. 이론적으로는 효율성 측면에서 비율배분 방식과 고정배분 방식보다 더 효율적인 '최적배분 방식'을 구성할 수는 있겠지만 현실적인 어려움으로 실제 물 배분량을 결정하는데 적용하는 예가 없는 것으로 파악되고 있다. 가장 큰 이유는 효율성을 극대화하다보니 유량의 변동에 의하여 물 부족이 나타날 경우에 특정지역이나 특정 수요처에는 물을 전혀 할당하지 않는 것이 가장 효율적인 배분방안이라는 형태의 배분대안이 많이 발생하는데 기인한다. 이러한 배분은 협상을 통하여 성사되기가 매우 힘들기 때문이다.[19]

따라서 일반적으로 물 배분은 두 가지 형태를 취하는데, 하나는 강의 상류지역과 하류지역이 일정한 비율로 물을 배분하는 방법이다. 예컨대 상류와 하류지역이 물을 40% 대 60%로 배분하는 것이 사회적 기대이익을 최대화하는 배분비율이라면, 상류지역은 유량의 60%를 하류로 흘러 보내야 한다는 것이다. 또 다른 형태의 배분은 고정된 수량을 하류지역에 배분하는 것으로, 가령 상류지역은 강의 유량에 관계없이 매달(혹은 매일) 10만톤의 물을 하류지역에 흘려 보내는 의무를 지는 것이다. 고정배분 방식은 배분의 감시가 비교적 용이하고 하류지역에 안정된 물을 확보하도록 한다는 장점이 있지만, 유량변화의 위험을 상류지역이 모두 안게 된다는 어려움이 있다.

외국의 사례연구를 보면, 일반적으로 비율배분과 고정배분 방식 중 어느 것이 더 효율적이냐 하는 것은 유량의 기대값과 각 지역의 편익함수, 그리고 정치적 가중치에 따라 결정되므로 모든 유역에 보편적으로 적용되는 원칙은 없다.[20] 이

19) 이를 수학적인 용어로는 구석해(corner solutiom)라고 한다. 즉, 가로, 세로축상의 한 점에서 해가 구해지는 경우이다. 선형계획법 등을 이용한 물 배분을 다룰 경우에 이러한 구석해를 방지하기 위하여 제약조건으로 최소한의 물이 특정수요처로 배분되어야 하는 양을 설정하기도 한다.

러한 점을 감안하여 본 모형설정에서는 먼저 이론적 '최적배분 방식'을 도출한 후, 현실적으로 적용 가능성이 높은 비율배분 방식과 고정배분 방식을 비교할 수 있는 모형을 설정하고자 한다. 즉, 물의 용도를 고려한 상·하류지역의 물 배분이 최적배분 하에서 유량의 기대값과 편차에 의하여 어떻게 달라지는 지를 보여줄 수 있는 모형을 정립한다. 다음으로 비율배분과 고정배분이라는 제약조건 하에서 사회적 기대이익을 최대화할 수 있는 비율배분계수와 고정배분량을 각각 결정하는 모형을 정립한다.

우선 상·하류 지역간[21]의 가장 효율적인 물 배분을 다룰 수 있는 필요조건을 다음과 같이 설정하고자 한다. 먼저 모형에서 이용되는 기호는 다음과 같이 정의한다.

$\hat{W}$ =확률변수로서의 유량, 평균: μ, 분산: σ^2인 정규분포를 가정

$f(\hat{w})$= $\hat{W}$ 의 확률밀도함수

C_U =상류지역의 물 사용량

C_L =하류지역의 물 사용량 ($C_U + C_L \leq W$:물 사용의 제약조건)

$B_i(C_i)$ = 각 지역i의 물의 용도별 소비에 따른 편익함수,

$i = U, L$ (U는 상류지역, L은 하류지역을 의미함)

여기서 지역의 편익함수는 함수의 오목성조건을 만족하는 함수형태이다.

$B_i'(C_i) > 0$, $B_i''(C_i) < 0$

$SB \equiv B_U(C_U) + \lambda B_L(C_L)$: SB: 사회적 편익함수

λ : 하류지역에 주어진 가중치로서 하류지역과 상류지역이 동일한 가중치이면 λ는 1로 주어지고, 하류지역이 국가적으로 매우 중요하거나 하류지역이 상류

20) 예를 들면, 콜로라도주와 네브라스카주간의 사우스 프라트(South Platte)강 협약은 고정배분을 적용하고 있고, 콜로라도주와 뉴멕시코주간의 라 프라타 (La Plata)협약은 비율배분을 적용하고 있다.

21) 물론 이론적 모형에서는 지역이든 용도이든 두 부문으로 나누어 볼 수 있으면 어떠한 경우에도 적용이 가능한 모형이지만, 향후 본 연구에서 언급하는 상·하류지역이라 함은 상류지역의 물의 용도와 하류지역의 물의 용도를 반영한 것임을 밝혀둔다.

지역에 수자원개발 등에 투자를 많이 하였을 경우에는 $\lambda \geq 1$의 형태를 취한다.

2. 최적배분 모형

사회적 편익을 최대로 만드는 C_L , $C_U(=W-C_L)$를 결정하는 식을 최적배분 방식으로 정의하고, 사회적 편익을 최대화하는 C_L을 결정하는 목적함수는 다음과 같다.

$$\underset{C_L(\hat{w})}{Max}\ E\{B_U(\hat{W}-C_L(\hat{W}))+\lambda B_L(C_L(\hat{W}))\}$$
$$s.t.\ 0 \leq C_L \leq \hat{W}. \tag{1}$$

$E[\cdot]$:기대값을 나타내는 연산자

식 (1)을 최대로 만드는 일차조건은 다음과 같다.

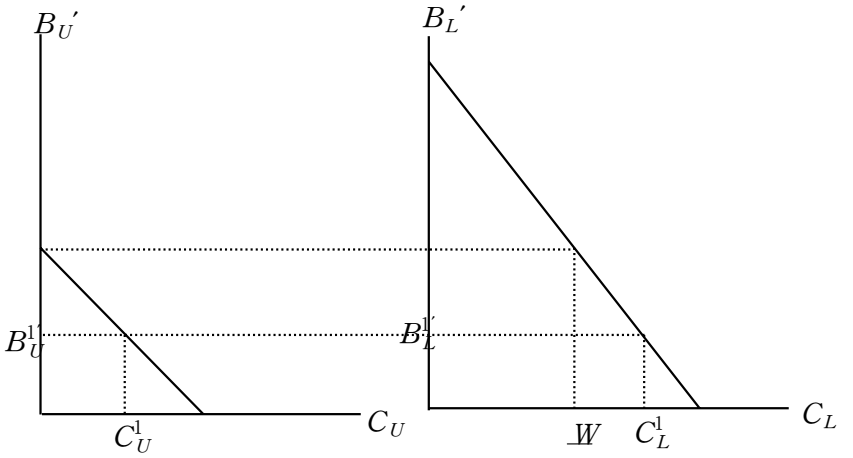
$$E[B_U'(W-C_L)] = \lambda E[B_L'(C_L)] \tag{2}$$

식 (2)는 두 지역의 한계편익이 같아지도록 물이 배분되어야 한다는 것을 말해주고 있다. 다음의 <그림 4-1>은 식(2)의 경제적 의미를 보다 명확히 설명하고자 두 지역의 한계편익곡선을 가상적으로 표현한 것인데, 하류지역의 한계편익이 상류지역보다 크다는 전제하에 그려진 것이다. 이 경우에 강의 유량이 $\underline{W}$이하라면 모든 물을 하류지역으로 돌리는 것이 사회적 편익을 최대화하는 것이다. 즉, 유량이 $\underline{W}$보다 적을 경우에는 위의 식(2)를 만족시키는 C_L이 존재하지 않을 수 있다. 즉, 하류지역의 한계편익이 상류지역의 그것보다 충분히 크고 강의 유량이 아주 적은 경우에는 하류지역에 유량의 전부를 공급한다 하더라도 여전히 하류지역의 한계편익이 상류지역의 그것보다 큰 경우가 있을 수 있다는 것이다. 그러므로 다음과 같은 식(3)의 조건이 성립하는 경우도 발생할 수 있다.

$$E[B_U'(0)] < \lambda E[B_L'(\bar{W})] \quad (3)$$

이러한 특수한 경우에는 상·하류의 한계편익을 같게하는 물배분은 존재하지 않으며, 하류지역이 물을 독점하는 것이 사회적 편익을 최대화하는 방법이라는 것이다. 그러나 유량이 $\bar{W}$이상이라면 식(2)가 나타내고 있듯이 두 지역의 한계편익이 같아지도록 물을 배분하는 하는 것이 가장 효율적이다. 예컨대 그림에서 유량이 $C_U^1 + C_L^1$ 이라면 상류와 하류에 각각 C_U^1, C_L^1의 물을 배분하는 것이 효율적이라는 것이다.

<그림 4-1> 상·하류간의 최적배분방안



다음으로 본 연구에서는 최적배분을 위한 한계편익을 도출하기 위하여 다음과 같이 명시적인 편익함수를 가정하였다.[22]

22) 여기서의 추정방식은 Bennett *et.al.* (2000) 추정한 방법이다. 실제로 효용함수 등에서 이러한 2차 함수

$$B_i(C_i) = a_i C_i^2 + b_i C_i + c_i \quad (\text{단}, i = U, L \quad a_i < 0, \quad b_i > 0, \quad c_i > 0) \qquad (4)$$

이 편익함수는 물 사용량이 증가하면 총 편익이 어느 수준까지는 증가하다 감소하는 형태를 가정한 것이고, 또한 한계편익은 물 사용량이 증가함에 따라 감소하고 편익의 증가율 또한 체감하는 일반적인 함수형태를 가정한 것이다. 실제로 물을 생산요소의 하나로 투입하는 제조업을 가정해보자. 어느 수준까지는 물의 공급을 확대하면 생산액이 증가하나 적정수준을 초과하면 오히려 부작용을 낳는다. 즉, 농업생산에서 필요량 이상으로 물을 더 공급함으로써 농작물의 산출량이 저하될 수도 있으므로 이로 인한 편익이 감소할 수 있다는 현실적인 측면과도 부합하는 함수형태이다.

이제 위의 식(4)를 이용한 구체적인 최적배분의 해를 구해보자. 식(4)를 이용하여 (3)의 조건이 성립하면 하류지역에 독점적 사용을, (3)의 조건이 성립하지 않으면 식(2)와 같이 두 지역의 한계편익이 동일해 지도록 배분을 하는 방식을 다음과 같이 얻을 수 있다.[23]

식을 설정하여 추정하는 사례가 많이 있다. 즉, 오목성조건을 만족하는 함수형태를 가정한 것이다.

23) 식(5)의 도출과정은 다음과 같다.. 식(4)를 이용하여 식(2)를 대입하여 1차조건식을 구한 다음, $C_l = E[\hat{W}]$, $C_u=0$을 대입하면 $E[\hat{W}] \geq (2a\hat{W} + b)$, $MB_u = b$이 되고, 다음의 관계가 성립하면 하류가 독점적으로 물을 사용하는 것이 효율적이다.

$\geq (2a_l \hat{W} + b_u) \geq b_l$ ----- ①

위의 조건을 $\hat{W}$ 에 대하여 풀면 $E[\hat{W}] \leq \frac{(b_u - \lambda b_l)}{2a_l \lambda}$ 의 조건을 얻는다. 위의 부등식이 만족되면 $Cl = \hat{W}$ 이 최적 배분이 됨. 반면에 식①의 부등식이 만족되지 않으면 $Cl = \hat{W}$, $Cu=0$ 일 때 상류의 한계편익이 하류의 편익보다 큼으로 이때에는 하류지역의 사용량을 줄여서 상류지역에 배분하는 것이 효율적이다. 즉, 가장 효율적인 방법은 $MB_l = MB_u$이 만족되도록 물을 배분하는 것이다. 이를 위해서는 $(2a_l C_l + b_l) = 2a_u C_u + b_u$ --- ②가 성립해야한다. 그런데 $C_u = \hat{W} - C_l$이므로 이를 식 ②에 대입하여 풀면 $C_l = \frac{2a_u E[W] - \lambda b_l + b_u}{2(\lambda a_l + a_u)}$ 을 얻는다.

$$E[W] < \frac{b_U - \lambda b_L}{2\lambda a_L} \text{ 이면 } C_L^* = W$$

$$E[W] \geq \frac{b_U - \lambda b_L}{2\lambda a_L} \text{ 이면 } C_L^* = \frac{2a_U E[W] - \lambda b_L + b_U}{2(\lambda a_L + a_U)} \quad (5)$$

여기서 $*$는 최적해를 표시한다.

식(5)의 첫 번째 식의 경제적 의미는 유량이 적을 경우에는 하류지역에의 독점(고정)배분을, 유량(流量)의 기대값이 충분히 크다면 비율배분과 고정배분의 합으로 배분하는 것이 바람직하다는 것이다. 식(5)의 두 번째 식은 다음과 같이 두 부분으로 구분할 수 있다.

$$C_L^* = \frac{a_u E[W]}{(\lambda a_L + a_u)} + \frac{b_u - \lambda b_L}{2(\lambda a_L + a_u)} \quad (5)'$$

식 (5)′의 의미는 하류지역의 최적 배분량은 유량의 기대값의 일정비율을 하류지역에 할당하는 것과(전항), 고정적으로 일정량을 배분(후항)하는 것의 합으로 구성된 것이다. 또 하나의 경제적 의미는 유량이 많을수록 ($\partial C_L^* / \partial E[W] > 0$), 그리고 하류지역에 주어지는 가중치가 클수록 ($\partial C_L^* / \partial \lambda > 0$) 하류지역에 배분되는 물의 양이 많아진다는 것이다. 여기서 유량의 기대값 *E[W]*은 유량의 확률변수의 평균으로서 유량의 분포형태와 유량의 편차에 의하여 좌우된다.[24] 최적배분방법을 현실에 적용할 경우에 식 (5)′의 후항의 고정량으로 인하여 가용수량을 모두 하류지역에 배분하는 것이 사회적 기대이익을 극대화하는 해로 나타나는 경우가 있어서 유역내의 지역간·수요처간에 배분협정 등을 도출하는데 어려움이 있어서 다음절에서 언급하는 비율배분과 고정배분이라는 각각의 제약조건하에서 사회적 편익을 최대화하는 배분방법을 선택하는 경우가 대부분이다.

24) 구체적인 적용방법은 제5장에서 자세히 다루고 있다.

3. 비율배분과 고정배분

1) 효율적인 비율배분량

앞에서 언급하였지만 최적배분방법은 구석해가 많이 발생함으로 현실적으로 고려할 수 있는 방법은 상·하류의 두 지역간에 비율배분하거나 기대유량의 일정한 량을 하류지역에 고정적으로 배분하는 두 가지 경우를 상정할 수 있다. 먼저 상·하류간에 비율배분을 고려하여보자.

β를 총유량 중 하류지역에 배분하는 비율이라 하자($0<\beta<1$). 그러면 W가 주어질 때 상류와 하류에 각각 배분되는 물의 양은 다음과 같다.

$$C_U=(1-\beta)W, \qquad C_L=\beta W \tag{6}$$

위의 식 (6)을 사회적 편익의 기대값을 최대화하는 목적함수인 식(1)에 편익함수 식 (4)를 이용하여 대입하면 다음과 같다.

$$Max_\beta \; E[B_U((1-\beta)W)+\lambda B_L(\beta W)]=$$

$$Max_\beta \; E[a_u(1-\beta)^2W^2+b_U(1-\beta)W+c_U]+ \lambda E[a_L\beta^2W^2+b_L\beta W+c_L] \tag{7}$$

식 ((7)을 β에 관해 미분하여 일차조건을 구하면 다음과 같은 비율배분에서의 최적 배분량은 다음과 같이 결정된다.

$$\beta^*=\frac{2a_UE[W^2]+(b_U-\lambda b_L)E[W]}{2(a_U+\lambda a_L)E[W^2]} \tag{8}$$

여기서 $E[W^2] = Var[W]+E[w]^2 = \sigma^2+\mu^2$에 의하여 구할 수 있다. 즉, 유량의 기대값의 제곱과 분산의 합이다. 따라서 최적배분비율 β^*가 정해지면 전체 기대유량 E[W]에 β^*를 곱한 양을 하루지역에 배분하고 나머지를 상류지역에 배분하는 것이 가장 효율적인 비례배분량이 되는 것이다. 이 배분의 장점은 유량이 아무리 작아도 어느 특정수요처에 독점적으로 배분하는 경우가 발생하지 않으므로, 가뭄과 같은 현상 자주 발생하는 지역이나 계절별로 유량의 변동이 심한 지역에서 선호될 수 있는 배분방법이다.

2) 효율적인 고정배분량

$\overline{W}$ 를 하류지역에 고정적으로 배분하는 양이라 한다면 두 지역에 배분되는 물의 양은 다음과 같다.

$$C_L = \min(W,\ \overline{W}),\ C_U = W - \min(W,\ \overline{W}) \tag{9}$$

이러한 배분방식에 의하면 실제유량이 하류지역에의 고정적으로 보내야할 량보다 적다면 하류가 독점으로 사용하고, 유량이 하류지역에 보내야할 량 보다 많다면, 상류지역은 전체유량에서 하류지역에 보내야 할 고정량을 제외한 부분을 공급받게 된다. 이 방식의 문제는 하류지역으로 보내야할 최적 고정배분량을 어떻게 구하는 가이다. 이를 위하여 식 (9)를 사회적 기대편익를 구하는 함수식에 대입하면 다음과 같다.

$$Max_{\overline{W}}\ E[B_U(\widehat{W} - \min(\widehat{W},\ \overline{W}))] + \lambda E[B_L(\min(\widehat{W},\ \overline{W})] \tag{10}$$

먼저 문제를 단순화하기 위하여 유량이 하류에 고정적으로 보내야 하는 양보

다 많을 경우만을 대상으로 하여 보면 식 (10)은 다음과 같이 표현된다.

$$Max_{\overline{W}}\ E[B_U(\widehat{W} - \overline{W})] + \lambda E[B_L(\overline{W})] \qquad (10)'$$

여기에 앞의 비율배분과 같은 방법으로 본 연구에서 상정한 편익함수식 (4)를 식 (10)′에 대입하여 전개하면 그 결과는 다음과 같다.

$$E[a_u(\hat{W}-\bar{W})^2 + b_u(\hat{W}-\bar{W}) + c_u]$$
$$+ \lambda \cdot E[a_L(\bar{W})^2 + b_u(\bar{W}) + c_L] \qquad (11)$$

위의 식을 유량의 기대값으로 다시 정리하면 다음과 같다. 여기서 한가지 강조하여야 할 것은 이미 유량의 크기를 고정배분량보다 큰 조건하에서 출발하였으므로 우리가 구하는 기대유량의 값은 조건부 기대값이라는 것이다.

즉, $E(\hat{W}|\hat{W}>\bar{W}^*)$인 경우를 대상으로 한다는 것이다. 이를 대입하여 최종적으로 정리하면 다음과 같다.

$$a_u \cdot E[\hat{W}|\hat{W}>\bar{W}^*]^2 - 2a_u \cdot \bar{W} \cdot E[\hat{W}|\hat{W}>\bar{W}^*] + a_u \bar{W}^2 +$$
$$b_u \cdot E[\hat{W}|\hat{W}>\bar{W}^*] - b_u \cdot \bar{W} + c_u + \lambda \cdot (a_L \bar{W}^2 + b_L \bar{W} + c_L) \qquad (12)$$

위의 식 (12)를 $\overline{W}$에 대해 일차미분하여 영으로 놓은 일차조건으로부터 다음과 같은 효율적인 고정배분량을 결정할 수 있다.

$$\bar{W}^* = \frac{2a_u E(\hat{W}|\hat{W}>\bar{W}^*) + b_u - \lambda b_l}{2(a_u + \lambda\ a_l)} \qquad (13)$$

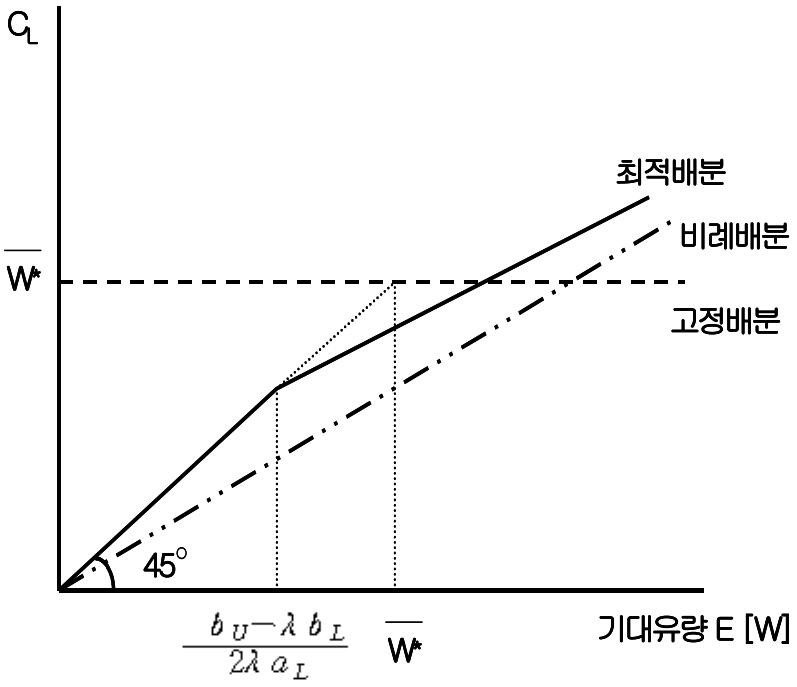
즉, 하류지역의 고정배분이라는 제약조건 하에서의 최적배분량은 우변의 $\bar{W}^*$와 좌변의 값이 같아지는 점에서 최적배분량이 결정된다는 것이다.

4. 이론적 배분방법의 비교

이상에서 최적배분, 비율배분, 그리고 고정배분을 구하는 방법을 이론적으로 검토하였다. 앞에서도 언급하였듯이 현실적으로 최적배분 방식을 채택할 수 없는 제약이 존재한기 때문에 , 실제 적용시에는 비율배분 방식과 고정배분 방식중 하나를 채택해야 하는데, 문제는 이 두 가지 중 어느 방식이 더 효율적일 것인가에 달려있다. 앞에서 구한 방법별 최적해를 보면 최적배분방법도 유량의 기대값에 따라 달라지고, 고정배분은 해가 암묵적 해(Implicit solution)로 표현되어 있어서 단정적으로 얘기할 수 는 없다.

따라서 비율배분 방식과 고정배분 방식중 어느 것을 채택하느냐는 편익함수의 파라메타, 가중치, 확률변수인 유량의 평균값 및 확률밀도함수 등에 따라 결정된다. 이들 세 가지 방법의 개략적인 관계를 그림으로 설명하면 다음과 같다. <그림 4-2>에서 보듯이 최적배분시 유량이 $\frac{b_U - \lambda b_L}{2\lambda a_L}$ 보다 적을 경우에는 모두 하류지역에 독점적으로 배분하고, 그 이상일 경우에는 고정배분과 비례배분의 혼합으로 이루어진다. 고정배분의 경우에도 유량이 $\bar{W}^*$ 보다 적을 경우는 하류에 모두 배분하는 것이 효율적이고 그 이상일 경우에는 $\bar{W}^*$ 만을 공급한다. 비율배분은 기대유량의 일정비율을 항상 배분받기 때문에 하나의 직선으로 표시된다. 그러므로 유량이 적을 경우에는 최적배분과 고정배분이 일치하거나 유사하고, 기대유량이 많을수록 비례배분 방식이 최적배분 방식에 더 가까운 경향이 있다는 것을 알 수 있다.

<그림 4-2> 배분대안별 이론적 비교



5. 위험도 분석

지금까지는 유량의 기대값과 편차에 의하여 어떠한 배분이 효율적인가를 다루었다. 그러나 유량이 확률적으로 변화할 때 특정 배분을 선택함으로써 상류 및 하류에서 감내하여야 할 위험도에 대해서는 언급하지 않았다. 예를 들면, 유량의 기대값이 매우 크다는 가정하에서 비율배분을 통하여 배분하였다고 하자. 이 경우에 실제유량이 매우 적음으로 인하여 하류지역에서 상대적으로 편익의 감소가 크다면 하류지역이 느끼는 위험도는 상류지역보다 클 수가 있다. 이와 같이 어떤 배분을 통하여 상·하류가 느끼는 위험도를 변이계수를 통하여 분석하고자 한다. 변이계수는 분산을 기대배분량으로 나누어 구하는데, 변이계수는 평균이 서

로 다른 계열간의 분산을 비교하기 위해 많이 이용한다. 각 배분방법에 따른 분산값은 다음장의 사례분석에서 실제 자료를 이용하여 도출하는 과정을 설명하고자한다. 이상과 같이 앞에서 언급한 효율성 측면에서의 배분방법과 배분방법의 선택에 따른 위험도의 크기로 형평성을 동시에 고려하고자 한다. 이는 효율성과 위험도가 유량의 크기와 편차에 의하여 배분방법별로 어떠한 변화가 있는지에 대한 보다 다양한 정보를 제공함으로써 정책결정자가 보다 합리적인 물 배분정책을 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 구체적인 변이계수의 추정은 다음장의 사례분석에서 구체적인 자료를 통하여 도출방법을 설명하고자 한다.

CHAPTER 5

물 배분 모형을 이용한 합리적 물 배분방안

1. 대상지역 및 자료

사례분석대상지역으로는 낙동강 유역의 합천댐 하류지역을 대상으로 하였다. 이 지역은 물 배분이 다른 지역보다 복잡하지 않지만, 농업용수, 생활용수, 공업용수 등 다양하게 배분되어 있을 뿐만 아니라 유역외에 있는 울산공업단지에도 물이 배분되고 있어 다양한 정책적 의미를 내포하는 지역이다.

분석에 필요한 유량자료로는 합천댐 조정지댐 방류량 자료 (1989년~2001년)를 이용하고자 한다. 그 이유는 합천댐 본댐의 방류량을 조정지댐에서 일시 저류시킨 후에 하천으로 방류하기 때문에 유량자료로 사용하는데 문제가 없다. 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천유지용수 등에 대한 실제 배분자료는 수자원공사 합천댐 내부자료를 이용하였다. 용도별로 보면, 상류지역은 생활(합천군) 및 공업용수(칠서공단) 그리고 관개용수로 이용되고, 하류지역은 생활용수(마산과 창원), 공업용수(울산공단)로 이용되고 있다. 구체적인 자료는 부록의 <부표 1>과 <부표 2>를 참조바란다.

2. 편익함수의 추정

1) 연간 편익함수의 추정

편익함수를 추정하기 위해서는 용도별 편익을 먼저 추정해야한다. 통합모형에서 보듯이 농업용수, 공업용수, 생활용수, 발전, 그리고 하천의 생태계보호를 위한 하천유지용수에 대한 편익의 산출이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 발전에 따른 용수의 편익과 하천유지용수의 확보에 따른 편익은 제외하기로 한다. 왜냐하면 합천댐의 경우, 모든 용수는 발전을 통하여 하천에 방류됨으로 상·하류간의 물 배분에 어떠한 영향을 미치지 않기 때문이다. 실제 합천댐의 방류량자료를 보면 1988년 준공이후 1989년 발전을 시작한 이래 지금까지 발전을 하지 않고 여수로를 통하여 방류한 것은 2000년 9월15일에서 17일까지 단 2일간의 32.1백만톤 밖에 없다.[25] 다음으로 하천유지용수에 대한 부분도 최소한의 유지용수는 가치에 관계없이 확보해 준다는 가정 하에서 제외하였다. 즉, 전체 가용용량 중에서 최소한의 하천유지용수를 제외한 나머지의 용수를 대상으로 배분정책을 시행함으로써 하천생태계에 미치는 영향을 최소화하였다.

이러한 전제 하에서 제 3장의 수자원가치추정에 대한 이론적 검토에서 살펴본 농업용수, 공업용수, 생활용수에 대한 편익의 산정절차를 본 연구에 적용하기에는 자료의 부족, 시간적 제약 등으로 상당한 어려움이 따랐고, 비록 한계편익을 추정한다고 해도 그 결과에 대한 신뢰도에 문제가 있을 것으로 예상되어 다음과 같은 방법으로 시도하였다. 제4장의 이론적 부분에서 가정한 2차 편익함수의 계수를 수학적으로 추정하기 위해서는 곡선상의 두 점(좌표)을 알아야 한다.

$$B = aX^2 + bX + c \quad (\text{단}, a<0,\ b>0,\ c\geq 0)$$

두 점 중의 하나는 반드시 최대점이고 나머지 하나는 곡선상의 어떤 지점도

25) 년간 평균 방류량이 6억톤 이상인 점을 감안하면 13년 동안에 단 한차례 3천2백만톤을 방류한 것이 전부이므로 모든 유량을 발전을 통하여 방류된다고 해도 거의 정확한 표현일 것이다.

무방하다. 그러나 본 연구에서는 최대점 외의 한 점은 좌표상의 원점을 지나는 것으로 하였다. 왜냐하면 물의 투입이 전혀없을 때는 편익이 발생하지 않는다고 가정하여도 무방하기 때문이다. 최대점은 물의 최적투입시 발생하는 편익이 최대로 나타나는 점이다. 따라서 용도별 최적 물 사용량 산정은 농업용수의 경우 현재 합천댐의 용수를 이용하고 있는 합천군지역의 「농업기술지원센터」의 내부자료를 이용하였고, 공업용수의 경우는 칠서공단 및 울산공업단지의 용수담당자의 조언을 통하여 각각 산정하였고, 생활용수는 개별 지자체의 담당공무원의 면담조사를 통하여 확보하였다. 다음으로 최적투입시 편익을 도출하는 방법으로 본 연구에서는 산업연관표상의 물 투자 단위당 생산유발액을 대리변수로 사용하였다. 산업연관표라는 하나의 기준으로 농업부문, 공업부문, 가계부분의 물 사용 단위당 생산유발액을 도출할 수 있고, 세 가지 용도별 물의 가치를 반영할 수 있다는 점에서 이 방법을 이용하였다.[26] 특히, 공업부문은 칠서공단과 울산공단의 업종이 다른데 따른 물의 용도별 가치를 반영하기 위해서 산업연관표의 산업부문을 개별공단의 업종별로 취합하여 도출하였다.[27] 이렇게 도출한 단위당 생산유발액은 농업부문: 0.02, 칠서공단:0.1, 울산공단: 0.44, 가계부문:0.53로 추정되었다. 그러나 경제학적으로 한계편익과는 다른 개념이지만 단위당 생산유발액을 사용한 것은 본 연구의 가장 중요한 목적이 유량이라는 확률변수에 따른 물의 변동량을 반영한 배분방법의 선정과 그때의 배분량을 결정하는데 있으므로 물의 용도별 상대적 가치의 차이를 반영할 수 있으면 효율적인 배분방법과 배분량을 결정하는데는 영향을 미치지 않기 때문이다. 이러한 관점에서 선행연구의 하나인 Benette. *et al.*(2000)의 연구에서도 2차 편익함수의 계수를 추정하면서 물의 최적사용량에 따른 편익을 용도별 생산액을 대리변수로 이용하고 있다.

---

26) 산업연관표는 「1998년 산업연관표, 2000」를 이용하였고, 가계부문은 산업연관표상의 피용자보수 부문을 내생화하여 도출하였다. 물 한 단위투자에 따른 산업의 각 부분의 생산유발효과를 계측하기 우하여 물 공급(water supply)부문을 외생화하였다.

27) 칠서공업단지의 업종으로는 식품가공업, 프라스틱제품, 우유가공업 등이 포함되고, 울산공업단지의 업종은 기계, 조립금속 ,비철 등의 업종을 포함하고 있다.

⑴ 농업용수

농업용수의 경우, 먼저 최적물사용량을 결정하기 위하여 「농업기술지원센터」의 자료를 이용하였다. 이 자료에 따르면 벼의 생육에 필요한 최적 용수량은 헥타르당(ha) 년간 1,800mm이며, 이중에 600mm는 강우에 의존하고, 나머지 1,200mm를 하천에서 취수하는 것이 최적이라고 보고하고 있다.[28] 현재 합천군 지역에서 합천댐의 용수를 공급받는 관개면적은 1,969ha이다. 따라서 관개용수 최적공급량은 관개면적; 1,969ha (1,969*10,000m^2)에 단위당 물 사용량을 곱하여 구하였다. 즉, 총 물사용량은 1,968(ha)*10,000*1,200÷1,000 = 23,616 천톤이다. 따라서 총 물사용량을 가격으로 환산하면 23,616천톤 * 30.25원= 805,134 천원이다. 여기서 톤당 30.25원은 현재 수자원공사가 원수대로 적용하고 있는 금액이다. 이는 현장(On site)가격이 아닌 수원(Instream)에서의 가격을 적용한 것으로 앞의 이론적 부문에서 검토한 것과 동일하게 적용하였다. 따라서 805,134천원어치의 물을 공급함으로써 얻을 수 있는 벼 생산의 총편익은 805,134 천원*0.02 (단위당 유발액) = 16,103천원이다.

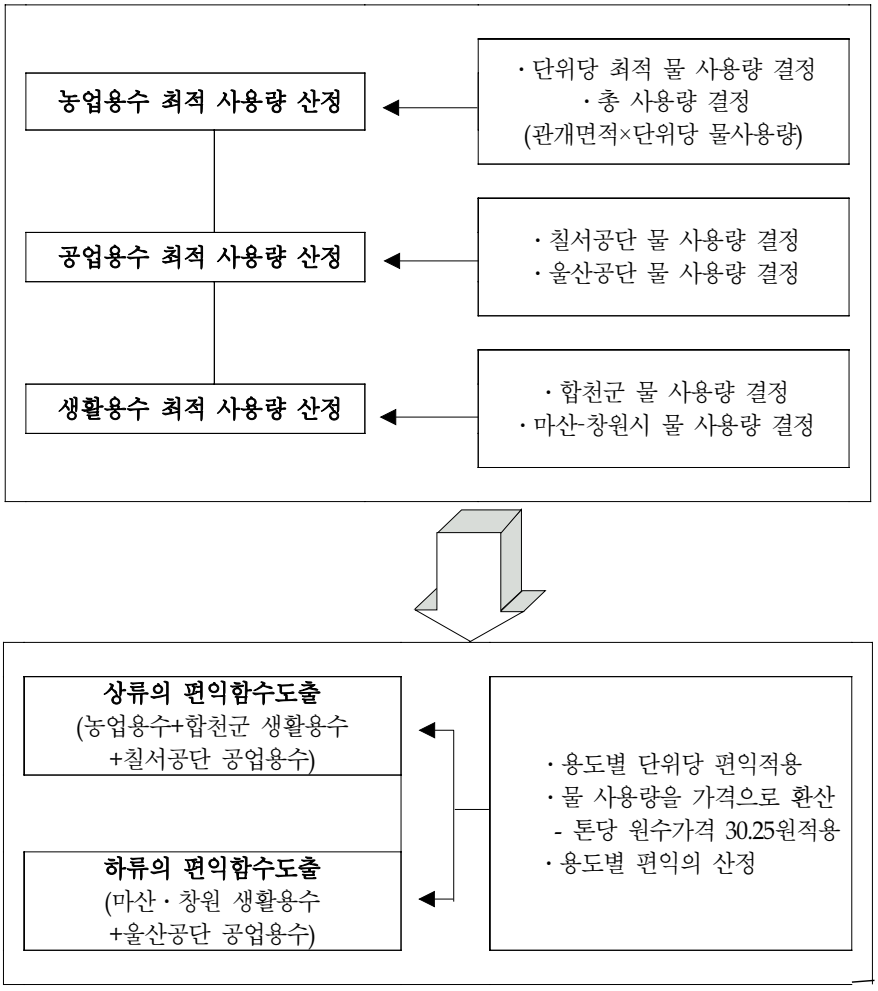
⑵ 공업용수

① 칠서공단: 상류지역

칠서공단의 경우, 현재 공단입주업체의 연간 제조업 생산에 전혀 장애가 없는 물 공급량을 2백만톤으로 추정하고 있다. 물 사용량을 가격으로 환산하면 2백만톤*30.25원=60,500천원이고, 그때의 총 편익은 60,500천원*0.1 = 6,050천원이다.

28) 이는 증발산량을 고려한 물 사용량이다.

<그림 5-1> 편익함수의 추정절차



② 울산공단: 하류지역

울산공단의 경우, 연간 제조업 생산에 전혀 장애가 없는 물 공급량을 2억3천1백만톤으로 추정하였다. 이 물사용량을 가격으로 환산하면 2억3천1백만톤*30.25원 = 7,011,950천원이고, 그때의 총편익은 7,011,950* 0.44 = 3,085,258천원이다.

⑶ 생활용수

① 합천군 생활용수: 상류지역

합천군 생활용수공급계획과 년간 생활용수 사용실적 등을 감안할 때, 지역주민의 물 사용에 지장을 주지 않는 적정 공급량을 1천6백만톤/년으로 설정하였다. 이 물사용량을 가격으로 환산하면 1천6백만톤*30.25원=48,400 천원이고, 그때의 총편익은 48,400천원*0.53 = 25,652천원 이다.

② 마산ㆍ창원시 생활용수: 하류지역

마산ㆍ창원시 생활용수공급계획과 년간 생활용수 사용실적 등을 감안할 때, 지역주민의 물 사용에 지장을 주지 않는 적정 공급량을 1억3천7백만톤/년으로 설정하였다. 이 물사용량을 가격으로 환산하면 137,000천톤*30.25원=4,144,250천원이고 , 그때의 총편익은 4,144,250*0.53 =2,196,452천원이다.

⑷ 편익함수의 추정

이상의 용도별 물 사용량과 편익을 상・하류로 구분하여 최종적으로 구한 편익함수는 다음과 같이 도출하였다. 먼저 2차 함수식 (ax^2+bx+c)의 3개의 계수를 추정하기 위해서는 3개의 조건식이 필요하다. 세 개의 조건식은 첫째, 물 투입이 전혀 없을 때는 편익이 "0", 둘째, 물 사용량과 그때의 최대편익을 이용한 조건, 세 번째, 최적사용량 시점에서 1차미분값이 '0' 이라는 세 가지 조건을 이용하여 계수를 추정한다. 이를 이용한 상류지역의 편익함수를 사례로 도출과정을 설명하면 다음과 같다. 첫째조건에 의하여 상수항 'c'는 '0'이 된다. 두 번째 조건에 상류지역의 총물 사용량 (41.6백만톤)과 그 때의 편익 (47.8백만원)을 대입하면

$47.8=a_u \cdot 41.6^2 + b_u \cdot 41.6$이라는 두 번째 조건이 성립된다. 마지막으로 세 번째 조건으로부터 $2 \cdot a_u \cdot 41.6+b_u=0$ 이 도출된다. 이상과 같이 세 개의 방정식을 이용하면 최종적으로 $a_u= -0.065$, $b_u=3.538$ $c=0$의 계수를 도출할 수 있다.

그러므로 상류지역은 농업용수, 합천군 생활용수, 그리고 칠서공단 공업용수의 물 사용량과 그때의 총 편익을 이용하여 도출한 편익함수는 다음과 같다.

$B_u= -0.065X_u^2+3.538X_u$(백만톤, 백만원),
B_u는 상류지역의 편익, X_u는 물 사용량을 나타냄

동일한 방법으로 하류지역인 마산시·창원시의 생활용수와 울산공단 공업용수의 물 사용량과 그때의 총 편익을 이용하여 다음과 같은 편익함수를 도출하였다.

$B_L= -0.039X_L^2+28.65X_L$ (백만톤, 백만원),
B_L는 하류지역의 편익, X_L는 물 사용량을 나타냄

2) 분기별 편익함수의 추정

다음으로 우리나라의 강우량의 분포, 농업용수의 수요시기 등을 감안할 때 연간 물 사용량을 어떻게 배분할 것 인가도 의미있지만, 분기별로 살펴보는 것도 정책 결정자에게는 중요한 의미가 있다. 왜냐하면 우리나라의 기후특성상 1/4분기와 2/4분기에는 강우량이 적은데다, 2/4분기는 본격적인 농사철이 시작되는 관계로 농업용수에 대한 수요가 급격히 증가하는 시기이다. 3/4분기는 강우량이 풍부하여 물 배분의 문제보다는 홍수에 대한 문제가 발생하는 시기이므로 특별히 따로 분기별 배분을 고려하지 않아도 될 시기이다. 4/4분기도 농업용수에 대한 수요가 급격히 감소하는 시기인데다 여름철의 풍부한 강우로 큰 문제가 없는

계절적 특성을 고려하여 검토대상에서 제외하고 1/4분기 및 2/4분기만을 대상으로 검토한다.

연간 편익의 추정과 동일한 절차를 통하여 1/4분기 및 2/4분기의 최적 용수량과 그때의 편익을 도출하였다. 여기서는 구체적인 추정의 절차를 생략하고 추정된 결과를 요약하면 다음의 <표 5-1>과 같다.

<표 5-1> 분기별·용도별 최적 용수량 및 편익

용도별		최적 용수량(천톤)		편 익(천원)	
		1/4분기	2/4분기	1/4분기	2/4분기
농업용수*		-	9,446	-	5,715
공업용수	칠서공단	500	600	1,512	1,815
	울산공단	67,000	81,000	891,770	1,078,110
생활용수	합천군	400	400	6,413	6,413
	마산·창원시	32,000	37,000	513,040	593,202

*: 벼농사의 경우 모내기가 2/4분기부터 시작되는 관계로 1/4분기에는 물 수요가 발생하지 않음

다음의 <표 5-2>는 <표 5-1>의 최적 물 사용량과 편익자료를 이용한 용도를 고려한 상·하류 지역의 편익함수를 도출한 결과이다.

<표 5-2> 분기별 상·하류의 편익함수 추정결과

	1/4분기	2/4분기
상류지역	$B_u = -9.75X_u^2 + 17.55X_u$	$B_u = -0.13X_u^2 + 2.69X_u$
하류지역	$B_L = -0.14X_L^2 + 28.05X_L$	$B_L = -0.12X_L^2 + 28.32X_L$

3. 배분대안별 효율성 분석

1) 배분방법별 추정절차

제4장에서 이론적으로 도출한 세 가지 유형의 배분방법별 구체적인 추정절차를 살펴보면 다음과 같다.

⑴ 최적배분

최적배분의 해를 구하는 식은 제4장의 식(5)′로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[W] \geq \frac{b_U - \lambda b_L}{2\lambda a_L} \text{ 이면, } C_L^* = \frac{2a_U E[W] - \lambda b_L + b_U}{2(\lambda a_L + a_U)} = \frac{a_u E[W]}{(\lambda a_L + a_u)} + \frac{b_u - \lambda b_L}{2(\lambda a_L + a_u)} \quad (1)$$

여기서 식 (1)의 우변을 보면 최적배분은 비율배분과 고정배분의 합으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 즉, α+γ·E[W]로 구분할 수 있다. α는 $(b_u - \lambda b_L) / (2(a_L + a_U))$으로 계수값에 의하여 하나의 고정된 값을 갖게됨으로 고정적이고, γ는 $a_u / (\lambda a_L + a_u)$이지만 기대유량이라는 확률값에 의하여 변동된다는 의미이다. 여기서는 하류에 주어지는 가중치를 λ=1로 하였다. 즉, 상·하류의 중요도를 동일하게 하였다. 이론적으로는 하류지역이 사회적으로 매우 중요하거나 하류지역이 상류지역에 위치한 댐 건설 등 물에 대한 시설투자 등을 상대적으로 많이 하였을 때는 하류지역에 보다 많은 가중치를 줄 수 있다. 그러나 외국과 달리 우리나라는 정부주도로 수자원개발 투자를 하고 확보된 수량을 배분하기 때문에 가중치를 '1'로 하였다.[29]

이러한 경우의 최적배분의 평균은 [□+∇ · 기대유량]이고, 분산은 $\nabla^2 \cdot \square^2$이다. 유량과 같은 연속적인 확률변수에 대한 기대값은 확률변수에 확률밀도함수의 곱의 적분으로 나타난다.[30] 우리나라의 연간 강우량이 평균적으로 1,320mm이고, 년간 강우량의 편차가 평균을 중심으로 크지 않게 움직이고 있어 정규분포로 가정하여도 합리적이라고 판단된다. 이하 모든 분석에서 이러한 정규분포를 가정하여 기대값을 산정하였다.

$$\int_0^{\infty} x \cdot \left(\frac{1}{\gamma \cdot \sigma\sqrt{2\pi}}\right) \exp\left[-\frac{(x-\alpha-\gamma \cdot E(x))^2}{2(\gamma \cdot \sigma)^2}\right] dx$$

위의 식을 이용하여 기대값을 계산할 수 있다. 즉, 앞에서 구한 2차함수의 추정계수와 유량의 기대값을 통하여 유량의 편차에 따른 최적배분량을 산출할 수 있다.[31]

⑵ 비율배분

먼저 비율배분을 이용한 상·하류의 물 배분의 최적해는 보다 손쉽게 구할 수 있다. 앞에서 구한 이론적 물 배분에서 하류지역으로의 물 배분비율을 구하는 방법은 제4장의 식(8)과 같다.

$$\beta^* = \frac{2a_U E[W^2] + (b_U - \lambda b_L) E[W]}{2(a_U + \lambda a_L) E[W^2]} \tag{2}$$

29) 외국의 경우는 하류지역에서 필요한 물을 확보하기 위하여 하류지역에서 상류지역에 집적투자를 한 부분을 인정하여 하류지역의 가중치를 높이는 경우가 있다.

30) 확률변수를 x라고 정의하고 확률밀도함수를 f(x)로 정의하면, 그때의 기대값은 $\int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x)dx$ 이고 확률밀도함수를 정규분포로 가정하고 평균과 분산을 적용하여 얻어진 결과이다.

31) 이와 같은 형태의 기대값을 계산하기 위하여 본 연구에서는 수학 전용프로그램인 Maple이라는 소프트웨어를 사용하였다.

여기서 $E[W^2] = \sigma^2+\mu^2$을 이용하여 비율배분이라는 제약조건 하에서의 최적 배분비율을 추정할 수 있다. 즉, 유량의 분산과 평균의 제곱의 합으로 구할 수 있고, 나머지 편익함수에서 구한 추정계수들을 대입하여 하류지역에 배분해야할 수량의 비율(β^*)을 구할 수 있다.

⑶ 고정배분

고정배분값의 최적해는 제4장의 식 (13)을 이용하여 구할 수 있다. 이 고정배분의 해를 구하는 공식에서 보듯이 고정배분값의 최적해는 조건부 기대값을 대입한 우변의 값과 일치할 때 성립한다는 것을 알 수 있다.

$$\bar{W}^* = \frac{2a_u E(\hat{W} \mid \hat{W} > \bar{W}^*) + b_u - \lambda\ b_l}{2(a_u + \lambda\ a_l)} \tag{3}$$

먼저 조건부 기대유량값 ($E[\hat{W} \mid \hat{W} > \bar{W}^*]$)을 구하기 위해서는 유량의 분포를 알아야 한다. 보다 이해를 쉽게하기 위하여 불연속적(Discrete)한 경우의 조건부 기대값을 구하는 예를 통하여 연속적인 경우의 일반적인 함수형태를 도출하면 다음과 같다. 먼저 확률변수의 값과 그때의 확률이 다음의 표와 같이 주어졌다고 가정하자. 먼저 전체적인 기대값을 구한 다음 조건부 기대값을 구해보자. 확률변수 x가 1에서부터 4까지의 값을 가지고 그때의 개별 발생확률을 다음과 같이 정의하자. 먼저 전체적인 기대값을 구하는 방법은 개별확률변수와 그때의 발생할 확률의 곱의 합이 된다.

즉, 아래의 확률분포에서 기대값은 1*(1/6)+2*(2/6)+3*(2/6)+4*(1/6)=2.5이다. 여기에 우리가 구하고자 하는 조건부 기대값으로 확률변수 “x가 3이상인 조건에서의 기대값”으로 한다면 그때의 조건부 기대값은 3*(2/6)+4*(1/6) = 1.6666이다.

확률변수(x)	발생확률
1	1/6
2	2/6
3	2/6
4	1/6

불연속적인 경우를 이용하여 연속적(Continous)인 경우의 조건부 기대값으로 구하면 다음과 같다.

$E(x \mid x \geq 3) = \int_3^{\infty} xf(x)dx$, 여기서 $f(x)$는 확률밀도함수이다.

위의 간단한 예를 통하여 황강의 유량이라는 확률변수와 확률변수의 분포를 정규분포로 가정하여 연속적인 경우의 조건부 기대값을 다음과 같이 구할 수 있다. 황강의 유량이 $\bar{W}$ 이상일 경우의 조건부 기대값은 다음과 같다.

$E(x \mid x \geq \overline{W}) = \int_{\overline{W}}^{\infty} xf(x)\mathrm{dx}$, 여기서 $f(x)$는 정규분포를 갖는 확률밀도함수이다. 이때 평균이 a이고 분산이 b인 정규분포를 가정하면, 기대값은 다음과 같다.

$$\int_{w_1}^{\infty} x \cdot \frac{1}{b \cdot \sqrt{2} \cdot \pi} e^{[-\frac{1}{2}(\frac{x-a}{b^2})^2]} dx = \int_{w_1}^{\infty} \frac{1}{2} \frac{x \cdot \sqrt{2} \cdot e^{[-\frac{1}{2}\frac{(x-a)^2}{b^2}]}}{b\sqrt{\pi}} dx$$

위의 식을 풀어쓰면 다음과 같다.

$$\lim_{x \to \infty} \frac{1}{4} \cdot \sqrt{2} \cdot [-2b \cdot e^{[-\frac{1}{2}\frac{x^2 + -2ax + a^2}{b^2}]} + a\sqrt{\pi}\sqrt{2}\, erf\,(\frac{1}{2}\frac{\sqrt{2}(x-a)}{b}) + 2b\, e^{[-\frac{1}{2}\frac{w_1^2 - 2w_1 \cdot a + a^2}{b^2}]} + \mathrm{a}\sqrt{\pi}\sqrt{2}\, erf\,(\frac{1}{2}\ \frac{\sqrt{2}(-w_1 + a)}{b})] \div \sqrt{\pi}$$

위의 식에서 *erf* 는 복소수를 포함하는 일반적인 표현식이다. 즉 a와 w_i의 크기에 따라 실수 및 허수가 될 수 있는 일반형이어서 단순한 엑셀이나 계산기로는 계산을 할 수 가 없어서 앞의 최적배분과 마찬가지로 메이플(Maple)이라는 프로그램을 이용하였다.

다음으로 조건부 기대값이 구해지면 이를 식(3)의 우변에 대입한 후에 좌변과 우변의 값이 같아질 때까지 뉴메리칼 서치 (Numerical search)를 통하여 구할 수 있다. 예를 들면, 식(3)의 좌변의 초기값을 300으로 시작할 경우에 이를 조건으로 하는 식 (3)의 우변의 값이 400이면, 좌측의 초기값 300과는 다른 값을 같게된다. 이 경우에 초기값을 다음에는 20씩 증가시켜 가면서 좌·우변의 값이 같아지는 지점을 찾아낸 결과, 340에서 360사이에서 같아진다는 것을 발견하였다고 하자. 다음에는 340과 360사이에서 1씩 증가시키면서 좌변과 우변이 같아지는 값이 355라면 이 값이 하류지역에 배분해야 할 고정배분량이 된다는 것이다.[32]

2) 합리적 배분 대안[33]

(1) 연도별 자료

합리적 배분대안을 찾기 위하여 황강의 13년간의 월별 방류량자료 (1989-2001)를 이용한 배분방법별 배분량과 그때의 편익을 추정하였다. 방류량 자료를 유량자료의 대리변수로 사용한 이유는 합천댐 하류의 유량관측자료는 미비한 반면, 조정지 댐에서의 방류량 자료는 정확히 기재되어 있고 또한 조정댐에서의 방류

32) 본 연구에서는 이러한 numerical search를 해야할 부분이 매우 많아 DO 루프를 이용하여 서치 시간을 줄이고자 하였고, 또한 좌·우변의 일치하는 값은 백만톤 단위에서 일치하는 값으로 결정하였다..

33) 여기서 한가지 언급할 것은 효율적이라는 용어와 합리적이라는 용어가 자주 본 연구에서 사용되는데 본 연구에서는 효율적이라는 용어는 사회적 기대이익을 최대화하는 경제적 용어로 사용하고, 합리적이라는 용어는 효율적인 대안들 중에서 하나의 대안을 선택할 때 합리적이라는 용어를 사용하기로 한다. 즉, 최적배분, 고정배분, 그리고 비율배분이라는 제약조건 하에서 사회적 기대이익을 극대화는 것은 효율적인 기준이지만, 이들 대안 중에서 하나의 대안을 선택하는 것은 합리적이라는 용어를 사용한다.

량 자료가 유량의 97%이상을 차지하고 있어 문제가 없는 것으로 판단되었기 때문이다.[34]

먼저 황강의 방류량자료를 이용함에 있어서 여름철 (7-9월)의 방류량에는 홍수기에 따른 사용할 수 없는 방류량이 포함되어 있어서 이 부분을 조정한 후에 사용하였다. 조정방법은 수자원공사 「댐관리처」의 자문을 얻어서 조정하였는데, 현재 수자원공사의 방류량 개념에는 이러한 홍수기에 따른 방류량 관련 자료는 없었고, 다만 홍수기의 방류량 대신에 홍수기를 제외한 월별 방류량의 평균값으로 대체하는 것이 정상적인 물 공급을 위한 방류량으로 해석할 수 있다는 결론을 얻었다.

조정전의 연평균 방류량은 약 6.4억톤이었으나 홍수기의 방류량을 조정한 후의 년 평균 방류량은 약 6.1억톤으로 추산되었다(<부표 2> 참조). 여기서 방류량 중에서 하천유지용수로 계획된 방류량인 4천7백만톤을 제외한 5.6억톤을 공급가능한 평균방류량으로 설정하였다. 연간 방류량 자료의 월별 편차가 상당히 많은 것으로 나타났는데 표준편차는 230.5 백만톤이다.

다음의 <표 5-3>은 배분방법별 상·하류간의 배분량과 그때의 사회적 편익을 식(1)을 이용하여 추정한 것이다.

<표 5-3> 배분방법별 배분량 및 기대편익

비율배분				고정배분				최적배분			
배분규칙 β^* (%)	배분량 (백만톤)		사회적 기대편익 (백만원)	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익 (백만원)	배분규칙 α, γ(%)	배분량		사회적 기대편익 (백만원)
	하류	상류			하류	상류			하류	상류	
81.0	452	106	5,330	421	421	136	5,330	120.7, 62.5	469	88	5,330

34) 이러한 조정은 수자원공사의 유량분석 실무자의 조언을 바탕으로 하였다.

비율배분의 경우는 평균 유량의 81% (4.52억톤), 고정배분은 평균유량의 4.21억톤, 그리고 최적배분은 고정배분량 120.7백만톤과 기대유량의 62.5%의 합인 4.69억톤을 하류로 배분하는 것이 대안별 최적배분값으로 나타났다. 다음으로 이들 배분량을 이용한 사회적 기대편익을 계산한 결과, 모든 배분에서 동일하게 나타났다. 물 배분량이 다름에도 불구하고 사회적 기대편익이 동일한 이유는 다음과 같다. 물이 수요처가 필요로 하는 양 이상으로 공급되고 있다는 것이다. 즉, 수요처에서 100톤의 물이 필요한데 150톤의 물을 공급받는다면 당연히 불필요한 물을 공급받음으로 인하여 발생하는 물값을 더 지불(원수대, 전기료, 시설사용료 등)함으로써 편익이 감소하거나, 농업용수와 같이 필요이상의 물을 공급받을 경우는 오히려 수해 등으로 생산량이 감소한다. 그러나 여기서는 개별 수요처가 합리적으로 행동하여 필요량 이상은 공급받지 않는다는 경제적인 동기로 최적수요량을 초과하는 부분에 대해서는 편익이 정체되는 것으로 산정하였다.[35)]

결론적으로 요약하면 기존 합천댐 계통의 용수는 평균적으로 개별 수요처에서 필요한 양 이상의 용수를 확보하고 있으므로 배분상에 큰 문제가 없다는 점이다. 그러나 연도별 방류량 자료를 보면 연도별로 심한 편차를 보이고 있다. 즉, 가뭄이 심하였던 1995년의 경우는 평균유량이 2.5억톤, 1996년은 3.4억톤 수준으로 감소하고 있어서 유량의 변화와 편차의 크기에 따른 배분방법을 살펴보는 것이 향후의 물 부족시 우려되는 수요처간의 물 배분관련 분쟁의 사전적 예방에 중요함을 알 수 있다.

따라서 최근 12년간의 평균유량과 편차를 고려한 물 배분 시나리오를 통하여 효율적 물 배분방안을 도출할 필요가 있다. 우리나라의 물 배분현황과 문제점에서 살펴보았듯이 기존의 수요처를 보면 허가수리권 (기득수리권 포함)에 의하여 연간 배분량을 규정하고 있지만, 가뭄 등에 의하여 물 공급량이 허가수량보다 적을 경우에는 배분을 둘러싼 분쟁이 발생한다. 이러한 경우를 대비하여 보다 합리

35) 즉, 본 연구에서 사용하고 있는 편익함수에서 최적사용량 이상의 물을 사용하는 경우에는 정점을 지나는 부분에 대해서는 감소하는 것이 아니라 정체되는 것으로 가정한 결과이다.

적인 배분방안을 마련한다면 사전적으로 물 부족에 따른 분쟁을 줄여나갈 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 배경하에 다음과 같이 유량의 변화를 5억톤에서 2억5천만톤 까지의 다섯 가지로 구분하고 동시에 각 유량별로 현재의 유량의 편차인 230을 감안하여 300에서 100까지 다섯 가지로 구분한 시나리오에 대한 사례유형별 배분방안을 검토하고자 한다.

<표 5-4> 유량 및 편차 시나리오

평균유량* (백만톤)	표 준 편 차				
500	300	250	200	150	100
400	300	250	200	150	100
350	300	250	200	150	100
300	300	250	200	150	100
250	300	250	200	150	100

*: 여기서의 평균유량은 모든 경우에 최소한의 하천유지용수를 제외한 경우를 상정한 것이다.

[사례유형 1: 기대유량 5억톤]

기대유량이 [$E(W)$=5억톤]일 경우의 유량의 분산을 고려한 배분값을 배분대안별로 산정한 결과는 다음과 같다. 현재의 연간 평균 공급가능량인 약 5억7천만톤 정도에서 용수가 5억톤으로 감소하여도 기존의 수요처에서 필요한 수요를 충분히 공급하고도 여유가 있음을 알 수 있다. 이로 인하여 배분대안별 배분량이 달라도 사회적 기대이익은 53억3천만원으로 모든 배분에서 동일하게 나타났다.

배분방법에 따른 배분량을 보면 이론적 검토에서 살펴보았듯이 유량이 풍부할 경우에는 고정배분에 의한 배분보다는 비율배분에 의한 배분량이 최적배분량과 유사함을 알 수 있다.

<표 5-5> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형1

(단위: %, 백만톤, 백만원)

σ	비율배분				고정배분				최적배분			
	배분규칙 β^* (%)	배분량 (백만톤)		사회적 기대편익	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익	배분규칙 α, γ(%)	배분량		사회적 기대편익
		하류	상류			하류	상류			하류	상류	
300	80.3	401	99	5,330	391	391	109	5,330	120.7, 62.5	434	66	5,330
250	81.8	409	91	5,330	388	388	112	5,330	120.7, 62.5	433	67	5,330
200	83.3	417	83	5,330	387	387	113	5,330	120.7, 62.5	433	67	5,330
150	84.7	423	77	5,330	390	390	110	5,330	120.7, 62.5	433	67	5,330
100	85.7	427	71	5,330	399	399	101	5,330	120.7, 62.5	433	67	5,330

[사례유형 2: 기대유량 4억톤]

기대유량이 [$E(W)$=4억톤]일 경우, 유량의 분산을 고려하여 배분값을 산정한 결과는 기대유량이 5억톤인 경우와 유사한 패턴을 보이고 있다. 먼저 기대유량에 대한 편차가 적을 수록 하류지역에의 배분비율이 높게 나타나고 있다. 이는 하류지역에 보다 확정적인 양을 많이 배분하는 것이 사회 전체적으로 기대이익을 극대화 할 수 있다는 것이다. 한편 고정배분방법에서는 유량의 편차가 적을수록 하류지역에 고정적으로 배분해야 할 배분량이 적어짐을 볼 수 있다. 이는 유량의 편차가 적다는 것은 기대배분량을 보다 안정적으로 확보할 수 있는데 기인한다. 다음으로 사회적 기대이익의 크기를 보면, 유량의 편차가 300정도로 매우 클 경우에는 고정배분을 할 경우의 기대편익이 최적배분에 가장 근접한 배분방법임을 알 수 있으며, 편차가 작아 질수록 비율배분이 사회적 기대편익을 극대화할 수

있는 배분방법임 알 수 있다. 이는 이론적 검토에서 살펴본 바와 같이 유량이 상대적으로 풍부할 경우에는 비율배분이 최적배분에 가깝다는 사실을 보여주는 사례이다.

<표 5-6> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형2

(단위: %, 백만톤, 백만원)

σ	비율배분				고정배분				최적배분			
	배분규칙 β^* (%)	배분량 (백만톤)		사회적 기대 편익	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대 편익	배분규칙 α, γ (%)	배분량		사회적 기대 편익
		하류	상류			하류	상류			하류	상류	
300	81.8	327	73	5,246	339	339	61	5,278	120.7, 62.5	372	28	5,330
250	84.2	337	63	5,274	333	333	67	5,264	120.7, 62.5	371	29	5,330
200	86.6	347	53	5,293	328	328	72	5,249	120.7, 62.5	370	30	5,330
150	89.0	356	44	5,305	332	332	68	5,261	120.7, 62.5	370	30	5,330
100	90.9	364	36	5,309	330	330	70	5,255	120.7, 62.5	370	30	5,330

[사례유형 3: 기대유량 3.5억톤]

기대유량이 [$E(W)$=3.5억톤]일 경우의 유량의 분산을 고려하여 배분값을 산정한 결과를 보면, 기대유량에 대한 편차가 적을 수록 하류지역에의 배분비율이 높게 나타나고, 고정배분방법에서는 유량의 편차가 적을수록 하류지역에 고정적으로 배분해야 할 배분량이 적어짐을 볼 수 있다.

사례유형2에서의 결과와 비교하여 보면, 유량이 5천만톤 감소함에 따라서 유량의 편차가 큰 경우에는 (300, 250) 고정배분이 최적배분에 가깝다는 것이다. 한

편, 유량의 편차가 200이하일 때는 비율배분이 최적배분에 가까운 배분방법임을 보여주고 있다. 이상의 결과는 유량의 편차가 크다는 것은 실제 배분받을 수 있는 유량이 매우 적을 수 있으므로, 이는 유량이 적을 경우에 고정배분이 최적배분에 가깝다는 이론적 결과와 부합하는 사례이다.

<표 5-7> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형3

(단위: %, 백만톤, 백만원)

σ	비율배분				고정배분				최적배분			
	배분규칙 β^* (%)	배분량 (백만톤)		사회적 기대편익	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익	배분규칙 α_1 (%)	배분량		사회적 기대편익
		하류	상류			하류	상류			하류	상류	
300	82.4	288	62	5,044	314	314	36	5,178	120.7, 62.5	342	8	5,285
250	85.3	299	51	5,107	307	307	43	5,147	120.7, 62.5	340	10	5,290
200	88.5	310	40	5,161	300	300	50	5,112	120.7, 62.5	339	11	5,292
150	91.6	321	29	5,205	296	296	54	5,091	120.7, 62.5	339	11	5,292
100	94.4	330	20	5,252	296	296	54	5,091	120.7, 62.5	339	11	5,292

[사례유형 4:기대유량 3억톤]

기대유량이 [$E(W)$=3억톤]일 경우의 유량의 분산을 고려한 배분값을 산정하면 다음과 같다. 평균유량이 3억톤 정도로 감소하면, 최적배분의 경우는 모든 수량을 하류에 배분하는 것이 사회적 기대이익을 최대화하는 양으로 나타나고 있다. 이러한 문제로 인하여 실제 물 배분방법으로 고정배분이나 비율배분방안 중에서 하나를 이용하게 되는 원인이 되기도 한다.

배분대안별 기대편익을 보면, 유량의 편차가 300, 250, 200일 경우에는 고정배

분을 할 경우의 기대편익이 최적배분에 가장 근접한 배분방법임을 알 수 있으며, 편차가 150이하일 경우에는 비율배분이 사회적 기대편익을 극대화할 수 있는 배분방법임 알 수 있다. 기대유량이 줄어들수록 고정배분이 최적배분에 근접한 배분량이 되는 경우가 점점 늘어가고 있음을 보여주고 있다.

<표 5-8> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형4

(단위: %, 백만톤, 백만원)

σ	비율배분				고정배분				최적배분			
	배분규칙 β^* (%)	배분량 (백만톤)		사회적 기대편익	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익	배분규칙	배분량		사회적 기대편익
		하류	상류			하류	상류			하류	상류	
300	82.6	248	52	4,754	291	291	9	5,061	하류독점	300	0	5,085
250	86.3	259	41	4,852	282	282	18	5,020	"	300	0	5,085
200	90.4	271	29	4,948	274	274	26	4,970	"	300	0	5,085
150	94.7	284	16	5,031	276	276	24	4,984	"	300	0	5,085
100	98.7	296	4	5,076	264	264	36	4,893	"	300	0	5,085

[사례유형 5:기대유량 2.5억톤]

기대유량이 [$E(W)$=2.5억톤]과 같은 최악의 가뭄상황일 경우의 유량의 분산을 고려한 배분값을 산정하면 다음과 같다. 평균유량이 2.5억톤일 경우의 배분방법별 상·하류의 배분량을 보면 최적배분의 경우는 모든 수량을 하류에 배분하는 것이 사회적 기대이익을 최대화하는 양으로 나타나고 있고, 또한 유량의 분산이 상대적으로 큰 경우 (σ:300, 250, 200)는 고정배분에서도 모든 수량을 하류에

배분하거나, 반대로 분산이 적은 경우(σ:100)는 비율배분에서도 모든 수량을 하류에 배분하는 것이 사회적 기대이익을 극대화하는 해(corner solutiom)가 나타나고 있다.

이상의 5가지 사례유형을 통하여 분석한 결과를 보면, 앞의 이론적 모형에서 살펴본 결과와 동일하게 나타난다. 즉, 유량의 크기가 적을수록 고정배분이 최적배분에 가깝고, 유량이 풍부할수록 비율배분이 최적배분에 가깝게 나타난다는

<표 5-9> 배분방법별 배분량 및 기대편익: 사례유형5

(단위: %, 백만톤, 백만원)

σ	비율배분				고정배분				최적배분			
	배분 규칙 β^* (%)	배분량 (백만톤)		사회적 기대 편익	배분 규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대 편익	배분 규칙	배분량		사회적 기대 편익
		하류	상류			하류	상류			하류	상류	
300	82.3	206	44	4,295	270	250	0	4,725	하류 독점	250	0	4,725
250	86.6	217	33	4,428	260	250	0	4,725	"	250	0	4,725
200	91.9	230	20	4,571	249	249	1	4,719	"	250	0	4,725
150	98.0	245	5	4,694	241	241	9	4,666	"	250	0	4,725
100	100	250	0	4,725	233	233	17	4,600	"	250	0	4,725

것이다. 문제는 기대유량이 아주 적을 경우에는 하류가 독점적으로 사용하는 것이 가장 효율적이라는 것이 해가 많이 나타난다는데 있다. 이러한 경우에 이해당사자간에 합의를 도출하기는 어려운 점이 있다. 그러나 이러한 문제는 다음에서 살펴보고자 하는 위험도 분석과 함께 검토하면 보다 합리적인 대안을 선택할 수 있을 것으로 판단된다.

⑵ 분기별 자료

앞에서는 연도별 자료를 이용한 합리적 물 배분방법을 다루었다. 여기서는 우리나라의 전형적인 물 부족시기인 1/4분기와 2/4분기에 대한 효율적인 물 배분방법을 모색하고자 한다. 접근 방법은 연도별 자료와 동일한 방법으로 접근한다.

① 1/4분기

1/4분기의 평균 유량은 약 1.3억톤이고 유량의 편차는 0.74억톤으로 나타났다. 이를 바탕으로 정규분포를 가정한 유량의 확률변수를 이용한 배분방법별 효율적인 배분량과 사회적 기대이익을 추정하면 다음의 <표 5-10>과 같다.

먼저 비율배분을 보면 하류지역으로의 배분비율이 99%로 나타나고 있다. 이는 상류지역에 공급되는 농업용수에 대한 수요가 1/4분기에는 발생하지 않고, 단지 합천군의 생활용수와 칠서공단의 공업용수에 대한 수요가 발생하는데 기인한다. 그리고 배분량을 보면 최적배분과 유사함을 알 수 있다. 이는 앞서의 이론적 검토부분에서 언급한 것처럼 유량이 풍부할 경우에는 비율배분이 고정배분보다 최적배분에 가깝다는 것을 뒷받침해주고 있다. 그러나 여기서도 모든 배분방법별로 배분량을 이용한 사회적 기대편익이 동일함을 알 수 있다. 이는 연간 자료에서와 같이 배분방법별 물 공급량이 다름에도 불구하고 사회적 기대편익이 동일한 것은 물을 수요처가 필요한 양 이상으로 공급가능하기 때문에 개별 수요처가 합리적으로 행동하여 필요량 이상은 공급받지 않는다는 가정 하에서 최적수요량을 초과하는 부분에 대해서는 편익이 정체되는 것으로 산정하였다. 결론적으로 요약하면 기존 합천댐의 용수는 1/4분기에도 현재의 평균유량과 편차아래에서는 물 배분상에 큰 문제가 없다는 것이다.

<표 5-10> 배분방법별 배분량 및 기대편익(1/4분기)

비율배분				고정배분				최적배분			
배분 규칙 β^* (%)	배분량 (백만톤)		사회적 기대 편익	배분 규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대 편익	배분 규칙 α, γ (%)	배분량		사회적 기대편익
	하류	상류			하류	상류			하류	상류	
99	130.8	1.5	1,413	110	110	22.3	1,413	0.53, 98.6	131	1.3	1,413

그러나 1990년부터 2001년까지의 년도별 방류량자료를 보면 1/4분기의 최저 방류량이 6천만톤 수준까지도 떨어지는 점을 감안하여 이상가뭄 등에 의한 물 부족이 나타날 것에 대비하여 다음과 같은 기대유량과 편차를 고려한 물 배분 시나리오를 검토하여 보았다. 즉, 유량평균을 세 가지로 나누고 각각의 유량별 표준편차도 세 가지로 나누어 살펴보았다.

<표 5-11> 유량 및 편차의 시나리오(분기별 자료)

기대유량 (백만톤)	표 준 편 차		
사례유형1: 100	100	75	50
사례유형2: 80	300	250	200
사례유형3: 50	300	250	200

<표 5-12>를 보면 기대유량이 1억톤에서 8천만톤, 5천만톤으로 감소하는데 따른 사회적 기대편익을 최대화하는 최적배분의 해를 보면 모든 물을 하류가 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대편익을 극대화하는 것으로 나타난다. 이는 앞에서도 언급하였듯이 최적배분에 의한 배분은 현실적용이 어렵다는 점을 반증하여 주고 있다. 비율배분이나 고정배분이라는 제약조건 하에서 최적배분의 기대

값에 가까운 배분방법을 보면 기대유량이 비교적 큰 경우에는 비율배분이 고정배분보다 효율적이나, 기대유량이 아주 적은 5천만톤 수준으로 떨어지면 고정배분방법이 비율배분보다 대부분 효율적임을 보여주고 있다.

사례유형별로 보다 자세히 살펴보면, 기대유량이 [$E(W)$=1억톤]인 사례유형1에서 비율배분방법은 편차가 적을 수록 하류지역에의 배분비율이 높게 나타나고 있다. 이는 하류지역이 보다 확정적인 양을 많이 배분하는 것이 사회 전체적으로 기대이익을 극대화 할 수 있다는 것이다. 한편 고정배분방법에서는 유량의 편차가 적을수록 하류지역에 고정적으로 배분해야 할 배분량이 적어짐을 볼 수 있다. 이는 연도별 자료에서 보여준 결과와 동일하며, 이러한 결과는 유량을 안정적으로 확보할 가능성이 유량의 편차가 큰 경우 보다 높기 때문이다. 사회적 기대이익의 크기를 보면 유량의 분산의 크기와 관계없이 비율배분이 사회적 기대편익을 극대화할 수 있는 배분방법임 알 수 있다.

기대유량이 [$E(W)$=8천만톤] 수준으로 떨어질 경우에는 분산이 상대적으로 큰 경우(=100)에는 비율배분량과 고정배분량이 일치하고 사회적 기대값도 최적배분과 일치하고 있다. 한편 유량의 분산이 적어짐에 따라 고정배분은 하류지역이 보다 안정적으로 필요한 수량을 공급받을 수 있다는 기대감으로 고정배분량이 적어지는 반면, 비율배분의 경우에는 보다 확정적인 양을 배분받기 위한 비율이 커지고 있다. 유량의 분산이 아주 큰 경우에는 최적배분, 비율배분, 고정배분방법에 의한 사회적 기대이익이 같지만, 유량의 편차가 줄어들면 비율배분이 사회적 기대편익을 극대화할 수 있는 배분방법임 알 수 있다.

심한 가뭄으로 기대유량이 [$E(W)$=5천만톤] 수준까지 감소할 경우에는 분산이 상대적으로 큰 경우(:100, 75)에는 고정배분방법이 최적배분방법과 유사하며, 분산이 작은 경우(:50)는 비율배분량이 최적배분량과 유사함을 알 수 있다. 이는 고정배분방법에 의한 최적해가 최적배분에 의한 배분과 마찬가지로 하류가 독점적으로 사용하는 구석해이기 때문이다.

<표 5-12> 사례유형별·배분방법별 배분량 및 기대편익(1/4분기)

(단위: %, 백만톤,백만원)

사례유형	σ	비율배분				고정배분				최적배분			
		배분규칙 β^* (%)	배분량		사회적 기대편익	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익
			하류	상류			하류	상류			하류	상류	
1	100	98.8	99	1	1,413	92	92	8	1,404	하류독점	100	0	1,413
	75	98.9	99	1	1,413	86	86	14	1,385	"	100	0	1,413
	50	99.0	99	1	1,413	82	82	18	1,367	"	100	0	1,413
2	100	98.8	79	1	1,348	79	79	1	1,348	하류독점	80	0	1,348
	75	98.9	79.2	0.8	1,348	72	72	8	1,302	"	80	0	1,348
	50	99.0	79.2	0.8	1,348	67	67	13	1,259	"	80	0	1,348
3	100	98.8	49.4	0.6	1,051	61	50	0	1,053	하류독점	50	0	1,053
	75	98.9	49.5	0.5	1,052	53	50	0	1,053	"	50	0	1,053
	50	99.1	49.6	0.4	1,052	46	46	4	1,002	"	50	0	1,053

② 2/4분기

2/4분기는 본격적인 농사철의 시작으로 농업용수에 대한 수요가 급격히 증가하는 시기이다. 이 경우에도 앞의 1/4분기와 동일한 방법으로 분석하고자 한다. 먼저, 2/4분기의 년평균유량은 약1.3억톤, 표준편차는 73.3인 정규분포 하에

서의 배분방법별 상·하류간의 배분량과 그때의 사회적 편익을 추정하면 다음과 같다.

비율배분의 경우는 평균 유량의 81.9% (106.6백만톤), 고정배분은 평균유량의 약 1.1억톤, 그리고 최적배분은 약 1.2억톤을 하류로 배분하는 것이 합리적인 배분값으로 분석되었다. 다음으로 이들 배분량을 이용한 사회적 기대편익을 계산한 결과, 고정배분이 비율배분보다 최적배분에 따른 사회적 기대이익에 더 근접한 배분이나, 거의 유사한 형태를 보이고 있다. 이는 물 공급가능량이 어느 정도 충분할 경우에는 배분방법상의 차이가 적게 발생한다는 것을 보여주는 것이다. 이처럼 2/4분기의 기대유량이 1.3억톤 정도의 수준이라면 물 배분방법상의 문제점은 크게 발생하지 않을 것으로 기대할 수 있다.

<표 5-13> 배분방법별 배분량 및 기대편익(2/4분기)

(단위: %, 백만톤, 백만원)

비율배분				고정배분				최적배분			
배분규칙 β^* (%)	배분량		사회적 기대편익	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익	배분규칙 α, γ (%)	배분량		사회적 기대편익
	하류	상류			하류	상류			하류	상류	
81.9	106.6	23.6	1,670	108	108	22.2	1,673	0.52, 51.2	119	11.2	1,685

다음에서는 1/4분기와 동일한 방법으로 <표 5-11>에서 설정한 기대유량과 편차를 고려한 물 배분 시나리오별로 물 배분방법과 기대이익을 도출하고자 한다. <표 5-14>를 보면 1/4분기의 결과와 마찬가지로 사회적 기대편익을 최대화하는 최적배분의 해를 보면 모든 물을 하류가 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대편익을 극대화하는 것으로 나타난다. 비율배분이나 고정배분이라는 제약조건 하에서 최적배분의 기대값에 가까운 배분방법을 보면 1/4분기의 결과와 반대적 현상이 나타나고 있다. 즉, 1/4분기에는 대부분 비율배분이 고정배분보다 효율적이

었으나, 2/4분기에서는 대부분 고정배분이 효율적인 것으로 나타나고 있다. 이는 단정적으로 얘기할 수는 없으나, 비록 유량이 동일하여도 상·하류간의 용도별 수요량의 차이와 유량의 편차에 따라서 보다 효율적인 배분방법이 달라진다는 것이다. 이는 매우 의미있는 결과로서 유량의 크기, 편차, 물의 용도에 따라서 배분방법을 달리하는 것이 사회 전체적인 기대편익을 극대화할 수 있다는 정책적 시사점을 제시하고 있다.

사례유형별로 보다 자세히 살펴보면, 기대유량이 [$E(W)$=1억톤]일 경우의 유량의 분산을 고려한 배분값을 보면, 최적배분은 하류가 독점적으로 사용하는 것이 사회적 편익을 극대화할 수 있는 배분방법으로 나타나고 있으나, 앞에서도 언급했듯이 이러한 배분은 실제 물 수요자간의 배분방법으로는 설득력이 없을 수 있다. 다음으로 비율배분과 고정배분방법중 어느 것이 사회적으로 가장 효율적인 최적 배분량에 근접한 배분방법인가를 살펴보면, 유량의 분산이 클 경우(□:100, 75)에는 고정배분, 유량의 분산이 적을 경우에는 (□:50) 비율배분이 사회적 기대이익을 최대화할 수 있는 배분방법임을 알 수 있다.

기대유량이 8천만톤 이하로 떨어지는 사례유형 2와 3의 경우에는 고정배분이 최적배분과 일치하며, 하류가 모든 용수를 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 배분방법임을 보여주고 있다. 기대유량이 8천만톤인 경우의 1/4분기의 배분방법에서는 비율배분방법이 보다 효율적인데 반하여, 2/4분기에는 고정배분방법이 보다 효율적인 것으로 나타나고 있다. 기대유량이 [$E(W)$=5천만톤] 수준으로 감소하여 물 부족이 매우 심각할 경우에는 고정배분이 최적배분과 일치하며, 하류가 모든 용수를 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 배분방법임을 보여주고 있다. 비율배분의 경우에도 유량의 편차□가 50일 경우에는 모든 수량을 하류가 독점적으로 사용하는 것이 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 대안으로 나타나고 있어 유량이 매우 적고, 분산이 적을 경우에는 비율배분과 고정배분 모두 동일한 결과를 초래함을 알 수 있다.

<표 5-14> 배분방법별 배분량 및 기대편익(2/4분기)

(단위: %, 백만톤, 백만원)

사례유형	σ	비율배분				고정배분				최적배분			
		배분규칙 β^* (%)	배분량		사회적 기대편익	배분규칙 $\overline{W}^*$	배분량		사회적 기대편익	배분규칙	배분량		사회적 기대편익
			하류	상류			하류	상류			하류	상류	
1	100	77.6	78	22	1,493	98	98	2	1,628	하류독점	100	0	1,632
	75	84.8	85	15	1,554	94	94	6	1,613	"	100	0	1,632
	50	93.0	93	7	1,608	91	91	9	1,597	"	100	0	1,632
2	100	77.0	62	18	1,308	91	80	0	1,498	하류독점	80	0	1,498
	75	86.1	69	11	1,397	86	80	0	1,498	"	80	0	1,498
	50	98.5	78	2	1,484	82	80	0	1,498	"	80	0	1,498
3	100	72.5	36	14	992	81	50	0	1,116	하류독점	50	0	1,116
	75	83.5	42	8	991	75	50	0	1,116	"	50	0	1,116
	50	100	50	0	1,116	70	50	0	1,116	"	50	0	1,116

4. 배분대안별 위험도 분석

1) 배분대안별 분산분석

지금까지 우리는 배분방법별로 배분량을 계산하여「기대편익」만을 생각해왔지 그 기대편익을 얻기 위해서 각 지역이 얼마나 위험을 부담해야 하는가 하는 '불확실성'에 관한 논의는 하지 않았다.

이러한 불확실성을 다루기 위해서는 각 배분방식에 따라 상류와 하류지역의 물 소비량이 얼마나 변동하느냐, 즉 물배분량의 분산이 얼마나 될 것이냐를 알아야 한다. 예를 들면, 기대유량이 100톤이고 편차가 50인 경우에 하류지역이 비율배분으로 50%를 배분받는다고 하자. 그러나 실제 강우량이 부족하여 유량이 50톤이 된다면 하류지역은 비율배분규칙에 따라서 25톤밖에 공급받지 못하게 된다. 그러므로 하류지역은 50톤을 기대하고 있었으나 25톤밖에 받지 못하는데 따른 위험이 항상 존재한다는 것이다. 반대로 고정배분에 의하여 50톤을 배분받는다고 할 경우에는 실제유량이 50톤으로 줄어도 전량을 확보할 수 있으므로 하류지역은 위험이 적은 반면, 상류는 물을 모두 하류로 보내야 하는 위험에 직면하게된다. 이와 같은 위험도의 크기를 배분방법로 유량의 기대값과 편차를 이용하여 분석하는 것이 정책결정자나 실제 용수를 공급받는 수요자에게 매우 중요한 정보이다.

이를 위해서는 상류와 하류지역의 물 배분에 따른 분산 ($Var(C_U)$와 $Var(C_L)$)을 구하는 것이 배분방식에 따라 상류와 하류가 위험을 얼마씩 부담하게 되는가 하는 문제에 해답을 줄 수 있다. 여기서는 위험도분석을 실제 현실에 적용가능한 비율배분과 고정배분에 국한하여 상・하류간을 대상으로 분산을 구하여 위험도 분석을 시도하고자 한다.

(1) 고정배분에서의 분산추정 방법

먼저 본 연구에서 추정과정을 누구나 이해하기 쉽게하기 위하여 불연속적(discrete)인 경우를 먼저 검토한 후에, 연속적인 경우로 일반화하고자 하였다. 고정배분은 전체가용 수자원중에서 일정한 양을 고정적으로 배분을 받는 경우이므로 다음과 같은 일반적인 상황을 상정하였다.

하류가 받고자 하는 고정배분량이 115일 경우에 실제유량이 100에서 140까지 변화하는 확률변수를 가정하고 각각의 유량에 대한 확률을 다음의 표와 같다고 하자. 이 경우에 실제유량이 고정배분량보다 적을 경우에는 하류가 받을 수 있는 량은 실제 유량의 전부를 독점하고, 기대유량이 고정배분량보다 많을 경우에는 고정배분량 만큼만 배분받게 된다.

확률	실제유량 W	고정배분량 $\overline{W^*}$	하류지역 소비량 C_L	상류지역소비량 C_U
1/6	100	115	100	0
1/6	110	115	110	0
2/6	120	115	115	5
1/6	130	115	115	15
1/6	140	115	115	25

분산을 구하기 위하여 먼저 상·하류의 기대값을 구하였다. 즉, 확률변수와 그 때의 확률값의 곱의 합으로 구한 하류지역의 기대값은 111.7이고, 상류지역은 8.3이 된다.

상류의 물 소비량의 기대값

$$\mu_U = 0(1/6) + 0(1/6) + 5(2/6) + 15(1/6) + 25(1/6) = 8.3$$

하류의 물 소비량의 기대값

$$\mu_L = 100(1/6) + 110(1/6) + 115(2/6 + 1/6 + 1/6) = 111.7$$

물 소비량의 기대값을 이용한 분산은 유량의 소비량에서 기대값을 뺀 값의 제곱에 발생할 확률을 곱한 값의 합으로 산정할 수 있다. 위의 사례에서의 상류지역에서의 분산은 86.2이고 하류지역은 30.6으로 나타난다.

상류의 물 소비량의 분산값

$$Var(C_U) = (0-8.3)^2(1/6) + (0-8.3)^2(1/6) + (5-8.3)^2(2/6) + (15-8.3)^2(1/6) + (25-8.3)^2(1/6) = 86.2$$

하류의 물 소비량의 분산값

$$Var(C_L) = (100-111.7)^2(1/6) + (110-111.7)^2(1/6) + (115-111.7)^2(2/6+1/6+1/6) = 30.6$$

위의 불연속적인 경우를 원용하여 연속적인 경우로 일반화한 분산은 다음과 같다. 즉, 하류지역의 분산은 기대유량이 고정배분량보다 적을 때까지는 기대유량에서 유량의 평균을 뺀 값의 제곱과 그때의 확률밀도함수(여기서는 정규분포 가정)를 곱한 값까지의 적분값이, 그리고 유량이 고정배분량보다 많은 경우에는 고정배분량에서 평균을 뺀 값의 제곱에 확률밀도함수의 곱의 적분의 합이 된다. 한편, 상류지역의 분산은 기대유량이 고정배분량보다 적을 경우에는 "0"에서 평균유량을 뺀 값의 제곱에 확률밀도함수의 곱의 적분과 유량의 기대값에서 하류지역으로의 고정배분량을 공제한 값에 평균을 뺀값의 제곱에 확률밀도함수를 곱한 값의 적분의 합으로 구성된다.[36]

36) 위의 분산추정방법을 이용한 분산의 계산도 Maple을 이용하여 수행하였다.

○ 하류지역의 분산:

$$Var(C_L) = \int_0^{\overline{W}} (W-\mu_L)^2 f(W)dW + \int_{\overline{W}}^{\infty} (\overline{W}-\mu_L)^2 f(W)dW$$

$$= \int_0^{\overline{W}} (W-\mu_L)^2 f(W)dW + (\overline{W}-\mu_L)^2 \int_{\overline{W}}^{\infty} f(W)dW$$

단, $\mu_L = \int_0^{\overline{W}} W f(W)dW + \overline{W}\int_{\overline{W}}^{\infty} f(W)dW$

여기서 $f(W)$는 정규확률밀도함수

○ 상류지역의 분산:

$$Var(C_U) = \int_0^{\overline{W}} (0-\mu_U)^2 f(W)dW + \int_{\overline{W}}^{\infty} (W-\overline{W}-\mu_U)^2 f(W)dW$$

$$= \mu_U^2 \int_0^{\overline{W}} f(W)dW + \int_{\overline{W}}^{\infty} (W-\overline{W}-\mu_U)^2 f(W)dW$$

단, $\mu_U = \int_0^{\overline{W}} 0 f(W)dW + \int_{\overline{W}}^{\infty} (W-\overline{W}) f(W)dW = \int_{\overline{W}}^{\infty} (W-\overline{W}) f(W)dW$

⑵ 비율배분

비율배분의 경우는 고정배분과는 달리 분산을 보다 간단히 구할 수 있다. 즉, 류지역의 물 소비는 $C_L=\beta \cdot W$이다. 여기서 β는 하류지역의 배분비율, W는 유량(확률변수)이다. 그러므로 상·하류의 분산은 다음과 같다.

$$Var(C_L) = Var(\beta W) = \beta^2 Var(W)$$
$$Var(C_U) = Var((1-\beta) W) = (1-\beta)^2 Var(W)$$

2) 위험도 분석방법론

위의 분산값을 이용한 위험도 분석은 변이계수를 이용하고자 한다. 평균이 서

로 다른 계열간의 분산을 비교하기 위해 변이계수 (Coefficient of variation)를 많이 이용한다. 변이계수는 분산을 기대배분량으로 나누어서 구하였으며, 이 변이계수를 이용하여 각 지역의 위험부담을 나타내는 지표로서 위험배율을 사용하였다. 이 위험배율은 각 배분방법에 따른 상·하류간의 변이계수를 나누어서 각 배분방법간의 위험배율의 크기를 비교한 것이다. 여기서 사용한 변이계수나 위험배율은 수자원의 배분관련 연구에서 처음으로 시도하였다. 여기서 사용한 변이계수를 이용한 위험배율을 배분방식별로 비교하여 위험배분의 형평성을 판단할 수 있는 근거로 삼았다. 따라서 여기서 분석한 위험도에 따른 형평성문제와 앞에서 분석한 효율성에 기초한 배분방안을 동시에 비교함으로써 보다 합리적인 대안을 제시할 수 있다는 장점이 있다.

3) 연도별 자료의 위험도 분석결과

앞에서 년도별 자료를 이용하여 구한 다섯 가지 사례유형별로 분산값을 구하고(표 5-15), 다음에 분산값과 기대평균을 이용한 변이계수 <표 5-16>를 산정하였다. 마지막으로 변이계수를 이용한 위험배율을 <표 5-17>과 <그림 5-2~5-5>로 알기 쉽게 제시하였다.[37]

먼저 <표 5-15>의 분산자료를 보면 모든 사례유형에서 상류지역은 고정배분시에 분산값이 크고, 하류지역은 비율배분시에 분산값이 크게 나타나고 있다. 이는 전체 물 사용량 중에서 하류지역의 사용량이 많은데 기인한다. 하류에 일정량은 배분하는 고정배분에서는 유량의 변동에 따른 위험부담을 상류가 상대적으로 많이 부담하고, 비율배분 하에서는 유량의 변동에 따른 위험부담이 하류에 더 많이 전가되기 때문이다. 다음으로 여기서 구한 분산값을 앞에서 검토한 배분방법별 기대배분량으로 나눈 변이계수의 경우에도 비율배분시에는 하류지역이, 고정배

37) 사례유형 5에 대한 그림은 제외하였는데 이는 비율배분 하에서 편차가 100인 경우에는 상류지역에는 물이 배분되지 않은 해가 발생하였기 때문이다.

분시에는 상류지역이 모든 유형에서 위험부담이 커짐을 알 수 있다.

<표 5-17>은 변이계수를 배분방법별로 상·하류의 변이계수를 나누어 위험배율을 구하였다. 여기서 구한 위험배율은 각각의 배분방법에 따른 위험부담의 크기로서 형평성문제를 다루기 위함이다. 이 형평성문제와 효율성문제를 동시에 비교하기 위하여 위험배율에 진한 색으로 표시된 부분은 각 유형별로 보다 효율적인 배분방법이다.

사례유형별로 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 기대유량이 5억톤인 사례유형1의 위험도분석을 보면 비율배분에 의한 방법이 위험도가 낮음을 알 수 있다. 이는 형평성 차원에서는 비율배분이 더 합리적이라는 의미이다. 한편 효율성 측면에서는 유량이 풍부하기 때문에 비율배분이든 고정배분이든 효율성은 동일하게 나타났다. 따라서 효율성과 형평성을 동시에 만족하는 비율배분을 선택하는 것이 바람직한 배분방안임을 알 수 있다.

기대유량이 4억톤인 사례유형2의 경우는 형평성차원에서 편차의 크기에 관계없이 비율배분에서 위험배율이 낮게 나타났다. 한편 효율성차원에서는 편차가 큰 경우 (=300)에는 고정배분이 효율적이고 나머지의 경우에는 비율배분이 효율성 차원에서도 바람직한 대안으로 나타났다. 따라서 기대유량이 4억톤일 경우에는 유량의 편차가 매우 큰 경우를 제외하고는 비율배분으로 물을 배분하는 것이 효율성과 형평성을 동시에 만족시키는 합리적인 선택으로 판단된다.

기대유량이 3.5억톤인 사례유형3의 경우도 기대유량이 4억톤일 때의 결과와 유사함을 알 수 있다. 즉, 상대적으로 물 배분량이 많은 하류가 고정적으로 일정량을 배분받음으로 고정배분에 따른 분산이 적은 반면, 상류지역은 분산이 매우 크게 나타나고 있다. 변이계수를 이용한 위험도분석을 보면 비율배분에 의한 방법이 위험도가 낮음을 알 수 있다. 이는 형평성 차원에서는 비율배분이 더 합리적이라는 의미이다. 그러나 효율성 측면에서는 편차 ()가 300 및 250일 경우에는 사회적 기대이익이 고정배분에서 높게 나타나고, 나머지의 경우는 비율배분이 효율적인 것으로 나타났다. 따라서 기대유량이 3억5천만톤이고 분산이 클 경

우에는 효율성측면에서는 고정배분을 선택하고 분산이 적은 경우에는 비율배분을 선택하는 것이 바람직하나, 위험도를 고려한 형평성 차원에서는 모든 경우에 비율배분이 유리한 것으로 나타나고 있다. 즉, 사례유형3의 경우 편차가 큰 경우에는 효율성과 형평성이 동시에 만족되지 않으므로 둘 중의 하나를 선택해야하는 문제가 발생한다. 그러나 본 연구의 장점은 앞서의 효율성 측면에서 살펴본 기대이익의 크기와 위험도의 크기를 동시에 비교함으로써 정책결정자나 상·하류에 위치한 지자체나 수요처간에 합의를 도출할 수 있는 정보를 제고할 수 있다는 점이다. 예를 들면, 유량의 편차가 300인 경우의 사회적 기대이익 (<표5-7>)을 보면 고정배분시에는 5,178백만원인데 비하여 비율배분은 5,044백만원으로 고정배분시 보다 1억3천4백만원이 적어진다. 한편, 위험도에서는 비율배분이 4배인데 반하여 고정배분은 38배로 높게 나타나고 있다. 이러한 상황 하에서 상·하류간에 물 배분 협정을 체결한다면 전체적인 기대이익의 증대보다는 위험도를 낮추는 것이 합리적이라고 판단되면 비록 사회적 편익이 약간 감소하더라도 비율배분을 택함으로써 상·하류간의 배분방법을 둘러싼 갈등을 해소할 수 있을 것으로 기대된다. 만약, 하류지역이 고정배분을 고집한다면, 중앙정부차원에서 비율배분을 선택함으로써 하류지역에서 발생하는 손실액만큼을 보상해 주는 방법 등을 통하여 원만히 해결할 수도 있을 것이다.

기대유량이 3억톤인 사례유형4의 경우의 분산과 위험도의 분석결과를 보면, 편차가 100인 경우에는 고정배분이 위험도가 낮은 반면, 편차가 100이상일 경우에는 비율배분이 위험도가 적게 나타나고 있다. 한편, 평균유량이 3억톤인 경우의 효율적인 배분량을 보면 편차가 300, 250, 200일 경우에는 사회적 기대이익이 고정배분에서 높게 나타나고, 편차가 150 및 100인 경우는 비율배분에서 사회적 기대이익이 높게 나타나고 있다. 따라서 유량이 3억톤이고 분산이 클 경우에는 효율성측면에서는 고정배분을 선택하고 분산이 적은 경우에는 비율배분을 선택하는 것이 바람직하나, 위험도를 고려한 형평성 차원에서는 편차가 100인 경우에는 고정배분을 선택하고 나머지의 경우에는 비율배분을 하는 것이 가장 합리적

<표 5-15 > 상·하류의 소비량에 따른 분산

사례유형	분산	배분 방법	분 산 값				
			□=300	□=250	□=200	□=150	□=100
사례유형1 (기대유량: 5억톤)	$Var(C_U)$	비율	3,600	2,256	1,156	576	225
		고정	27,782	25,769	23,121	14,646	7,547
	$Var(C_L)$	비율	57,600	42,025	27,556	15,876	7,225
		고정	8,790	7,219	5,092	2,504	670
사례유형2 (기대유량: 4억톤)	$Var(C_U)$	비율	2,916	1,600	784	272	100
		고정	36,134	27,284	19,382	11,963	6,378
	$Var(C_L)$	비율	59,049	44,100	29,584	17,822	8,100
		고정	8,020	6,942	5,501	3,665	1,212
사례유형3 (기대유량: 3.5억톤)	$Var(C_U)$	비율	2,916	1,406	576	182	36
		고정	32,749	24,521	17,351	11,009	5,706
	$Var(C_L)$	비율	60,516	45,156	30,976	18,632	8,836
		고정	7,472	6,578	5,434	3,793	1,577
사례유형4 (기대유량: 3억톤)	$Var(C_U)$	비율	2,916	1,225	400	81	4
		고정	29,328	21,764	15,190	9,032	4,924
	$Var(C_L)$	비율	60,516	46,225	32,400	19,881	9,604
		고정	7,070	6,165	5,194	4,399	2,019
사례유형5 (기대유량: 2.5억톤)	$Var(C_U)$	비율	2,916	1,225	324	9	-
		고정	27,818	19,721	13,041	8,021	4,096
	$Var(C_L)$	비율	60,516	46,225	33,124	21,609	10,000
		고정	5,509	5,262	4,899	3,946	2,427

<표 5-16 > 변이계수

사례유형	배분방법	지 역	변 이 계 수				
			□=300	□=250	□=200	□=150	□=100
사례유형1 (기대유량: 5억톤)	비율배분	하류(A)	114	103	66	38	17
		상류(B)	36	25	14	7	3
	고정배분	하류(C)	23	19	13	6	2
		상류(D)	255	230	205	133	75
사례유형2 (기대유량: 4억톤)	비율배분	하류(A)	181	131	85	50	22
		상류(B)	40	25	15	6	3
	고정배분	하류(C)	24	21	17	11	4
		상류(D)	592	407	26	176	91
사례유형3 (기대유량: 3.5억톤)	비율배분	하류(A)	210	151	100	58	27
		상류(B)	47	28	14	6	2
	고정배분	하류(C)	24	21	18	13	5
		상류(D)	910	570	347	234	106
사례유형4 (기대유량: 3억톤)	비율배분	하류(A)	244	178	120	70	32
		상류(B)	56	30	14	5	1
	고정배분	하류(C)	24	22	19	16	8
		상류(D)	3,259	1.209	584	376	137
사례유형5 (기대유량: 2.5억톤)	비율배분	하류(A)	294	213	144	88	40
		상류(B)	66	37	16	2	-
	고정배분	하류(C)	22	21	20	16	10
		상류(D)	-	-	13,041	891	241

<표 5-17 > 배분방법별 위험배율

사례유형	배분방법	위 험 배 율 (A/B, D/C)				
		□=300	□=250	□=200	□=150	□=100
사례유형1 (기대유량: 5억톤)	비율배분	4	4	5	5	6
	고정배분	11	12	16	22	38
사례유형2 (기대유량: 4억톤)	비율배분	5	5	6	8	7
	고정배분	25	19	16	16	23
사례유형3 (기대유량: 3.5억톤)	비율배분	4	5	7	10	14
	고정배분	38	27	19	18	21
사례유형4 (기대유량: 3억톤)	비율배분	4	6	9	14	32
	고정배분	136	55	31	24	17
사례유형5 (기대유량: 2.5억톤)	비율배분	4	6	9	44	-
	고정배분	-	-	652	56	24

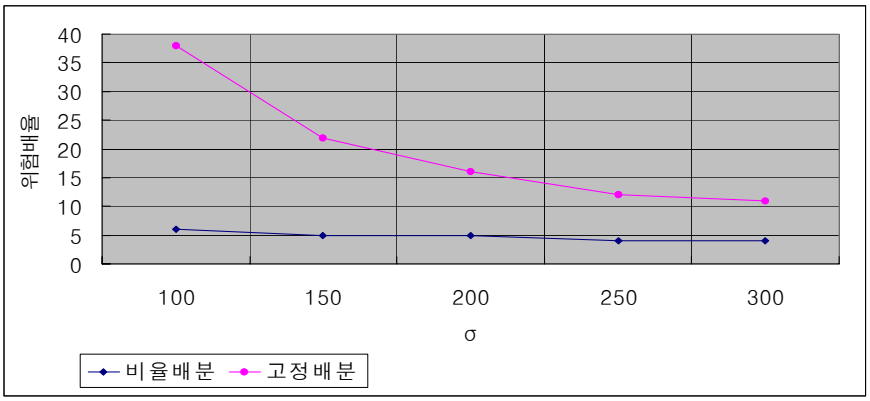
주: 진한 색으로 칠한 부분은 앞에서 살펴본 두 배분방법중 사회적 기대이익을 보다 극대화하는 효율적인 배분대안을 표시한 것이다. 이는 효율성과 여기서 살펴본 위험도와의 상관관계를 쉽게 살펴보기 위함이다.

인 대안이다.

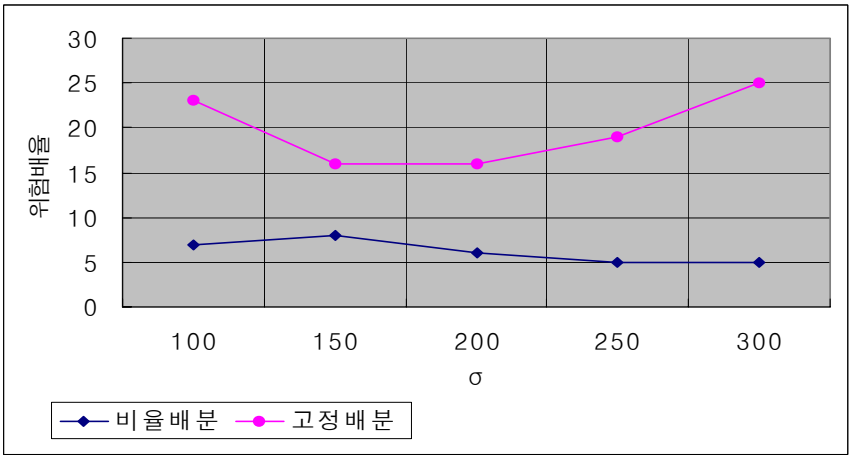
마지막으로 극심한 가뭄 등으로 기대유량이 2억5천만톤인 사례유형5의 경우의 분산과 위험도의 분석결과를 보면, 유량이 너무 작음으로 인하여 편차가 300 및 250인 경우는 고정배분에서 하류가 독점하고, 편차가 100인 경우에는 비율배분에서 하류가 독점하는 것으로 나타나고 있어서 변이계수를 통한 직접적인 비교는 어렵다. 그러나 물 배분시 특정지역이나 용도에 물 배분을 하지 않는 것은 현실적으로 받아들이기 어렵다면 비율배분을 선택하는 것이 차선의 선택이 될

수 있을 것이다. 다음의 그림들은 위험배율의 배분방법별 차이를 한눈에 쉽게 알아보기 위해서 도표화한 것이다. 사례유형1을 제외하고 나머지의 경우는 유량의 편차가 커질수록 비율배분은 위험도가 낮아지고 고정배분은 위험도가 커짐을 알 수 있다. 사례유형1에서는 유량의 편차가 커짐에 따라서 위험배율이 줄어드는 이유는 유량이 풍부함으로 인하여 편차에 의한 영향을 상대적으로 적게 받기 때문이다.

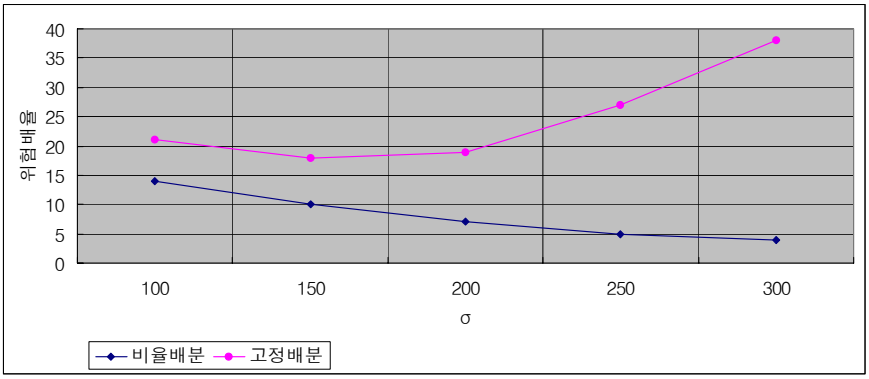
<그림 5-2 > 위험배율: 사례유형1



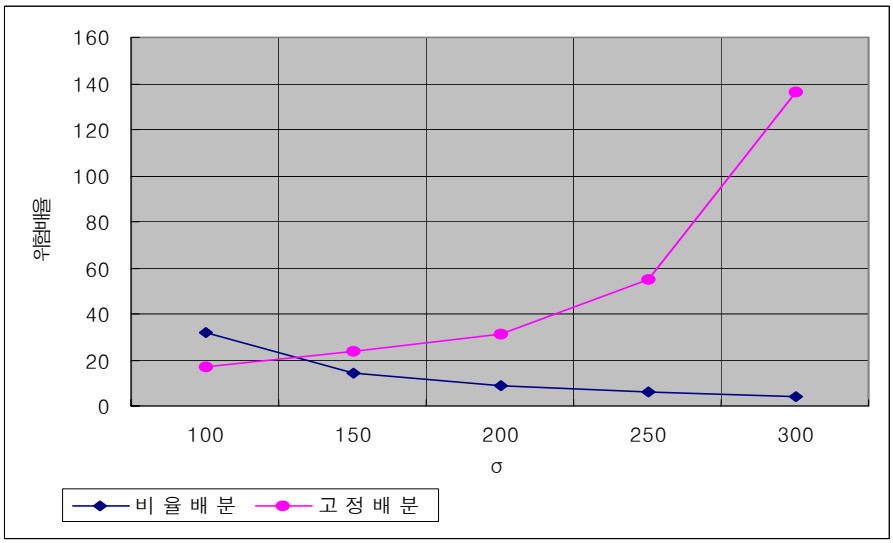
<그림 5-3 > 위험배율: 사례유형2



<그림 5-4 > 위험배율: 사례유형3



<그림 5-5 > 위험배율: 사례유형4



4) 분기별 자료의 위험도 분석결과

여기서도 연도별 자료를 이용한 분석과 마찬가지로 앞에서 분기별 자료를 이용하여 구한 세 가지 사례유형별로 분산을 구한 뒤 변이계수를 도출하여 위험배

율의 크기로서 형평성 차원에서 비교・분석하였다.

(1) 1/4분기 자료

사례유형별로 구체적으로 살펴보기 전에 전체적인 특성을 살펴보았다. 먼저 <표 5-18>의 분산자료를 보면 모든 사례유형에서 상류지역은 고정배분시에 분산값이 크고, 하류지역은 비율배분시에 분산값이 크게 나타나고 있다. 이는 전체 물 사용량 중에서 하류지역의 사용량이 많은데 기인한다. 하류에 일정량은 배분하는 고정배분에서는 유량의 변동에 따른 위험부담을 상류가 상대적으로 많이 부담하고, 비율배분 하에서는 유량의 변동에 따른 위험부담이 하류에 더 많이 전가되기 때문이다. 다음으로 여기서 구한 분산값을 앞에서 검토한 배분방법별 기대배분량으로 나눈 변이계수의 경우에도 비율배분시에는 하류지역이, 고정배분시에는 상류지역이 모든 유형에서 위험부담이 커짐을 알 수 있다.

<표 5-20>은 변이계수를 배분방법별로 상・하류의 변이계수를 나눈 위험배율의 크기로 각각의 배분방법에 따른 형평성문제를 다루기 위함이다. 이 형평성문제와 효율성문제를 동시에 비교하기 위하여 위험배율에 진한 색으로 표시된 부분은 각 유형별로 보다 효율적인 배분방법이다.

사례유형별로 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 기대유량이 1억톤인 사례유형1에서 물 소비량의 분산값과 기대유량을 이용한 변이계수를 통한 위험도분석을 보면 (<표5-20>), 유량의 편차가 100인 경우에는 비율배분이 위험도가 적고, 유량의 편차가 75, 50으로 적어질수록 고정배분이 위험도가 적게 나타나고 있다. 이는 효율성측면에서는 모든 경우에 비율배분이 고정배분보다 효율적이라는 결과와는 다른 결과를 보이고 있다. 따라서 유량의 편차가 심한 경우에는 비율배분이 효율성 및 위험도 측면에서 모두 바람직한 배분방법인 반면, 유량의 편차가 상대적으로 적은 경우에는 고정배분이 효율성은 떨어지나 위험성을 적게 한다는 측면에서 더 바람직할 수도 있을 것으로 판단된다.

기대유량이 8천만톤인 사례유형2에서는 유량의 편차가 50일 경우에는 비율배분에서 하류가 독점함으로 인하여 위험배율을 구할 수 없었으나 나머지의 경우를 보면 비율배분이 고정배분보다 위험배율이 낮게 나타나고 있다. 또한 효율성 측면에서도 비율배분이 효율적으로 나타나고 있어 효율성과 형평성 차원에서 비율배분이 합리적인 선택으로 나타났다. 그러나 유량의 편차가 적은 (□=50)경우에는 하류가 독점적으로 물을 사용하는데 따른 지역간의 합의점을 찾기가 어려워 차선의 선택으로 효율성 측면에서 고정배분방법을 선택한다면 위험도측면에서도 합리적인 선택이 될 수 있다.

<표 5-18 > 상·하류의 소비량에 따른 분산(1/4분기)

사례유형	분 산	배분 방법	분 산 값		
			□=100	□=75	□=50
사례유형1 (기대유량: 1억톤)	$Var(C_U)$	비율	4	2.25	0.25
		고정	3,427	2,227	1,211
	$Var(C_L)$	비율	9,604	5,402	2,450
		고정	690	518	344
사례유형2 (기대유량: 8천만톤)	$Var(C_U)$	비율	4	2.25	0.25
		고정	3,110	1,997	1,084
	$Var(C_L)$	비율	9,604	5,402	2,450
		고정	542	412	282
사례유형3 (기대유량: 5천만톤)	$Var(C_U)$	비율	4	0.68	0.2
		고정	2,916	1,690	857
	$Var(C_L)$	비율	9,604	5,402	2,455
		고정	243	237	172

<표 5-19 > 변이계수(1/4분기)

사례유형	배분방법	지 역	변 이 계 수		
			□=100	□=75	□=50
사례유형1 (기대유량: 1억톤)	비율배분	하류(A)	97	55	25
		상류(B)	4	2	-
	고정배분	하류(C)	8	6	4
		상류(D)	54	27	17
사례유형2 (기대유량: 8천만톤)	비율배분	하류(A)	122	68	31
		상류(B)	4	3	-
	고정배분	하류(C)	7	6	4
		상류(D)	3,110	250	83
사례유형3 (기대유량: 5천만톤)	비율배분	하류(A)	194	109	49
		상류(B)	7	1	1
	고정배분	하류(C)	5	5	4
		상류(D)	-	-	214

기대유량이 5천만톤인 경우의 분산과 위험도의 분석결과를 보면, 유량이 너무 작음으로 인하여 편차가 100 및 75인 경우는 고정배분에서 하류가 독점하는 것으로 나타나고 있어서 변이계수를 통한 직접적인 비교는 어려운 점이 있다. 그러나 하류가 물을 독점하는데 따른 상·하류간의 협상의 어려움을 감안하면, 편차가 큰 경우에도 비율배분을 선택하는 것도 차선의 선택일 수 있다. 이러한 경우에는 비율배분이 효율성과 위험도 측면에서 바람직한 배분방법이 될 수 있을 것이다.

<표 5-20 > 배분방법별 위험도 분석 (1/4분기)

사례유형	배분방법	위 험 배 율 (A/B, D/C)		
		□=100	□=75	□=50
사례유형1 (기대유량: 1억톤)	비율배분	24	28	-
	고정배분	54	27	17
사례유형2 (기대유량: 8천만톤)	비율배분	31	23	-
	고정배분	444	42	21
사례유형3 (기대유량: 5천만톤)	비율배분	28	109	49
	고정배분	-	-	54

주: 진한 부분은 앞에서 살펴본 두 배분방법중 사회적 기대이익을 보다 극대화하는 배분대안을 표시한 것이다.

⑵ 2/4분기

농업용수의 수요가 급격히 늘어나는 2/4분기의 위험도 분석을 살펴보자. 기대유량이 1억톤인 경우는 상대적으로 물 배분량이 많은 하류가 고정적으로 일정량을 배분받음으로써 고정배분에 따른 분산이 적은 반면, 상류지역은 분산이 매우 크게 나타나고 있다. 그러므로 물 소비량의 분산값과 기대유량을 이용한 변이계수를 통한 위험도분석도 모든 경우에 비율배분이 위험 부담이 적은 것으로 나타나고 있다. 실제 기대유량이 1억톤인 경우의 배분방법별 배분량을 보면, 유량의 편차가 100 및 75인 경우에는 고정배분이 효율적이고, 유량의 편차가 50으로 적을 경우에는 비율배분이 효율적인 것으로 나타났다. 이와 같이 유량의 편차가 상대적으로 큰 경우에는 효율성과 위험도라는 형평성간에 상충관계(trade-off)가 존재한다. 그러나 앞에서도 살펴본 바와 같이 다양한 선택기준과 위험도의 크기를 기준으로 수요자간에 합의를 유도할 수 있을 것이다.

기대유량이 8천만톤인 사례유형2의 경우, 물 소비량의 분산값과 기대유량을 이용한 변이계수를 통한 위험도분석을 보면 고정배분에서 하류가 모두 독점적으로 사용함으로 인하여 어떤 배분이 바람직한지를 직접 비교하기는 어려운 점이 있다. 그러나 상·하류간 물 배분협상시에 독점적으로 사용하는 경우를 제외한다면 비율배분이 합리적인 선택일 수가 있다.

기대유량이 5천만톤 수준으로 급감하는 사례유형3의 경우에도 고정배분에서 모든 물을 하류가 독점적으로 사용하는 것이 효율적인 것으로 나타나고 있어 위험도를 비교하기가 어려운 점이 있다. 그러나 이와 같이 특정지역이 물을 독점하는 경우가 발생할 경우에는 현실적으로 물 배분협약이 수용되기 힘들기 때문에 비율배분을 선택한다면, 위험부담 차원에서도 바람직할 것으로 판단된다.

<표 5-21 > 상·하류의 소비량에 따른 분산(2/4분기)

사례유형	분산	배분 방법	분 산 값		
			□=100	□=75	□=50
사례유형1 (기대유량: 1억톤)	Var(C_U)	비율	529	144	12
		고정	3,223	2,001	1,024
	Var(C_L)	비율	5,929	3,969	2,162
		고정	809	663	471
사례유형2 (기대유량: 8천만톤)	Var(C_U)	비율	529	110	1
		고정	3,070	1,789	830
	Var(C_L)	비율	5,929	4,160	2,401
		고정	570	523	463
사례유형3 (기대유량: 5천만톤)	Var(C_U)	비율	784	162	-
		고정	2,915	1,690	789
	Var(C_L)	비율	5,256	3,921	2,500
		고정	243	238	212

<표 5-22 > 변이계수(2/4분기)

사례유형	배분방법	지 역	변 이 계 수		
			=100	=75	=50
사례유형1 (기대유량: 1억톤)	비율배분	하류(A)	76	47	23
		상류(B)	24	10	2
	고정배분	하류(C)	8	7	5
		상류(D)	1,612	334	114
사례유형2 (기대유량: 8천만톤)	비율배분	하류(A)	96	60	31
		상류(B)	28	10	1
	고정배분	하류(C)	7	7	6
		상류(D)	-	-	-
사례유형3 (기대유량: 5천만톤)	비율배분	하류(A)	146	93	50
		상류(B)	56	20	-
	고정배분	하류(C)	5	5	4
		상류(D)	-	-	-

<표 5-23 > 배분방법별 위험도 분석 (2/4분기)

사례유형	배분방법	위 험 배 율 (A/B, D/C)		
		=100	=75	=50
사례유형1 (기대유량: 1억톤)	비율배분	3	5	12
	고정배분	202	48	23
사례유형2 (기대유량: 8천만톤)	비율배분	3	6	31
	고정배분	-	-	-
사례유형5 (기대유량: 5천만톤)	비율배분	3	5	-
	고정배분	-	-	-

5. 분석결과의 요약

이상의 황강이라는 사례유역을 대상으로 한 상·하류간의 합리적 물 배분방안을 살펴보았다. 분석의 결과는 유량의 크기와 편차, 그리고 자료의 종류 (연도별 및 분기별)에 따라서 다양한 결과를 보여주고 있다. 분석의 결과에 기초한 요약과 함께 정책적 시사점을 도출하면 다음과 같다.

첫째, 최근 13년간의 평균유량자료를 이용한 현재의 수요처간의 물 배분에서는 특별히 물 부족 현상이 발생하지 않고 있으므로 물 배분에 따른 방법상의 문제나 분쟁의 소지는 적다고 할 수 있다. 그러나 13년간의 방류량 자료를 보면 가뭄시에는 연간 방류량이 2.5억톤 수준까지 떨어지는 점을 감안하면 가뭄에 따른 수요처간의 분쟁의 소지는 있을 것으로 판단된다.

둘째, 여기서는 물 수요처를 용도를 고려하여 상·하류로 구분하여 배분하는 모형만을 다루고 있지만, 이러한 방식을 상·하류 지역내의 모든 수요처에 동일하게 적용할 수 있다. 즉, 여기서의 배분방법을 이용하여 상·하류지역에 물을 일정량씩 배분하였다고 가정하면, 배분된 양을 기준으로 상류지역내의 수요처를 두 부문으로 분리하여 동일한 방법을 통하여 배분할 수 있기 때문이다.[38]

셋째, 방류량 자료를 보면, 풍수기에는 년 평균 유량이 10억톤에서 갈수기에는 3억톤 이하로 떨어지는 점을 감안하여 다양한 유량 시나리오 (유량편차의 고려)를 통하여 물 부족시에 어떻게 물 배분을 하는 것이 가장 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 효율적인 배분이 될 수 있는지를 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다. 현재 우리 나라의 허가수리권은 유량의 크기에 따른 배분이라기 보다는 수요처에서 필요로 하는 양에 대한 배분이므로 유량이 부족할 경우에는 기 배분된 허가수리권간의 분쟁이 야기될 수 있는 문제점을 내포하고 있다. 따라서 여기서 검토한 유량의 크기와 분산을 고려한 물의 배분방법은 물 부족에 대비한 근본적

38) 본 연구는 물 배분방안을 모색하는 기초연구이므로 두 지역모델만을 상정하였다. 여기서 다룬 두 지역모델을 확장한 모델을 새로이 구성하여 다부분모형을 설정할 수도 있지만 여기서 제시된 두 부문모델을 이용하여 다부분에 적용할 수도 있다.

인 수요관리정책으로 간주될 수 있다. 기대유량이 4억톤일 경우는 유량의 분산이 아주 큰 경우를 제외하고는 비율배분으로 배분하는 것이 가장 효율적임을 알 수 있다. 이 경우의 위험도 분석 결과를 보면 또한 비율배분을 하는 것이 사회적 위험도를 적게하는 대안임을 알 수 있다. 즉, 사회적 기대이익을 극대화하는 효율성측면뿐만 아니라 배분에 따른 위험도를 적게하는 형평성차원에서도 바람직하다는 것을 알 수 있다. 기대 유량이 3억5천만톤, 3억톤, 2억5천만톤으로 줄어들수록 유량의 고정배분이 효율적인 경우가 점점 더 늘어나고 있음을 알 수 있다. 이는 하류지역의 물 소비량이 상대적으로 큰 상황하에서, 가용수량이 적어질수록 하류지역으로 배분하는 몫을 일정하게 보장하는 것이 사회적으로는 더 효율적이라는 것이다. 이 경우에 위험도의 측면에서는 고정배분보다는 비율배분이 좋은 것으로 나타나고 있다. 따라서 정책결정자가 효율성과 형평성이라는 두 가지 기준 중에서 어느 하나를 선택해야 하는 문제에 직면하게된다. 하지만 이 경우에도 위험도의 크기와 두 배분에 따른 사회적 기대이익의 차이 등을 감안하여 하나의 대안을 상·하류간의 합의에 의하여 도출이 가능할 것으로 판단된다. 예를 들면, 기대유량이 3억5천만톤이고 유량의 편차가 250일 경우의 사회적 기대이익은 비율배분이 5,107백만원이고 고정배분은 5,147백만원으로써 차액이 4천만원으로 나타나고, 그때의 위험배율을 보면 비율배분은 5배, 고정배분은 27배에 달하고 있어서 상·하류간의 합의에 의하여 위험배율이 상대적으로 적은 비율배분을 선택할 수도 있다는 것이다. 이러한 기준을 통하여 비율배분을 선택하는데 따른 하류의 배분량이 줄어드는데 따른 손실을 상류가 다른 방법으로 보전해준다거나, 아니면 반대로 고정배분을 선택하는데 따른 상류지역의 배분이 줄어드는데 따른 편익의 감소 및 상대적으로 위험도 증가에 따른 보상을 하류가 상류에 해 준다든가 하는 방안을 찾음으로써 물 배분에 따른 분쟁 발생시 합리적인 기준을 통하여 협의를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

넷째, 우리 나라와 같이 강우가 특정 계절에 집중됨으로 인하여 강우량이 적은 1/4분기 및 2/4분기의 가용용수를 합리적으로 배분하는 방법을 살펴본 결과를

요약하면 다음과 같다. 1/4분기는 우리나라 수자원의 약 50%를 사용하는 농업용수에 대한 수요가 발생하지 않는 시기로서 평균유량이 많은 경우에는 비율배분이 사회적 기대이익을 극대화하는 배분방법으로 나타났다. 기대유량이 1억톤인 경우에는 유량의 편차와 관계없이 모든 경우에 비율배분이 효율적이다. 그러나 위험도 측면에서는 유량의 편차가 큰 경우에는 비율배분이, 적은 경우에는 고정배분이 유리한 것으로 나타나고 있다. 기대유량이 8천만톤, 5천만톤으로 줄어듦에 따라 유량의 편차가 큰 경우는 고정배분방법이 비율배분방법보다 사회적 기대이익을 극대화할 수 있는 배분방법으로 나타났다. 이 경우에는 위험도 측면에서는 비율배분이 대부분의 경우에 유리하게 나타났다.

다섯째, 2/4분기는 본격적인 농사철이 시작되는 시기로서 농업용수에 대한 용수수요가 발생하는데 따른 상·하류간의 물 배분량과 사회적 기대이익을 최대화하는 배분방안은 다음과 같다. 상류지역의 농업용수수요가 많은 시기의 합리적 배분방안을 보면 1/4분기와는 달리 기대유량이 1억톤이고 유량의 편차가 적은 (□=50) 경우를 제외하고는 모든 경우에 고정배분방식이 사회적 기대이익을 극대화하는 배분방법이다. 그러나 고정배분이 효율적으로 나타나지만 많은 경우에 하류지역이 물을 독점하는 형태로 나타나고 있어 실제의 물 배분에서는 비율배분을 따를 수 밖에 없을 것을 기대된다. 이 경우에 위험도 측면에서도 비율배분이 더 유리하게 나타나고 있어 비율배분이 지역간 물 배분의 합리적인 선택으로 판단된다.

이상의 결과를 연도별·분기별표로 요약하면 <표 5-24>, <표 5-25>, <표 5-26>과 같다. 기대유량이 상대적으로 크고 편차가 적을수록 효율성측면에서나 위험도 측면에서 모두 비율배분이 합리적인 선택으로 나타난다. 한편, 기대유량이 적거나 편차가 클 수록 효율성과 위험도 측면의 형평성과는 상충적인 관계를 보이고 있다. 그러므로 유량의 크기와 분산을 고려한 물 배분방안에서 효율성측면과 위험도분석에서 특정배분방안이 똑같이 선호될 경우에는 최선의 선택이 될 수 있지만, 두 가지 선택기준이 다를 경우에는 효율성에 따른 두 배분간의 편익의 차이와 위험도의 크기를 고려한 차선의 배분방안을 선택할 수 있다.

여기서 한가지 더 언급할 것은 위험도의 값이 없는 경우는 특정지역에 물 배분이 없는 경우이므로 이를 물 배분에 따른 위험성이 가장 크다고도 해석할 수 있다. 예를 들면, 고정배분에 의하여 물 배분이 이루어지지 않았다면 고정배분이 위험배율이 크다고 할 수 있으므로 비율배분이 형평성 차원에서 합리적인 선택이 될 수 있다. 이런 경우에는 효율성과 형평성의 상충관계를 상당히 줄여 나갈 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 물 배분의 효율성을 다루면서 여기서 처음으로 고려한 위험도분석은 정책결정자가 보다 합리적인 정책대안을 선택할 수 있도록 하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

<표 5-24> 사회적 기대이익 및 위험도 측면에서 최적 배분대안 (연도별)

구 분		기대유량 (400백만톤)		기대유량 (350백만톤)		기대유량 (300백만톤)		기대유량 (250백만톤)	
		효율성	위험도	효율성	위험도	효율성	위험도	효율성	위험도
유량편차(㎥)	300	고정	비율	고정	비율	고정	비율	고정	비율
	250	비율	비율	고정	비율	고정	비율	고정	비율
	200	비율	비율	비율	비율	고정	비율	고정	비율
	150	비율	비율	비율	비율	비율	비율	비율	비율
	100	비율	비율	비율	비율	비율	고정	비율	-

<표 5-25> 사회적 기대이익 및 위험도 측면에서 최적 배분대안 (1/4분기)

구 분		기대유량 (100백만톤)		기대유량 (80백만톤)		기대유량 (50백만톤)	
		효율성	위험도	효율성	위험도	효율성	위험도
유량편차(㎥)	100	비율	비율	고정, 비율	비율	고정	-
	75	비율	고정	비율	비율	고정	-
	50	비율	-	비율	-	비율	비율

<표 5-26 > 사회적 기대이익 및 위험도 측면에서 최적 배분대안 (2/4분기)

구 분		기대유량 (100백만톤)		기대유량 (80백만톤)		기대유량 (50백만톤)	
		효율성	위험도	효율성	위험도	효율성	위험도
유량편차(㎥)	100	고정	비율	고정	-	고정	-
	75	고정	비율	고정	-	고정	-
	50	비율	비율	고정	-	고정, 비율	-

CHAPTER 6

요약 및 정책제언

1. 요약

우리나라의 수자원 배분관련제도에서 보면 유역내의 상·하류간 물 이용 및 배분에 대한 기준이나 협약이 미흡하여 상·하류간에 분쟁발생시 해결에 어려움을 겪고 있다. 모든 물은 국가소유로 하고 있지만 하천으로부터 용수를 이용하는 농업용수에 대한 법적인 등록이나 평가없이 물이 배분되고, 또한 배분된 물의 양보다 더 많이 취수하는지 더 적게 취수하는지에 대한 정보의 부족으로 효율적 물 배분이 이루어지지 않고 있다. 또한 우리나라의 물 배분은 중앙정부주도의 행정적 물 배분이 이루어짐에 따라 형평성의 원칙에 비추어 보면 합리적인 면이 있지만 물의 사용가치를 반영한 효율적 이용을 달성할 수 있는 체계가 미흡하다.

기존 우리나라의 물 배분관련 문헌연구를 보면, 대부분이 공학적인 접근을 하면서 경제적인 효율성 측면을 반영한 연구가 미비하였다. 특히, 선형계획법이나 동학적 기법을 통한 물 배분문제의 한계는 배분의 결과가 "수요처에 어떻게 물을 배분하는 것이 최선이라는 단답형식 결론"을 내림으로써 정책결정자의 선택의 여지가 없다는 단점이 있다. 예를 들면 모형에 따르면 A지역은 100톤의 물이

배분되어야 하는데, 향후 5년 뒤에는 150톤의 물 수요가 발생함으로 50톤의 물을 더 확보하기 위해서는 신규 수자원을 개발해야 된다는 식의 단순한 결론으로 귀착되고 있다는 것이다. 물 부족에 대한 충분한 설명과 이를 해결하기 위한 정책적 배려가 부족하다는 것이다.

외국의 사례를 보면, '80년대 이후에 진행된 연구의 대부분은 단순한 선형계획(수송모델)에 의한 물 배분을 다루는 것이 아니라 물의 용도별 가치를 정확히 반영할 수 있는 모형의 개발이 주류를 이루고 있다. 특히, 유역의 물 배분을 위하여 경제-수문 통합모델을 개발하고 있고, 용도별 물에 대한 가치를 정확히 반영하여 편익함수 추정에 이용하는 노력을 기울이고 있다. 한편으로는 정부주도의 물 배분에 따른 어려움으로 시장기능에 맡겨 물이 효용가치가 높은 방향으로 이동하도록 하는 제도적 변화를 꾀하고 있고, 여기에 대한 효과를 분석하는 연구가 주종을 이루고 있다. 여기에는 신규수자원개발이 점점 어려워지는 상황에서 정부주도의 물 배분정책으로는 물 부족에 따른 수요처간의 분쟁해결이 어려울 뿐만 아니라 물이 보다 효용가치가 높은 곳에서부터 이용될 수 있는 인센티브가 부족한데 기인한다. 결론적으로 외국의 경우 물 배분이 기술적인 차원의 물 배분이 아닌 물의 용도별 가치에 기준한 물 배분을 도모하고 있다는 점이다.

본 연구에서 적용한 배분모형은 두 지역모델로 설정하였다. 여기서의 두 지역은 우선 상류와 하류의 두 지역으로 구분하고 있지만, 사례분석에서는 단순히 지역간의 물 배분이 아닌 각각의 지역내에 있는 물의 용도를 고려한 두 지역모델이다. 이론적 모형에서는 세 가지의 배분방법을 설정하였는데, 하나는 최적배분으로서 사회적 기대이익을 최대화하는 배분모형을 다루었다. 그러나 이 배분방법은 어느 특정지역에서 물을 독점적으로 사용하는 경우가 자주 발생하여 현실 적용에 한계가 있다. 이러한 점을 보완하기 위하여 고려할 수 있는 배분방법으로 비율배분과 고정배분을 고려하고 있다. 이는 최적모형과 동일한 목적함수를 비율배분이나 고정배분이라는 제약조건 하에서 최적해를 구하는 방법이다. 즉, 어떠한 비율로 나누어 배분하는 것이, 특정지역에 얼마를 고정적으로 배분하는 것

이 가장 바람직한 대안이냐를 찾는 것이다. 이 모형은 유량이라는 변수가 확정적인 것이 아니라 강우량에 의존하는 하나의 확률변수로 설정하여 유량의 기대평균과 유량의 편차에 따라서 효율적인 물 배분이 이루어지도록 하고 있다. 즉, 최적배분, 비율배분, 고정배분방법에 따른 배분량이 유량의 크기와 편차에 의하여 어떻게 달라지고 이들 배분량을 바탕으로 사회적 기대편익을 비교할 수 있도록 함으로써 보다 실증적인 모형으로 설정하였다..

이론적 물 배분모형을 합천댐이 위치한 황강을 대상으로 경제적 효율성에 바탕을 둔 최적배분, 고정배분, 그리고 비율배분에 따른 상·하류간의 배분량을 추정하고 그때의 사회적 기대이익을 추정한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다. 최적배분은 고정배분과 비율배분의 혼합으로 이루어져 있지만, 현실에의 적용상의 문제점으로 고정배분과 비율배분 중에서 최적배분에 가까운 것을 선택하는 것이 합리적이라는 점이다. 평균유량자료를 이용한 현재의 수요처간의 물 배분에서는 특별히 물 부족 현상이 발생하지 않고 있으므로 물 배분에 따른 방법상의 문제나 분쟁의 소지는 적다고 할 수 있다. 그러나 최근 13년간의 연간 평균 방류량 자료를 보면, 풍수기에는 년 평균 유량이 10억톤에서 갈수기에는 3억톤 이하로 떨어지는 점을 감안하여 다양한 유량 시나리오(분기별자료 포함)를 통하여 경제적 효율성을 극대화하는 배분방법을 분석한 결과, 기대유량의 크기, 유량의 편차에 따라서 고정배분과 비율배분이 다양하게 선택될 수 있음을 알 수 있었다. 연도별 자료를 이용한 분석에 추가하여 실제 우리나라의 가뭄기인 1/4분기와 2/4분기의 자료를 이용하여 분기별로 배분방법을 살펴본 결과, 동일한 기대유량 하에서도 1/4분기에서는 비율배분이 효율적인 반면, 2/4분기에서는 고정배분이 더 효율적인 경우가 있음을 알 수 있었다.

또한 경제적 효율성을 감안함과 동시에 각각의 배분방법에 따라서 나타날 수 있는 위험도를 분산분석을 통한 변이계수로 살펴보았다. 즉, 특정배분방법의 선택에 따른 상·하류가 직면하는 위험부담을 형평성차원에서 검토하였다. 유량의 크기와 편차에 따라서 경제적 효율성을 극대화하면서 위험도를 동시에 최소화할

수 있는 경우가 있는가 하면, 효율성과 위험도는 상충관계(Trade-off)로 나타나는 경우도 있어서 정책결정자가 유역의 상황, 배분방법별 기대이익의 차이, 위험도의 크기 등을 고려하여 상·하류지역간의 배분방법을 선택해야 할 경우가 발생하고 있음을 알 수 있었다. 여기서 제시된 효율성 기준에 의한 배분방법별 사회적 기대이익의 차이와 위험도의 크기 등에 대한 보다 다양한 정보를 통하여 합리적인 정책대안을 도출할 수 있었다. 예를 들면 고정배분이 효율성측면에서 우월하지만 위험도 측면에서는 비율배분이 합리적이라면, 위험도를 더 중요시하는 비율배분을 선택할 수도 있고, 아니면 고정배분을 선택하고 위험도를 줄이기 위하여 하류에 배정된 고정배분량의 일부를 상류지역으로 전환하여 합의점을 도출할 수 있을 것이다. 사례분석을 통하여 제시된 결과물은 효율성과 형평성 차원에서의 다양한 정보를 동시에 제공함으로써 정책결정자가 하나의 합리적인 정책대안을 선택하는데 기여할 수 있다는 점이다.

2. 정책제언 및 연구의 한계

지금까지 물 배분에서 지속가능성, 효율성, 형평성 등의 세 가지 원칙에 입각한 배분이 있어야 한다는 선언적인 얘기는 많았지만, 여기서 처음으로 구체적인 적용방법을 제시한 것은 하나의 큰 의의로 판단된다. 또한 여기서 다루고 있는 모형은 비록 단순한 모형이지만 효율성과 위험도(형평성)를 동시에 고려할 수 있고, 정책결정자에게 다양한 정보를 제공한다는 점에서 유용한 방법론이 될 수 있다.

본 연구는 경제적 효율성을 고려한 물 배분모형을 설정하면서 수요처간의 물 배분을 확률적인 기법을 고려하여 효율성과 위험도를 동시에 추정한 연구로서 국내에서는 처음으로 소개된다는 점에서도 하나의 의의를 찾을 수 있겠다. 모형의 도출과 배분방법의 적용시에 누구나 이해하기 쉽도록 배려하였다. 여기서는 용도를 고려한 상·하류 두 지역의 물 배분을 다루고 있지만, 정책적 의미는 크다고 할 수 있다. 왜냐하면 여기서 배분된 상·하류간의 수량을 통하여 다시 상

류지역 및 하류지역내의 수요처간에 동일한 기준으로 배분할 수 있기 때문이다.

특히, 우리나라의 허가수리권은 물 부족을 감안한 다양한 형태의 물 배분이 아닌, 기존의 수요처가 필요로 하는 양을 허가해주는 형식적인 물 배분인 점을 감안하면 여기서의 제시한 효율성과 위험도에 입각한 유량의 크기별로 배분량을 다양하게 결정할 필요가 있다는 것이다. 즉, 유량이 평균적인 기대유량에서 10% 정도 감소될 경우의 배분량, 30% 감소될 경우의 배분량, 50%정도 감소될 경우에 대비하여 미리 효율성과 위험도에 따라 배분규칙을 갖고 있다면 가뭄 등의 일시적인 물 부족에 보다 효과적으로 대응할 수 있을 것이다. 지금까지 정부의 물 부족에 대한 수요관리는 대부분 생산된 물의 소비지에서의 절약에 대한 것이 대부분이다. 그러나 소비지에서의 물 부족에 대비한 수요관리도 중요하지만, 물 부족시 한정된 수자원을 효율적으로 배분하는 것이 수요관리의 출발점이라 할 수 있겠다.

본 연구에서 다루고 있는 물 배분모형은 비록 외국에서 시행하고 있는 유역통합모델과 같이 정교하지는 않지만, 현재 우리나라의 유역자료의 정보구축수준, 부문별 편익의 추정에 필요한 자료 구득의 어려움, 편익의 추정에 대한 신뢰성문제 등등을 감안하면 다음과 같은 장점이 있다. 유량정보와 수요처에 관한 정보만으로도 물 배분량 및 사회적 기대편익을 극대화할 수 있는 대안을 손쉽게 찾을 수 있다는 점과, 사례분석에서 제시하였듯이 단답형식 물 배분대안이 아니라 유량의 크기, 유량의 편차, 계절별 물 수요를 감안한 다양한 배분방안과 그에 따른 사회적 기대이익, 배분방법에 따른 위험도 등의 다양한 정보를 정책결정에게 제공함으로써 정책결자가 수요처간의 물 배분협정, 물분쟁시 합리적인 해결방안을 도출하는데 필요한 정보를 제공할 수 있다는 점이다. 또 하나의 의의로는 여기서 제시된 공급가능한 유량에 따라서 허가수리권의 종류를 달리한다면 우리나라도 향후 수자원개발이 한계점에 다다를 때, 허가수리권을 바탕으로 한 제한적인 물 거래제도의 도입이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구를 통하여 제시할 수 있는 정책대안으로는 첫째, 물의 양에 따라 수요

처별로 배분될 수 있는 수량의 종류를 달리할 필요가 있다. 제5장의 사례유역의 기대유량 및 유량편차에 따라 사용자간에 물 배분량을 결정하듯이 유량의 크기에 따라 물 배분을 하여야 한다는 것이다. 예를 들면, 갈수기 기준의 하천유량이 100이라고 할 때, 이를 기준으로 수요처간에 물 배분량을 설정하여 이를 절대 수리권으로 인정한다든가, 다음으로 유량이 150일 경우에 물 배분량을 결정하여 이를 보통수리권, 다음으로는 유량이 풍부할 경우에는 풍수수리권 등으로 구분하여 배분량을 미리 설정함으로써 향후 가뭄기에 따른 물 분쟁을 사전에 예방할 수 있을 것으로 기대된다.

둘째, 허가수리권을 연간 수량으로만 허가 할 것이 아니라 가뭄이 자주 발생하는 1월에서 6월 사이에는 분기별 또는 월별로 가뭄의 정도에 따라서 허가수리권의 양을 구체적으로 명시할 필요가 있다. 호주의 경우에는 댐 용수에 대한 수리권을 댐의 수위에 따라서 달리함으로써 물 부족시에 발생할 수 있는 수요처간의 분쟁을 사전적으로 차단하고 있다. 일본의 경우에도 유량에 따라서 안정수리권과 풍수수리권으로 구분하고 있다.

셋째, 유역별로 물 사용자간에 물 배분협약 등을 제정할 필요가 있다. 우리 나라도 지방자치제도의 시행으로 점점 더 지자체간의 이기주의적인 물 이용으로 상·하류지역간의 물 분쟁이 끊이지 않고 발생하고 있다. 이와 같은 상황에서 유역별로 상·하류 지역간의 합리적 물 이용문화의 정착이 요구되고 있다.

넷째, 여기서 제시한 효율성과 형평성의 원칙에 입각하여 댐 용수의 재배분을 도모할 필요가 있다. 댐 용수의 경우에 댐의 건설시에 물을 필요로 하는 지자체와 공업용수, 그리고 농업용수에 대한 수요를 반영하여 댐의 규모를 결정하였으나 댐 하류지역의 급속한 도시화의 진전 등으로 기존에 배분되었던 농업용수나 공업용수에 대한 수요의 변동으로 기 배분된 댐 용수를 재배분 함으로써 보다 효율적인 용수이용계획의 수립이 필요하다.

다섯째, 남북을 가로지르는 공유하천에 대한 용수의 배분협정이 조속히 체결할 필요가 있다. 유역별 물 배분협약은 전 세계적으로 여러 국가를 거쳐서 흐르

는 강의 용수에 대한 하류지역의 안정적인 용수확보를 위하여 여러 형태의 협약을 제정하고 있다. 우리나라도 상류지역에 위치한 북한이 공유하천에 대한 합리적 용수이용을 도모하도록 상호간에 물 배분협약을 체결할 필요가 있다. 최근에 파악된 정부의 보고에 의하면 임진강 상류지역에 댐의 건설을 통하여 유역이전의 형태로 용수를 다른 지역으로 이전계획을 수립한 것으로 알려지고 있다. 이러한 용수의 이전은 공유하천의 합리적 이용에 반하는 행위로서 남·북한이 공동으로 용수의 배분에 대한 협정의 조속히 체결하여 물 분쟁을 사전적으로 차단할 필요가 있다.

본 연구를 진행하면서 느낀 한계점은 첫째, 사례대상지역을 하나의 수원으로 한정함으로써 다양한 수원을 고려할 경우에 특정수원에서의 물 부족을 다른 수원에서 보완할 수 있는지를 함께 검토하였다면 보다 유용한 정보를 제공할 수 있었을 것으로 판단된다. 즉, 합천댐이라는 하나의 수원에 대해서만 고려함으로써 댐의 연계 또는 유역내의 다른 수원을 동시에 고려하는 물배분 모형을 설정하지 못한 점이다.

둘째, 본 연구에서는 하천생태계를 보호하는 환경용수를 최소한 얼마 이상을 확보한다는 전제하에서 모형에서 제외하였다. 즉, 환경용수는 효율성에 따라서 확보량을 달리하는 것이 아니라 최소한의 양을 우선적으로 하천에 배분하였다. 이는 하천유지용수를 확보한다는 측면에서 바람직한 접근방법일 수도 있지만, 하천유지용수도 다른 용도와 마찬가지로 경제적 가치를 반영하여 경쟁적으로 확보하는 것이 더 합리적일 수도 있는 점이다.[39]

셋째, 본 사례대상지역에서는 수질오염에 따른 문제를 포함할 필요가 없었지만, 수질문제를 고려해야할 유역에서의 물 배분을 위해서는 한계가 있다는 점이다. 수질에 따른 가치를 반영한 편익을 산출하여 본 모형에 적용한다면 보다 합리적인 대안이 제시될 수 있을 것이다.

---

39) 미국의 서부지역에서는 환경용수도 필요한 량을 수리권의 확보를 통하여 구입할 수 있도록 하고 있고, 호주의 경우는 환경크레딧 (environmental credit) 개념을 통하여 환경용수를 경쟁적으로 확보하도록하고 있다.

넷째, 물의 경제적 가치를 보다 정확히 그리고 보다 세분화하여 추정하여 모형에 반영하지 못한 점이다. 본 연구는 기초적인 연구로서 물 배분을 효율성과 형평성 차원에서 어떻게 물 배분 모형을 설계하는 것이 바람직한가에 대하여 연구의 초점이 맞추어진 관계로 물의 경제적 가치추정을 소홀히 다룬 점이다. 이 부분은 본 연구의 한계점이기도 하지만 향후에 지속적으로 수행되어야 할 연구과제이다.

향후의 연구과제로는 유역의 특성이 다른 지역을 대상으로 여기서 검토된 방법론을 적용할 경우에 발생할 수 있는 문제점을 보완한다든가 하여 보다 적용가능성이 높은 배분방안을 모색할 필요가 있다. 또한 정책제안으로 제시한 내용에 대한 보다 지속적이고 심도있는 연구가 수행될 수 있도록 모형개발 및 배분기술 개발에 중앙정부 차원의 지속적인 지원이 필요하다.

참고문헌

- 건설교통부, 2000, 「수리권거래제도 도입방안 연구」.
- 국토연구원, 2002, 「지속가능한 수자원개발을 위한 수자원정책개발」,
- 장수일, 1997, 「유역간 물 수송에 의한 물 최적배분에 관한 연구: 영천댐을 중심으로」, 영남대학교
- 박종권, 차상화, 1998, 「낙동강유역의 최적 물배분 모델에 관한 연구」, 안동과학대논문집.
- 이진우, 1985, 「하천유역의 최적물배분을 위한 시스템모델에 관한 연구」.
- 안승섭, 1982, 「동적계획법에 의한 물 배분에 관한 연구,」영남대학교
- 유완종, 「저수지에 저장된 물의 최적배분에 관한 연구-대청댐을 중심으로」, 서울대학교
- 박병기외, 1999, 「실시간 물 수지분석에 의한 유역 물배분모형개발」, 토목학회지, 1999.
- 한국은행, 2000, 「1998 산업연관표」, 서울
- Bennett, L.L., et al., 2000, " The Interstate River Compact As A Water Allocation Mechanism: Efficiency Aspects", *American Journal Agricultural Economics,* Vol. 82, No. 4, pp.1006-1015.
- Bennett, L.L.and C.W. Howe, "The Interstate River Compact: Incentives for Non-compliance?", *Water Resource Research*., Vol.34, No.3, pp. 485-495.
- Booker, J. F., and R.A. Young, 1994, "Modeling Intrastate and Interstate Markets for Colorado River Water resources", *Journal of Environmental*

Economics and Management Vol. 26, pp. 66-87.

· Burness, S.H., and J.P. Quirk, "Appropriative Water Rights and the Efficient Allocation of Resources." *American Economic Review*, Vol.69, No. 1, pp.25-37.

· Cai, X., 1999, *A modelling framework for sustainable water resources management*, Ph.D. Dissertation, The University of Texas, Austin.

· Dinar, A., Letey, J., *Modelling economic management and policy issues of water in irrigated agriculture,* Praeger, Westport, Connecticut.

· Dinar, A., Hatchett, S.A., Loehman, E.T., 1991. "Modelling regional irrigation decisions and drainage pollution control", *Natural Resources Model* Vol. 5, pp. 191-211

· Donoso, G., 1997. *Data collection to operationalize a prototype river basin model of water allocation: Maipo-Mapocho basin*. Mimeo

· Gibbons Diana , 1986, *The Economic Value of Water*, Resources for the Future

· Hall Nigel, 2001, "Linear and quadratic models of the southern Murray-Darling basin", *Environment International* Vol. 27, pp. 219-223

· Howe, Charles W., Dennis R. Schurmeier, and W. Douglas Shaw, 1986, "Innovative Approaches to Water Allocation: The potential for Water Markets", *Water Resources Research*, Vol 22, No.4, pp.439-445.

· Johnson, R.N., M. Werner. " The Definition of a Surface Water Right and Transferability," *Journal of Law Economics* Vol. 24, pp. 273-288.

· Makinney, D.C., Cai, X., 1997. *Multiobjective water resources allocation model for the Naryn-Syrdaya Cascade*. Technical Report. US Agency for International Development, Environmental Policies and Technology(EPT) Project, Almaty, Kazakstan.

· Rosegrant. M.W. , C. Ringler, D.C. Mckinney, X. Cai, A. Keller, G. Donoso, 2000, "Integrated economic-hydrologic water modelling at the basin scale:

the Maipo river basin", *Agricultural Economics*, Vol.24 pp.33-46

· Rosegrant, M.W., et al. 1999. *Report for the IDB on the Integrated economic-hydrologic water modelling at the basin scale: the Maipo river basin in Chile,* IFPRI, Washington DC.

· Rosegrant, M.W., et al. 2000, "Integrated economic-hydrologic water modelling at the basin scale: the Maipo river basin", *Agricultural Economics* Vol.24 pp.33-46

· Young Robert and Lee Gray, 1972, *Economic Value of Water: Concepts and Empirical Estimates, Economic department*, Colorado State University

SUMMARY

Design of Water Allocation Model :
- Efficiency and Risk Aspects -

Chong Won Kim

The primary objective of this study is to improve the methodology for water allocation focused on efficiency and risk aspects. To attain the primary objective, this study sets up an objective function to maximize social expected benefits, and considers three types of allocation methods. Three types of allocation methods are optimal, proportional, and fixed allocation between regions and service sectors.

Chapter 2 examines the current water allocation system in Korea and suggests the necessity of new approach to a better allocation model through the finding of problems. One of the main problems in Korean water allocation system is the inadequacy of criteria or compacts for water allocation among the users. Especially, water conflicts recur every year during the dry season owing to insufficient legal and institutional systems of water allocation.

Chapter 3 reviews the literature on optimal allocation models home and abroad. A few researches have been conducted for optimal water allocation in Korea. But these models have exposed a few faults in the process of estimating benefit or cost of different water use. For example, gross regional domestic product is regressed by the amount of water use, achieving the marginal benefit of water use by first order condition of objective function. In this case, the marginal benefit is over-estimated because this model implicitly assumes that gross regional domestic product is only affected by water. Most researches implemented since the 1980s have not used linear or dynamic optimization model for water allocation but have focused on the derivation of water value for each usage in foreign countries. Especially, integrated economic-hydrologic water modeling based on the value of water is a main stream at the basin scale. More recent analyses tend to employ optimization models to estimate market allocations and prices, which would emerge from hypothetical water markets. In the absence of working markets for water and in the presence of growing conflict over water use, there is a pressing need to understand the underlying economics of water demand and value in various economic sectors. In this section, the economic concepts of municipal, irrigation, and industrial water use are handled to derive the marginal value of each water use. Municipal water value is derived by demand function and irrigation water value is mostly estimated by crop-water production function or farm crop budget analysis. Industrial water value is equated with internal cost of water recirculation. In other words, industry would pay only up to cost to produce water of adequate quality through treatment and reuse.

Chapter 4 designs theoretical water allocation models focused on economic efficiency for the case study in the next chapter. We examine which type of

allocation methods is desirable in theoretical respects for both upper and lower basins in yearly and seasonal base. Streamflow at the basin level is regarded as a random variable reflecting hydrologic characteristics because streamflow is depending on rainfall. We first seek the basin-wide optimal allocation rule to be used as a benchmark of efficiency. The optimal allocation is achieved by the first-order condition of objective function. This shows that the optimal solution is found by equalizing the marginal benefits of water use across the upper and lower basins for each level of streamflow. Next, we derive an efficient solution under proportional and fixed allocation types and compare to the optimal solution. In theory, the fixed allocation type more closely approximates the optimal solution when streamflow is small. On the contrary, the proportional allocation more closely approximates the optimal solution when streamflow is large.

Chapter 5 applies theoretical models to the Hwang river as a case study. We define upper region's water use as municipal and irrigation water of Hapcheon county and industrial water for Chilseo industrial park. Lower region's category is defined as municipal water of Masan & Changwon cities and industrial water for Ulsan industrial complex. Three types of allocation methods are applied by using benefit functions and the mean and variance of streamflow. Also, we carry out risk analysis of upper and lower regions according to the proportional and fixed allocation. The analysis is summarized as follows:

First, the mean flow for 13 years shows that the available water supply exceeds current water demand in this region and social expected benefits are attained under any type of allocation methods.

Second, this paper handles only upper and lower regions but this

methodology can be applied to sub-sector of upper and lower regions.

Third, we design a scenario using yearly base flow data because the mean flow for 13 years is about 600 million tons but the flow falls below 300 million tons in drought year. Accordingly, we need to know which type of allocation methods can maximize social expected benefits and reduce conflicts between users when supply is less than demand. As the mean flow is approximately 400 million tons, percentage allocation is the most appropriate method with respect to efficiency and risk aversion. On the contrary, as the mean flow falls below 400 million tons, the fixed allocation rule starts to dominate. A fixed rule ensures that the lower basin receives flows more stably in circumstance that more water is used in the lower basin than in the upper basin.

Fourth, this study examines first and second quarters water allocation reflecting Korea's rainfall characteristics. Since demand for irrigation is not occurred in the first quarter, the proportional allocation is more efficient than the fixed allocation but the fixed allocation is preferred to the proportional allocation in case that the variance of flow is very large. As the expected mean flow falls, the fixed allocation starts to dominate the proportional allocation with relatively large variance.

Fifth, a preferred allocation type in the second quarter, in which demand for irrigation is rapidly increasing, is contrary to first quarter's results. The fixed allocation method is preferred to the proportional allocation in most cases except that the variance of flow is small. In short, many factors affect the design of an efficient allocation, and thus it is difficult to make general assertions. That is, case studies show that efficient and less-risky allocation is simultaneously obtained in some cases, while efficiency and risk show the relation of trade-off in other cases.

Chapter 6 presents the summary, conclusions, and limitations of this study as well as suggestions for future research. This research is meaningful in that water allocation considering stochastic characteristics is introduced for the first time in Korea. Also this study can contribute to the development of more rational water allocation and will be helpful for policy decision makers.

Based on the efficient water allocation model, this study proposes five suggestions for desirable water resource policies. First, the current water permit system should be categorized according to the amount of available water. Second, yearly based water use permit system should be broken down quarterly based permit system especially during the dry season (January~ June). Third, water allocation compact between water users should be established to solve water conflicts. Fourth, Dam water should be redistributed by the efficient and equity aspects. Fifth, agreements over water sharing are necessary for joint-owned river such as the Limjin river between South and North Korea

This study has the limitation that the linkage of water reservoirs or other water source in the basin level is not considered. Finally, the central government's continuous supports for the development of economic-hydrologic integrated models are expected to the sustainable water allocation policy.

부 록

<부표 1> 합천조정댐 방류량 자료

(단위 : 백만톤/월)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월
1989	4.821	1.002	12.856	36.288	24.373	25.661
1990	38.569	47.857	58.657	64.800	65.889	61.430
1991	59.460	50.864	48.479	61.949	57.050	40.694
1992	82.763	74.917	70.442	57.024	51.693	34.733
1993	27.588	25.307	13.928	16.330	14.463	15.034
1994	155.347	67.651	52.764	38.880	26.248	64.282
1995	32.141	19.794	18.213	2.592	7.767	15.552
1996	29.462	29.566	21.695	12.960	14.463	35.510
1997	34.551	25.056	10.714	16.070	20.088	22.810
1998	31.605	28.313	34.016	51.581	128.563	94.349
1999	53.032	64.394	83.030	73.094	85.709	65.059
2000	68.031	50.864	58.121	48.470	45.533	45.101
2001	57.934	46.955	29.436	59.979	45.747	44.893

년도	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1989	44.729	103.386	169.776	131.777	124.416	88.655
1990	94.012	130.170	103.939	44.461	40.435	65.353
1991	46.068	51.425	66.355	66.960	67.133	88.387
1992	27.588	19.017	18.144	20.088	37.584	34.016
1993	15.535	129.367	81.130	54.104	52.099	55.979
1994	27.320	15.267	21.799	17.142	10.627	27.588
1995	20.624	17.677	12.960	39.640	29.290	34.551
1996	26.516	43.122	30.067	43.390	22.810	29.195
1997	23.034	30.802	36.029	28.123	23.328	147.312
1998	92.940	123.474	78.278	183.203	94.090	72.049
1999	58.657	74.192	104.198	81.156	61.690	64.014
2000	62.139	84.102	205.546	137.402	164.592	123.206
2001	60.077	62.059	36.962	28.204	26.672	27.427

<부표 2> 홍수기 조정방류량 자료

(단위 : 백만톤/월)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월
1989	4.82	1.00	12.86	36.29	24.37	25.66
1990	38.57	47.86	58.66	64.80	65.89	61.43
1991	59.46	50.86	48.48	61.95	57.05	40.69
1992	82.76	74.92	70.44	57.02	51.69	34.73
1993	27.59	25.31	13.93	16.33	14.46	15.03
1994	155.35	67.65	52.76	38.88	26.25	64.28
1995	32.14	19.79	18.21	2.59	7.77	15.55
1996	29.46	29.57	21.70	12.96	14.46	35.51
1997	34.55	25.06	10.71	16.07	20.09	22.81
1998	31.61	28.31	34.02	51.58	128.56	94.35
1999	53.03	64.39	83.03	73.09	85.709	65.06
2000	68.03	50.86	58.12	48.47	45.53	45.10
2001	57.93	46.95	29.44	59.98	45.75	44.89

년도	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1989	49.98	49.98	49.98	131.78	124.42	88.66
1990	54.16	54.16	54.16	44.46	40.44	65.35
1991	60.11	60.11	60.11	66.96	67.13	88.39
1992	51.47	51.47	51.47	20.09	37.58	34.02
1993	30.54	30.54	30.54	54.10	52.10	55.98
1994	51.17	51.17	51.17	17.14	10.63	27.59
1995	22.17	22.17	22.17	39.64	29.29	34.55
1996	26.56	26.56	26.56	43.39	22.81	29.19
1997	36.45	36.45	36.45	28.12	23.33	147.31
1998	79.75	79.75	79.75	183.20	94.09	72.05
1999	70.13	70.13	70.13	81.16	61.69	64.01
2000	82.37	82.37	82.37	137.40	164.59	123.21
2001	40.81	40.81	40.81	28.20	26.67	27.43

<부표 3> 합천댐 분기별 방류량 자료

(단위 : 백만톤/분기)

년도	1분기	2분기	3분기	4분기
1989	18.68	86.32	149.95	344.85
1990	145.08	192.12	162.48	150.25
1991	158.80	159.69	180.33	222.48
1992	228.12	143.45	154.42	91.69
1993	66.82	45.83	91.61	162.18
1994	275.76	129.41	153.51	55.36
1995	70.15	25.91	66.51	103.48
1996	80.72	62.93	79.68	95.39
1997	70.32	58.97	109.35	198.76
1998	93.93	274.49	239.26	349.34
1999	200.46	223.86	210.39	206.86
2000	177.02	139.10	247.11	425.20
2001	134.32	150.62	122.42	82.30