

산업연관모형을 이용한 우리나라 산업의 직·간접 물소비 구조 분석

박창귀¹⁾·이기훈²⁾

An Analysis of Water Consumption Structures in Korean Industry
Using the Input-Output Model

Chang-Gui Park and Ki-Hoon Lee

1) 한국은행 경제통계국(Economic Statistics Dept. The Bank of Korea)

2) 충남대학교 경제학과(Dept. of Economics, Chungnam National University)

제 출 : 2009년 11월 13일 승 인 : 2010년 6월 11일

국 문 요 약

본 논문에서는 우리나라 산업의 연간 물소비량을 최초로 추정하고 이를 이용하여 물소비 분석용 산업연관 모형을 작성하였다. 그리고 이를 이용하여 산업활동에 따른 직·간접 물소비 유발효과를 분석하였으며 물량기준 총효과를 요인별로 분해하여 보았다. 우리나라 산업(농림어업 제외)은 해수를 제외한 상수도, 지하수, 하천수, 재이용수 등 육지의 물 기준으로 2003년중 약 76억 9,200만 톤의 물을 소비한 것으로 추산되었다. 업종별로는 전력·수도가 49.5%로 거의 절반가량을 차지하였으며 제철 등의 가공금속 산업이 24.3%, 화학산업이 5.0%를 차지하였다. 물소비 분석용 산업연관 모형을 이용하여 산업별 직·간접 물소비 유발계수를 도출한 결과 전력·수도가 산출액 백만원당 113.8톤의 물을 소비하였으며, 제1차금속(49.6톤), 섬유·가죽제품(16.8톤), 일반기계(11.9톤) 등의 순으로 높게 나타났다. 동 유발계수를 직접효과와 간접효과로 나누어 본 결과, 전력가스 및 수도 산업을 제외하고는 대부분의 산업에서 직접효과보다는 간접효과가 큰 것으로 나타나 물 관련 정책 수립시 제품간 물소비 연관관계를 충분히 고려할 필요가 있음을 시사하였다. 아울러 동 연구결과는 제품간 물소비구조 파악과 제품별 물소비지표 개발 등에도 활용될 수 있을 것이다.

■ 주제어 ■ 지구온난화, 물 부족, 물소비 분석용 산업연관모형, 직·간접 물소비량

Abstract

In this paper, water consumption annually for industries in Korea was estimated for the first time and based on this, an input-output model was prepared for water consumption analysis. Also making use of this, the direct and indirect water consumption effect according to industrial activities was analyzed and the total effect based on volume was broken down into each factor. The amount of water consumed for industries in Korea (excluding agriculture, forestry and fishery) was estimated about 7 billion and

692 million ton in 2003(excluding sea water). Classifying by industry, the one for electric power & water service accounted for almost half, 49.5%, metalworking industry for 24.3% and chemical industry for 5.0%. As the result of estimation for the direct and indirect water consumption inducement coefficients, the amount of water consumed per the production of one million won ranked the highest for electric power & water service as 113.8 ton and the next highest ones ranked as 49.6 ton for the first metalworking, 16.8 ton for textile and leather goods, and 11.9 ton for general machinery respectively. In the meantime, as the result of breaking down into each factor of total amount of water consumed by industry, it appeared that the ripple effect having on other industries was more than the direct effect.

▣ **Keywords** ▣ Lack of Water, Input-output Model, Direct and Indirect Water Consumption

I. 서 론

산업연관분석은 산업간의 유기적인 연관관계는 물론 산업활동이 거시경제에 미치는 파급효과를 잘 파악할 수 있는 장점으로 인해 다양한 경제분석에 널리 활용되고 있다. 최근에는 환경문제의 심각성이 날로 커짐에 따라 산업활동과 환경과의 관계를 분석하는 데에도 많이 쓰이기 시작하였다. 실제로 환경과 연계된 산업연관분석 방법론들은 에너지 소비 구조의 분석, 산업활동이 오염물질 배출에 미칠 영향의 예측, 신기술 도입의 효과 분석 등 다양한 환경문제의 분석에 이용되고 있다. 또 이러한 연구결과는 환경질을 관리하려는 환경정책의 핵심자료로 중요한 가치를 갖고 있다.

그러나 그동안의 환경과 연계된 산업연관분석 관련 연구는 폐기물이나 대기오염, 최근 들어서는 지구온난화로 인한 온실가스 관련 연구에 치중된 반면, 당면한 전세계적인 물 부족 문제에 대한 적용은 많지 않은 편이다. 하지만 급속한 산업화와 인구 증가로 인해 물 수요는 급증하고 있는 반면, 오염의 증가와 가뭄 등 기상이변으로 인해 물 가용 자원은 오히려 줄어들고 있는 실정이므로 물관련 연구의 필요성이 커지고 있다.

산업연관분석을 물 문제 분석에 연계한 대표적인 연구들을 보면 스페인의 Sánchez-Chóliz et al.(1992)가 스페인 Aragon 지역을 대상으로 산업연관표를 이용하여 물소비를 분석하였다. Duarte et al.(2002)도 산업별 직간접 물소비량을 계측하였고 Okadera et al.(2006)은 중국의 지역 산업연관표를 이용하여 사회·경제활동에 따른 물 수요와 폐수 배출 구조를 분석하였다. Llop(2008)도 역시 스페인에서의 여러 물 관련 정책들이 산업에 각각 어떤 효과를 주는지 분석하였다.

국내에서는 환경과 관련한 산업연관분석 논의가 이산화탄소 등 온실가스 연구에 집중된 반면¹⁾ 물소비와 연계된 경우는 거의 찾아보기 힘들다. 이는 물 부족 현상이 비교적 최근에 나타나 물 부족에 대한 관심이 상대적으로 덜했고, 물 사용량 통계가 부족한 데 기인한 것으로 보인다.

본 연구는 산업연관표를 이용하여 우리나라 산업의 물소비 구조를 분석하고자 한다. 이를 위하여 우선 우리나라의 산업별 물소비량을 추정한 뒤, 기존 산업연관표를 물소비 분석용 산업연관표로 바꾸어, 우리나라 산업의 생산활동이 물소비에 어떤 영향을 주는지 분석한다. 그리고 산업별 최종소비 한 단위 증가시 유발되는 물 소비량을 추정함은 물론 산업별로 발생한 물소비량을 요인별로 파악하고자 한다. 구체적으로는 각 산업별 물소비량을 그 산업이 직접 소비한 양(직접 소비량), 생산과정에서 투입된 원부자재 생산을 위한 물소비량(유발 소비량)으로 구분하되, 유발 소비량은 직접 유발 소비량(1차 파급효과)과 간접 유발 소비량(2차 이상의 파급효과) 등으로 추가 분해한다.

본 연구에서는 특히 물소비 유발효과 측정의 정확성을 기하기 위해 기초가격거래표와 국산거래표를 사용한다. 우리나라 산업연관표는 2000년까지 구매자가격거래표와 생산자가격거래표만 작성되었는데, UN 등 국제기구가 기초가격거래표(Transactions table at basic price)의 작성을 권고함에 따라 2003년부터 이를 작성·발표하게 된 것이다.²⁾ 기초가격거래표는 산업별·용도별로 상이한 세금액이나 보조금이 제거된 만큼 경제분석의 정확도를 높일 수 있다. 또 본 연구에서는 산업별로 작성된 환경부의 물소비량 통계를 상품*상품(commodity by commodity) 산업연관표에 연결시키기 위해 상품별 물소비량 통계로 전환시키는 방법을 제시하였다. 이를 위해 본 연구에서는 산업별 상품 산출 구성비를 알 수 있는 우리나라 국민계정의 산업별 상품산출표(Supply Table)를 이용하였다.

본 연구는 우선 산업별 물소비량을 추정하고 산업별 물소비 구조를 파악하는 최초의 시도라는 데 의의를 갖는다. 나아가 향후 산업생산의 증가가 물소비량의 증가에 미칠 영향을 예측하여 물 공급대책 마련에 기초자료로 활용될 수 있다. 물 직접 소비량이 많은 산업과 물소비를 많이 유발하는 산업을 명확히 구분할 수 있음으로써 효율적인 물소비 관리정책

1) 최한주·이기훈(2006)은 환경혼합산업연관모형을 이용하여 2000년 우리나라 산업의 CO₂ 유발계수와 유발배출량을 추정하였으며 김윤경(2006)은 일본의 작성 경험을 바탕으로 우리나라의 2000년 기준 CO₂ 환경산업연관표를 작성하였다. 박창귀(2009)는 제품별 생산공정을 이용하여 에너지의 원료로의 사용과 연료로의 사용을 구분하고 조세가 제거된 기초 가격 거래표를 이용한 2003년 기준 CO₂ 환경산업연관표를 작성하였다.

2) 구매자가격거래표에서 유통 마진을 제거하면 생산자가격거래표가 되고 여기에 생산물세와 보조금을 제거하면 기초가격거래표가 된다.

측면에서도 유용할 것으로 기대된다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 우리나라 기초통계 여건에 맞는 물소비 분석용 산업연관 모형을 구축하고, 물소비 통계의 산업별 자료를 어떻게 상품별 자료로 전환할 수 있는지 모색한다. III장에서는 이렇게 작성된 물소비 분석용 산업연관 모형을 이용하여 우리나라 산업의 직·간접 물소비 구조를 분석한다. 그리고 IV장에서는 분석결과를 종합하고 정책적 시사점과 향후 발전과제를 제시하였다.

II. 물소비 분석용 산업연관모형 작성

1. 기본구조

물소비 분석용 산업연관 모형은 금액단위로 표시된 통상적인 산업연관표에 물소비량을 연계시켜 작성한다. 따라서 동 모형은 산업활동과 물소비와의 관계를 나타내며, 동 모형을 이용하면 통상의 산업연관표처럼 생산활동의 직·간접 파급효과 분석을 할 수 있어 경제주체들이 사용하는 직접적인 물소비 외에 간접적으로 유발되는 물소비 경로까지 파악할 수 있는 장점이 있다.

그리고 특정 연도의 최종수요가 주어졌을 경우 해당 최종수요를 충족하기 위해 각 산업별 생산과정에서 직·간접적으로 유발되는 물소비량을 측정할 수 있고 또한 산업별 물소비량을 여러 요인별로 분해할 수도 있다.

표 1 물소비 분석용 산업연관 모형 구조

구 분	중간수요(산업별)	최종 수요	총수요	수입(공제)	총산출액
중간투입(산업별)	금 액	금 액	금 액	금 액	금 액
부가가치	금 액				
총투입액	금 액				
물소비량	톤				

2. 작성방법

1) 기준 산업연관표의 선택

본 논문에서는 우리나라 물소비 유발효과 측정의 정확성을 기하기 위해 2003년 산업연관표 중 산업별·용도별 세금 차이가 제거된 기초가격거래표와 수입품이 제외된 국산거래표를 사용하였다. 그리고 산업분류는 자료이용의 용이성과 분석의 편의성을 위해 한국은행이 발표한 산업연관표 대분류(28부문)를 기본으로 하였다. 물론 물소비량 및 그에 따른 폐수방류량도 기초 데이터를 산업연관표 대분류에 맞게 재분류하였다.

2) 물소비량 추정

(1) 기초데이터의 분류

환경부는 수질오염방지시설을 갖춘 약 5만 개 내외의 사업장을 대상으로 매년 폐수 방출량, 용수 사용량 등을 조사하여 발표하고 있다. 동 통계³⁾는 업종별로 폐수 배출량과 유기물질 부하량 등을 게재하고 있고 용수 사용량을 상수도, 지하수, 하천수, 해수, 재이용수 등으로 구분하여 발표하고 있어 우리나라 산업활동에 따른 물소비량을 알 수 있는 좋은 통계이다.

다만, 동 통계는 기초자료가 143개 업종으로 분류되어 있어, 이를 물소비 분석용 산업연관 모형에 맞게 재분류하여야 한다. 이를 위해 부록과 같이 한국은행이 발표하는 산업연관표 대분류 28개 산업과 매치하여 동 통계를 재정리하였다.

그리고 동 통계는 사업장의 수질오염방지시설이 가동되는 1일 평균 소비량을 조사하여 발표하고 있으므로 이를 연간 소비량으로 환산하여야 한다. 본 연구에서는 1일 소비량에 추정한 조업일수를 곱하여 연간 소비량을 환산하였다. 이 조업일수는 1년 365일에서 2003년의 경우 주 5일제가 시행되기 전이므로 공휴일은 1일, 토요일은 0.5일씩 공제하여 287일로 계산되었다. 즉, 연간 물소비량⁴⁾은 1일 물소비량에 287일을 곱하여 환산하였다.⁵⁾

그러나 환산된 물소비량 중 상수도 사용량이 환경부 「상수도 통계」상의 전 산업 상수도 사용량의 71.5% 수준에 불과하였다. 이는 환경부 「공장폐수의 발생과 처리」 통계의 용수사용량이 전 사업장을 대상으로 하지 않고 수질오염방지시설을 갖춘 사업장만 조사대상으로 한 데 기인한 것으로 판단된다. 따라서 환경부 「상수도 통계」와의 상수도 사용량을 일치시킬 수 있는 1.4배를 곱하여 우리나라 산업의 총 물소비량을 추정하였다.

3) 환경부. 2004. 「공장폐수의 발생과 처리」.

4) 기업에서 사용하는 공업용수량과 생활용수량을 합하였다.

5) 휴업하는 업체 혹은 폐업하는 업체도 있을 수 있으나 철강, 화학업종은 연중무휴로 가동되는 경우도 많아 서로 상쇄된다고 보고 본 논문에서는 고려하지 않았다.

(2) 산업기준 데이터를 상품기준 데이터로 전환

경제분석에서는 상품*상품(commodity*commodity) 산업연관표가 주로 사용된다.⁶⁾ 본 논문에서도 기초가격기준 상품*상품 산업연관표를 사용하였다. 그러나 환경부의 물소비량 통계는 산업별로 집계되므로 이를 상품별(commodity, 실제로는 생산되는 산출물인 products 개념임) 통계로 전환하여야 한다. 이를 위해 산업별(industry) 상품산출 구성비를 알 수 있는 국민계정의 산업별 상품산출표(Supply Table)를 이용하였다. 구체적인 절차는 다음과 같다.

① 산업별 상품산출표를 이용하여 산업별 상품산출 구성비를 계산한다.

표 2 산업별 상품산출 구성비(예시)

산업	상품A	상품B	상품C	상품D	합계
산업A	82.5	10.5	7.0	0.0	100.0
산업B	7.5	74.5	10.0	8.0	100.0
산업C	0.5	2.5	95.0	2.0	100.0
산업D	1.5	3.0	2.5	93.0	100.0

② 산업별 물소비량을 산업별 상품산출 구성비에 곱하여 산업이 생산하는 상품별 물 소비량을 구한다.

③ 각 산업에서 생산한 상품별 물소비량을 동일 상품을 기준으로 집계한다. 이 값이 곧 상품별 물소비량이다.

3. 작성결과

1) 물소비량 추정결과

우리나라 산업(농림어업 제외)은 해수(海水)를 포함하여 2003년에 총 299억 톤의 물을 사용한 것으로 추정되었다. 그 중 해수가 222억 톤으로 전체의 74.3%를 차지하였으며, 다음으로 하천수 38억 톤, 재이용수 20억 톤, 상수도 16억 톤으로 각각 전체의 12.6%, 6.6%,

6) 경제분석에서 최종수요는 대체로 상품별로 이루어지고 최종수요에 대응한 생산규모 파악도 상품별로 이루어지기 때문이다. 여기서 상품은 유통업에서 거래되는 상품을 의미하는 것이 아니라 사업장에서 생산하는 산출물(products)을 의미한다. UN, OECD, Eurostat, IMF and World Bank. 2008. 『System of National Accounts』.

산업연관모형을 이용한 우리나라 산업의 직·간접 물소비 구조 분석

5.3%를 차지하였다. 해수는 주로 발전 부문에서 사용되었으며 하천수는 주로 상수도 공급 및 발전부문에 사용되었다.

상수도 이용량 총 16억 톤을 업종별(환경부 대분류)로 나누어 보면 발전이 3.2억 톤으로 전체의 20.2%를 차지하였으며 다음으로는 섬유피혁, 화학, 음식료품 등의 순으로 나타났다. 재이용수는 제철산업이 속한 가공금속에서 대부분 사용되었다.

표 3 우리나라 산업의 물소비량(해수 포함, 2003년)

(단위: 백만 톤)

산 업	물소비량	(상수도)	(지하수)	(하천수)	(해수)	(재이용수)
광산품	19	6	4	3	-	6
음식료품	306	178	55	42	28	4
섬유피혁	337	253	53	23	0	7
제제목재	274	72	9	60	-	133
출판인쇄	24	18	6	0	-	0
석유정제	94	29	0	48	13	3
화학	469	242	18	106	87	16
비금속	200	42	60	17	33	48
가공금속	3,773	153	8	17	1,904	1,691
조립금속	105	79	15	5	-	7
세정응축시설	8	3	2	1	-	2
전기전자	149	84	5	26	-	34
기타	42	36	2	3	-	0
발전수도	23,972	323	42	3,418	20,162	26
수산물판매	4	1	1	-	2	0
운수장비 ¹⁾	78	36	38	2	0	2
시험시설	24	19	5	0	-	0
병원시설	22	18	4	0	-	0
기타	22	10	9	1	-	2
합계	29,921 (100.0)	1,600 (5.3)	339 (1.1)	3,771 (12.6)	22,229 (74.3)	1,982 (6.6)

주: 1) 운수장비 수선, 세차, 세척시설.

발전산업에서 대부분 사용하는 해수는 물 부족 문제와는 다소 거리가 있으므로 이를 제외한 산업별 물소비량을 다음 <표 4>에 제시하였다. 우리나라 산업은 2003년에 총 77억 톤의 물을 소비한 것으로 추정되었다.⁷⁾ 그중 하천수가 전체의 49.0%, 재이용수가 25.8%, 상

수도가 20.8%를 차지하였다. 업종별 물소비량을 보면 발전 및 수도 산업과 제1차금속 산업이 전체의 49.5%와 24.3%를 차지하여 두 산업의 비중이 매우 높았다.

표 4 우리나라 산업의 물소비량(2003년)

(단위: 백만 톤)

산 업	전 체	(비중)	(상수도)	(지하수)	(하천수)	(재이용수)
광산품	19	(0.2)	6	4	3	6
음식료품	278	(3.6)	178	55	42	4
섬유피혁	337	(4.4)	253	53	23	7
제제목재	274	(3.6)	72	9	60	133
출판인쇄	24	(0.3)	18	6	0	0
석유정제	80	(1.0)	29	0	48	3
화학	382	(5.0)	242	18	106	16
비금속	167	(2.2)	42	60	17	48
가공금속	1,869	(24.3)	153	8	17	1,691
조립금속	105	(1.4)	79	15	5	7
세정응축시설	8	(0.1)	3	2	1	2
전기전자	149	(1.9)	84	5	26	34
기타	42	(0.5)	36	2	3	0
발전수도	3,810	(49.5)	323	42	3,418	26
수산물판매	2	(0.0)	1	1	-	0
운수장비 ¹⁾	78	(1.0)	36	38	2	2
시험시설	24	(0.3)	19	5	0	0
병원시설	22	(0.3)	18	4	0	0
기타	22	(0.3)	10	9	1	2
합계	7,692	(100.0)	1,600	339	3,771	1,982
	<100.0>		<20.8>	<4.4>	<49.0>	<25.8>

주: 1) 운수장비 수선, 세차, 세척시설.

2) 물소비 분석용 산업연관모형 작성과 원단위

앞에서 환경부 자료를 이용하여 물소비량을 추정하였다. 이를 한국은행 산업연관표 대분류(28부분)에 연결하여 <표 1>과 같은 형태의 물소비 분석용 산업연관 모형을 작성하였

7) 통계청은 종사자 5인 이상 광공업 사업체 113,297개를 대상으로 2003년 중 '산업별 수원별 용수량' 사용량을 조사한 적이 있다. 동 자료에 따르면 2003년 중 우리나라 5인 이상 광공업 사업체는 상수도(8억 2,900만 m^3), 공업용수(10억 1,100만 m^3), 지하수 및 기타(2억 2,300만 m^3) 등 총 20억 6,400만 m^3 의 물을 소비한 것으로 나타났다. 통계청, 2003. 『산업총조사』.

다. 그리고 물소비 분석용 산업연관 모형상의 산출액과 물소비량을 이용하여 물소비 원단위를 <표 5>와 같이 계산하였다.

이는 업종에 따라 물소비 규모가 크더라도 경제규모가 크면 물소비 문제는 상대적으로 작고 물소비 규모가 작더라도 경제규모가 작으면 물소비 문제는 상대적으로 커지기 때문에 표준화할 필요가 있기 때문이다. 표준화는 보통 원단위 개념을 도입하여 1단위 제품 생산 혹은 서비스 생산을 위해 물을 얼마나 소비하는지 측정하는 것인데, 물소비 원단위는 해당 산업의 물소비량을 산출액으로 나누어 구하므로 수치가 높을수록 물소비 부하가 크다고 할 수 있다.

우리나라 산업은 전체적으로 백만 원어치의 산업생산을 위해 약 4.6톤의 물을 소비한 것으로 나타났다. 업종별로는 전력·수도가 백만원당 97.0톤으로 압도적으로 많았으며 제철 등의 제1차금속이 23.5톤, 목재종이제품 15.0톤, 섬유가죽제품 7.8톤 등의 순으로 나타났다.

표 5 주요 산업별 물소비 원단위(2003년)

(단위: 톤/산출액 백만 원)

환경부 대분류	산업연관표 대분류(28부문)	물소비량
음식료품	음식료품	4.7
섬유·피혁	섬유·가죽제품	7.8
제재·목재	목재·종이제품	15.0
출판·인쇄	인쇄·출판복제	1.8
석유정제	석유·석탄제품	1.9
화학	화학제품	3.6
비금속광물	비금속광물제품	7.3
가공금속	제1차금속	23.5
조립금속	금속제품	4.0
세정응축시설	일반기계	0.4
전기·전자	전기·전자기기	1.0
정밀기기 ¹⁾	정밀기기	0.1
수송장비 ¹⁾	수송장비	0.1
발전·수도	전력 및 수도	97.0
운수장비 ²⁾	운수 및 보관	1.2
기타서비스	기타서비스	0.2
전 산업	전 산업	4.6

주: 1) 산업별 물소비 원자료에는 물소비량이 없으나 산업별상품산출표(S표)를 이용하여 상품별 물소비로 전환하면 발생.

2) 운수장비 수선, 세차, 세척시설.

IV. 산업별 직·간접 물소비 구조 분석

1. 분석모형

산업활동이 물소비에 직·간접적으로 미치는 영향을 분석하기 위한 산업연관모형은 다음과 같은 항등식에서부터 출발한다. 본 논문에서는 국내 산업활동의 직·간접적 영향을 파악하는 데 초점이 있으므로 국산거래표를 이용하여 분석한다.

$$\text{총산출액} = \text{중간수요액} + \text{최종수요액}$$

위의 관계는 다음 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$X_m = T_{mm} \cdot i_m + Y_{mk} \cdot i_k \quad (1)$$

단, X_m 은 산업별 산출액, T_{mm} 은 중간수요행렬,

Y_{mk} 는 최종수요행렬, i 는 단위행렬 열 벡터

중간수요행렬(T_{mm})을 산업별 산출액(X_m)으로 나누면 투입계수행렬(A_{mm})이 구해진다.

$$A_{mm} = T_{mm} \cdot \widehat{X_m^{-1}} \quad (2)$$

단, $\widehat{}$ 는 대각행렬

식 (2)는 식 (3)으로 다시 쓸 수 있다.

$$T_{mm} \cdot i_m = A_{mm} \cdot X_m \quad (3)$$

식 (3)을 식 (1)에 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_m = A_{mm} \cdot X_m + Y_{mk} \cdot i_k \quad (4)$$

단, i 는 단위행렬 열 벡터

식 (4)를 Y_m 에 관해 풀면 다음 식이 나온다.

$$X_m = (I - A_{mm})^{-1} \cdot Y_{mk} \cdot i_k \quad (5)$$

여기서 $(I - A_{mm})^{-1} = M_{mm}$ 이라고 하고 $Y_{mk} \cdot i_k = Y_m$ 이라고 하면 위의 식 (5)는 다음과 같이 정리된다.

$$X_m = M_{mm} \cdot Y_m \quad (6)$$

여기서 M_{mm} 은 각 요소 m_{ij} 가 최종수요 Y_m 이 한 단위 변할 때 산업생산에 미치는 직·간접 파급효과를 의미하는 유발계수 행렬이다.

이 관계를 이용하면 산업활동이 물소비량에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 우선 산업의 단위 지출액당 물소비량, 즉 물소비 계수(α_m)를 다음 식 (7)과 같이 추정한다.

$$\alpha_m = \widehat{W}_m \cdot \widehat{X}_{mm}^{-1} \cdot i_m \quad (7)$$

단, \widehat{W}_m 은 물소비량, $\widehat{}$ 는 대각행렬, i_m 은 단위행렬 열 벡터

이렇게 구한 물소비 계수 α_m 를 식 (6)에 곱하면 산업의 생산활동이 야기하는 직·간접 물소비량(W_m)을 구할 수 있다.

$$W_m = \widehat{\alpha}_m (I - A_{mm})^{-1} \cdot Y_m = M_{mm}^w \cdot Y_m \quad (8)$$

단, M_{mm}^w 은 최종수요 한 단위 증가로 인한 물소비 유발계수

이 산업활동이 물소비 유발에 미친 영향을 요인별로 분해(decomposition)해 보면 물소비량을 최소화하면서도 산업활동을 극대화하는 전략 수립의 단초를 얻을 수 있다. 요인분해식은 다음 관계에서 얻어진다. 식 (6)의 유발계수 행렬 M_{mm} 은 다음 식 (9)와 같이 구분해 볼 수 있다.

$$M_{mm} = I + A_{mm} + (M_{mm} - I - A_{mm}) \quad (9)$$

여기에 물소비 계수를 곱하면 아래 식 (10)과 같은 물소비 분해 식을 얻을 수 있다.

$$M_{mm}^w = \hat{\alpha}_m I + \hat{\alpha}_m A_{mm} + \hat{\alpha}_m (M_{mm}^w - I - A_{mm}) \quad (10)$$

위 식의 오른쪽 각 항들이 의미하는 바는 다음과 같다.

- ① $\hat{\alpha}_m I$ (직접 물소비) : 어떤 산업의 생산활동에 직접 사용되는 물소비를 나타낸다.
- ② $\hat{\alpha}_m A_{mm}$ (직접 유발 물소비) : 어떤 산업의 생산과정에 투입되는 원 · 부자재 생산에 필요한 물소비를 나타낸다.
- ③ $\hat{\alpha}_m (M_{mm}^w - I - A_{mm})$ (간접 유발 물소비) : 어떤 산업의 생산과정에 투입되는 원 · 부자재 생산을 위한 또 다른 원 · 부자재 생산에 필요한 물소비를 나타낸다.

2. 추정

1) 산업별 물소비 유발계수

<표 6>은 앞 장의 식 (10)에 의해 산출한 산업별 직 · 간접 물소비 유발계수이다. 즉 해당 산업의 국내 최종수요 백만 원 증가시 각 산업에서 유발되는 물소비량(톤)을 나타낸다. 이 표에서 직접효과는 해당 산업이 생산을 위해 직접 소비하는 물의 양을 나타내며 간접효과는 해당 산업의 원부자재 사용 등으로 인해 간접적으로 소비되는 물의 양을 나타낸다.

우선 물소비 총유발 계수를 산업별로 보면 전력 · 가스 · 수도산업이 113.8(톤/백만톤)으로 가장 높았으며 다음으로 제1차 금속 49.6, 섬유 · 가죽제품 16.8, 화학제품 11.2 등의 순으로 나타났다. 그리고 총효과를 직접효과와 간접효과로 나누어 보면 전력가스 및 수도를 제외한 대부분의 산업에서 직접효과보다 간접효과가 크게 나타났다. 최종수요형인 건설의 경우 직접효과는 거의 없었으나 공사현장에서 철근, 형강 등을 많이 사용함에 따라 간접효과가 8.2나 되었다. 타 산업에서 생산된 원부자재를 많이 사용하는 자동차 · 선박 등 수송장비, 일반기계 등도 간접효과가 컸다.

이처럼 우리나라 산업은 그 자체의 물소비보다 원부자재 사용에 따른 간접효과가 훨씬

크게 나타남에 따라 물 부족에 따른 정책을 세울 때 제품간 물소비 연관관계를 충분히 고려할 필요가 있을 것 같다.

표 6 주요¹⁾ 산업별 물소비 유발계수(2003년 기초가격)

(단위: 톤/백만 원)

산 업	총효과 (총유발계수)	직접효과	간접효과
음식료품	9.7	4.7	5.0
섬유·가죽제품	16.8	7.8	9.0
화학제품	11.2	3.6	7.6
제1차금속	49.6	23.5	26.1
일반기계	11.9	0.4	11.5
전기·전자기기	6.1	1.0	5.1
수송장비	9.4	0.1	9.3
전력가스 및 수도	113.8	97.0	16.8
건설	8.2	-	8.2
도소매	3.4	-	3.4
음식점 및 숙박	6.5	-	6.5
운수 및 보관	3.4	1.2	2.2
부동산 및 사업서비스	4.0	0.6	3.4
공공행정 및 국방	3.1	-	3.1
교육 및 보건	3.9	0.2	3.7
사회 및 기타서비스	6.8	0.6	6.2

주: 1) 전산업의 물소비량에서 차지하는 비중이 1% 이상인 산업.

2) 최종수요 항목별 물소비량

산업 생산활동의 최종적인 목적은 소비나 투자 혹은 국외로 수출하는 데에 있다. 그렇다면 우리나라의 경우 소비, 투자, 수출 등의 최종수요로 인한 각각의 물소비량이 어느 정도인지 파악해볼 필요가 있다. 이를 위해 식 (10)의 산업별 직·간접 물소비 유발계수 M_{mm}^w 에 특정 연도의 최종수요 Y_m 를 곱해주면 해당 최종수요로 인한 산업별 물소비량 W_m 을 알 수 있다. 본 논문에서는 2003년 중 최종수요액을 곱하여 최종수요 항목별 물소비량을 추정하여 보았다.

그 결과 2003년 중 소비에 사용된 재화 및 서비스의 생산을 위해 총 34억 8,300만 톤의

물이 소비된 것으로 나타났으며 이는 전체 물소비량의 45.3%였다. 그리고 수출용 재화 및 서비스의 생산을 위해서는 총 28억 9,200만 톤의 물이 소비되었으며 이는 전체 물소비량의 37.6%를 차지하였다. 투자로 사용된 재화 및 서비스 생산을 위해서는 총 13억 1,700만 톤의 물이 소비되어 전체의 17.1%를 차지하였다.

표 7 2003년 중 최종수요 항목별 물소비량

(단위: 백만 톤)

구 분	소 비	투 자	수 출	합 계
물소비량	3,483	1,317	2,892	7,692
(비 중)	(45.3)	(17.1)	(37.6)	(100.0)

한편 이처럼 최종수요로 사용된 재화와 서비스의 물소비량을 직접효과와 간접효과로 분해하기 위해 식 (10)에 최종수요액을 곱한 식 (11)을 유도하였다.

$$M_{mm}^w \cdot Y_m = [\hat{\alpha}_m I + \hat{\alpha}_m A_{mm} + \hat{\alpha}_m (M_{mm}^w - I - A_{mm})] \cdot Y_m \quad (11)$$

<표 8>은 식 (11)에 의해 도출한 2003년 중 우리나라 최종수요용 재화 및 서비스 생산을 위해 사용된 산업별 물소비량 요인분해 결과이다. 이를 보면 2003년 중 우리나라 산업에서 사용한 총 76.9억 톤의 물소비량 가운데 최종수요로 사용된 재화 및 서비스 생산에 직접 소비된 물의 양은 전체의 27.8%였으며 나머지는 간접 유발된 것으로 나타났다.

표 8 최종수요용 재화 및 서비스 생산을 위한 물소비 요인분해(2003년)

(단위: 백만 톤)

산 업	총 물소비량 (비중)		직접소비량 ($\hat{\alpha}_m I$)	유발소비량	
				직 접 ($\hat{\alpha}_m A_{mm}$)	간 접 ($\hat{\alpha}_m (M_{mm}^w - I - A_{mm})$)
음식료품	337	(4.4)	163	66	108
섬유·가죽제품	471	(6.1)	219	135	116
화학제품	344	(4.5)	111	117	116
제1차금속	508	(6.6)	241	139	128
일반기계	331	(4.3)	10	115	206

산업연관모형을 이용한 우리나라 산업의 직·간접 물소비 구조 분석

산 업	총 물소비량 (비중)		직접소비량 ($\hat{\alpha}_m I$)	유발소비량	
				직 접 ($\hat{\alpha}_m A_{mm}$)	간 접 ($\hat{\alpha}_m (M_{mm}^m - I - A_{mm})$)
전기·전자기기	695	(9.0)	109	247	339
수송장비	624	(8.1)	5	186	433
전력가스 및 수도	1,209	(15.7)	1,031	144	34
건설	1,018	(13.2)	-	372	646
도소매	170	(2.2)	1	94	75
음식점 및 숙박	208	(2.7)	-	123	85
운수 및 보관	116	(1.5)	41	32	42
부동산 및 사업서비스	327	(4.2)	48	145	133
공공행정 및 국방	177	(2.3)	-	76	101
교육 및 보건	351	(4.6)	18	181	152
사회 및 기타서비스	219	(2.8)	18	102	98
전산업	7,692	(100.0)	2,142 (27.8)	2,493 (32.4)	3,057 (39.7)

V. 결 론

지금까지 우리나라 산업의 물소비량을 추정하고 이를 기초로 물소비 분석용 산업연관 모형을 작성하였다. 모형 작성시 조세로 인한 편의를 제거하기 위해 기초가격거래표를 이용하였으며, 산업별 물소비 자료를 상품별 자료로 전환하여 사용하였다. 이렇게 작성한 물소비 분석용 산업연관표를 통해 각 산업의 물소비량은 물론 산업활동으로 인한 물소비 유발계수를 추정하고, 나아가 물소비량을 요인별로 분해하였다.

추정 결과, 2003년에 우리나라 산업(농림어업 제외)에서 해수를 제외한 상수도, 지하수, 하천수, 재이용수 등 육지의 물 기준으로 소비한 물의 양은 약 76억 9,200만 톤에 달한 것으로 나타났다. 전체 물소비량의 49.0%를 차지한 하천수는 대부분 발전·수도 산업에서 사용되었다. 상수도 물은 발전·수도, 섬유·피혁, 화학, 음식료품 등의 순으로 많이 사용하였으며 제철 등의 가공금속 산업은 재이용수를 많이 소비하였다. 지하수는 비금속제품, 음식료품, 섬유·피혁 등에서 많이 소비한 것으로 나타났다. 물소비량을 업종별로 보면 발전·수도가 49.5%로 거의 절반을 차지하였으며 다음으로 제철 등의 가공금속 산업이 24.3%, 화학산업이 5.0%를 차지하였다.

물소비 분석용 산업연관 모형을 이용하여 산업별 직·간접 물소비 유발계수를 구해본 결

과, 백만원당 물소비 유발계수가 전력·가스·수도가 113.8톤으로 가장 컸으며 다음으로 제1차금속 49.6톤, 섬유·가죽제품 16.8톤, 일반기계 11.9톤 등의 순으로 컸다. 동 유발계수를 직접효과와 간접효과로 나누어 본 결과 전력가스 및 수도 산업을 제외한 대부분의 산업에서 직접효과보다는 간접효과가 큰 것으로 나타났다.

이처럼 산업은 그 자체 생산과정에서의 물소비보다 원부자재 사용에 따른 간접적인 물소비가 훨씬 커 물소비 관련 정책을 세울 때는 그 자체의 물소비뿐만 아니라 연관된 산업의 물소비까지 충분히 고려할 필요가 있다. 예컨대 전력산업에 대한 물소비 억제 정책은 직접 물소비 억제 효과는 크지만 간접 효과는 크게 기대하기 어려운 반면, 제철산업은 직접적인 물소비량도 크지만 간접적인 물소비량도 커 효율 개선이나 생산성 향상시 물소비 절약 효과가 어느 산업보다 클 것으로 예상된다. 직접효과가 큰 발전산업의 물소비 억제를 목표로 한다면 장기 전원개발 계획시 화력산업의 비중⁸⁾을 줄이는 것이 유효할 것임은 물론이다.

본 연구는 우선 산업별 물소비량을 추정하고 산업별 물소비 구조를 파악하는 최초의 시도라는 데 의의를 갖는다. 나아가 향후 산업생산의 증가가 물소비량의 증가에 미칠 영향을 예측하여 물 공급대책 마련에 기초자료로 활용될 수 있다. 그리고 직접 물소비량이 많은 산업과 물소비를 유발하는 산업을 명확히 구분할 수 있음으로써 효율적인 물소비 관리정책 측면에서 유용할 것으로 기대된다. 물론 제품간 물소비 구조 파악과 제품별 물소비지표 개발 등에도 활용될 수 있을 것이다.

그러나 물소비 통계를 추정하여 사용하는 데 따른 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 산업별 물소비량을 직접 조사·발표하는 통계⁹⁾를 개발할 필요가 있다. 그리고 산업별 공업용수 사용용도(보일러용수, 원료용수, 제품처리용수, 세정용수, 냉각용수 등)에 따라 수자원에 미치는 영향이 상이하므로 물의 용도별 연간 사용량 통계를 개발하여 이를 활용하는 것도 좋을 것으로 보고 향후 과제로 제시하고자 한다.

8) 2003년 중 우리나라 전력산업의 유형별 비중을 보면 화력발전 54.3%, 자가발전(주로 화력) 5.9%, 원자력 37.7%로 화력발전이 60%를 넘는 것으로 나타났다.
한국은행, 2007. 『2003년 산업연관표』.

9) 『2008 국민계정체계(SNA)』는 지하수(ground water)뿐만 아니라 희소기치가 있는 지표수(surface waters)까지 수자원(water resources)의 범주에 포함하고 있다.

부 록

물소비 분석용 산업연관모형 부문분류 매칭표

부문	산업연관표 대분류	환경부 대분류 ¹⁾
1	농림수산물	-
2	광산품	광산품
3	음식료품	음식료품
4	섬유 및 가죽제품	섬유피혁
5	목재 및 종이제품	제재목재
6	인쇄, 출판 및 복제	출판인쇄
7	석유 및 석탄제품	석유정제
8	화학제품	화학
9	비금속광물제품	비금속
10	제1차금속제품	가공금속
11	금속제품	조립금속
12	일반기계	세정응축시설
13	전기 및 전자기기	전기전자
14	정밀기기	-
15	수송장비	-
16	가구 및 기타 제조업 제품	기타제조
17	전력, 가스 및 수도	발전수도
18	건설	-
19	도소매	수산물판매
20	음식점 및 숙박	-
21	운수 및 보관	운수장비(세차)
22	통신 및 방송	-
23	금융 및 보험	-
24	부동산 및 사업서비스	시험시설
25	공공행정 및 국방	-
26	교육 및 보건	병원시설
27	사회 및 기타서비스	세탁시설, 폐수처리업
28	기타	-

주: 1) 환경부, 「공장폐수의 발생과 처리」, 기초자료 143부문을 통합한 것임.

참고문헌

- 김윤경. 2006. "환경산업연관표 작성 및 분석방법에 관한 연구". 「계간국민계정」. 한국은행.
- 박창귀. 2009. "하이브리드 산업연관표를 이용한 우리나라 CO₂ 배출 구조 분석". 「환경정책 연구」 8(1). 한국환경정책·평가연구원.
- 최한주, 이기훈. 2006. "환경 혼합 산업연관모형을 이용한 산업별 이산화탄소 배출량 추정과 변화요인 분석". 「자원·환경경제연구」 15(1). 한국환경경제학회·한국자원경제학회.
- 통계청. 2003. 「산업총조사」.
- 한국은행. 2007. 「2003년 산업연관표」.
- 환경부. 2004. 「공장폐수의 발생과 처리」.
- Dietzenbacher, E. 2005. "Waste treatment in physical input-output analysis". *Ecological Economics*, Vol. 55.
- Duarte, R., J. Sánchez-Chóliz, and J. Bielsa. 2002. "Water use in the Spanish economy: an input-output approach". *Ecological Economics*, Vol. 43.
- Forsund, F. R. 1985. "Input-Output models, national economic models, and the environment". *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, Vol. 1.
- Hoekstra, R. and J. Bergh. 2006. "Constructing physical input-output tables for environmental modeling and accounting: Framework and illustrations". *Ecological Economics*, Vol. 59.
- Hubacek, K. and S. Giljum. 2003. "Applying physical input-output analysis to estimate land appropriation (ecological footprints) of international trade activities". *Ecological Economics*, Vol. 44.
- Lahr, M. L. and E. Dietzenbacher eds. 2001. *Input-Output Analysis: Frontiers and Extensions*. Basingstoke: Palgrave.
- Leontief, Wassily. 1970. "Environmental Repercussions and the Economic Structure: an Input-Output Approach". *The Review of Economics and Statistics*, 52(3).
- Llop, M. 2008. "Economic impact of alternative water policy scenarios in the Spanish production system: An input-output analysis". *Ecological Economics*, Vol. 68.
- Miller, R. E. and P. D. Blair. 1985. *Input-Output Analysis : Foundations and Extensions*. New Jersey: Prentice-Hall.
- O. G. Pedersen. 1999. "Physical Input-Output Tables for Denmark. Products and Materials 1990, Air Emissions 1990-92". Statistics Denmark, Copenhagen.
-

- Okadera, T., M. Watanabe, and K. Xu. 2006. "Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input-output table: An application to the City of Chongqing, upstream of the Three Gorges Dam in China". *Ecological Economics*, Vol. 58.
- Sánchez-Chóliz, J., J. Bielsa, and P. Arrojo. 1992. "Water values for Aragon, Environmental and Land Issues". Wissenschaftsverlag vank Kiel KG. L. M. Albisu and C. Romero eds. EAAE, CIHEAM.
- UN. 2003. *Integrated Environmental and Economic Accounting 2003(SEEA2003)*.
- UN, OECD, Eurostat, IMF, and World Bank. 2008. *The System of National Accounts*.
- Velázquez, Esther. 2006. "An input-output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia". *Ecological Economics*, Vol. 56.
- Weisz, H. and F. Duchin. 2006. "Physical and monetary input-output analysis: What makes the difference?". *Ecological Economics*, Vol. 57.
-