

유역 통합 수자원관리 기술개발



고 익 환 | 소장, 한국수자원공사 수자원시스템연구소, ihko@kowaco.or.kr

1. 서론

한정된 물자원을 가장 효율적으로 공급, 이용 및 보존하기 위한 수단으로서 통합수자원관리(IWRM: integrated water resources management)의 필요성이 전 세계적으로 급속히 확산되고 있다.

‘생태계의 지속가능성을 저해하지 않으면서 사회·경제적 복지를 극대화할 수 있도록 물과 토지 및 관련 자원들의 조화로운 개발과 관리를 촉진하는 과정’(Global Water Partnership, 2000)으로 정의되는 통합수자원관리는 해당 국가 또는 유역이 처해 있는 수량·수질환경 문제의 특성, 관련 제도의 안정성, 공공 부문과 민간부문의 상대적 우위와 특성, 문화적 배경 등 다양한 요소에 따라 그 목적과 접근방법을 달리 할 수도 있다. 즉, 미국 TVA에서는 유역의 홍수관리, 내륙주운, 전력생산 등을 위해 수자원과 토지이용 등을 포함한 유역의 자원통합관리를 수행하고 있으며, 미국 환경청(US EPA) 차원에서는 수질 및 하천생태계 차원의 수계관리를 유역통합관리라고 부르기도 한다.

따라서 지금까지의 단편적, 지역적인 수자원관리와는 달리 수량과 수질, 환경생태의 유역단위의 기술적, 제도적 통합 조정관리와 함께 유역안의 물자원과 인접 토지자원, 지표수와 지하수의 통합관리를 통하여 국가 및 지역경제 전 분야의 물 이용자들의 이해관계를 가장 합리적으로 반영시킬 수 있는 새로운 개념의

통합수자원관리 능력이 곧 그 나라의 국가경쟁력을 가늠하는 척도가 되었으며, 보다 더 효율적으로 구현하려면 이를 뒷받침할 수 있는 법적, 제도적 장치 마련과 병행하여 물관리의 의사결정을 지원하는 다양한 기반기술개발이 필수적이다.

그동안 미국과 유럽, 호주 등 선진국들은 우리보다 10년~15년 이상 앞서서 수량의 안정적인 확보와 함께 수질과 하천환경을 고려한 통합수자원관리 기술 확보에 막대한 투자와 노력을 기울여 온 결과 이들의 기술은 개발단계를 넘어서 안정화, 실용화단계에 들어선 데 반하여 우리나라는 아직까지 개념정립과 개발초기단계에 머무르고 있는 형편으로 선진국 대비 기술수준은 절반에도 못 미치는 실정이다. 이제는 우리나라도 이미 눈앞에 닥친 국가적 물의 위기에 슬기롭게 대처하고 지속가능한 성장의 축으로서 국가 수자원을 계획하고 관리해 나갈 수 있도록 이 분야의 핵심기술개발을 서두를 때이다.

이 글에서는 하천유역 통합수자원관리의 새로운 개념을 소개하고, 이를 구현하기 위한 선진국 물관련 기관들의 기술개발동향을 토대로 우리나라 수자원 운영 체계 및 물이용 환경에 부합하는 하천유역 통합 수자원관리 시스템 구축방안을 제시코자 한다.

2. 하천유역 통합수자원관리의 개념

1992년 리우 지구정상회의에서 채택된 Agenda

21을 통하여 지구상의 절대 부족한 담수자원의 지속 가능한 확보와 환경오염 및 훼손에 대처하기 위한 범 국가적인 방안으로 지표수와 지하수, 수량과 수질, 물 이용의 다양한 용도를 동시에 고려한 '통합수자원 계획 및 관리' (18장 3절), 토지와 물자원을 유역 혹은 소유역 차원에서 통합관리하는 '통합수자원관리' (18장 8절)의 필요성이 강력하게 제기 되었다.

이 Agenda 21에서의 '통합수자원관리'의 구상에는 같은 해에 아일랜드에서 개최되었던 '물과 환경에 관한 국제회의(International Conference on Water and the Environment)'의 '더블린 4원칙'이 큰 기여를 하게 되었으며, 더블린-리우 원칙(Dublin-Rio Principles)이라고 불리는 이 원칙들은 통합수자원관리의 원칙을 설정하는 표본으로 국제사회의 폭 넓은 지지를 받아왔다. 그 후 유럽연합(EU: European Union)의 집행위원회인 European Commission은 '통합수자원관리'의 기본 개념을 바탕으로 유럽대륙의 수자원을 '공평하고, 효율적이고, 지속가능하게 통합관리'하기 위한 전략인 '수자원에 관한 EC의 정책지침'을 제시하였다(EC, 1998).

결국 현대의 '통합수자원관리'는 이러한 새로운 개

념의 수자원관리를 구현하기 위하여 그림 1과 같이 용수공급이나 수력발전 등 단일목적의 수량관리 중심의 개별적인 저수지위주의 운영을 탈피하여 하천의 수량, 수질, 환경생태를 동시에 고려한 유역단위의 통합 운영을 추구하며, 지표수 위주의 수자원관리의 틀에서 벗어나 유역 내 다양한 수자원, 즉 지표수, 지하수, 대체/보조 수자원의 통합 연계시킨 수자원의 확보와 관리·운영을 꾀한다(고익환 등, 2002).

3. 선진국의 기술개발 동향

3.1 미국

통합수자원관리 분야의 선진국인 미국의 기술은 기술발전주기 중 기술의 개발단계를 넘어서 이미 안정화, 실용화 단계에 접어들고 있다. 미국의 대표적인 물 관련 연방정부 기관들인 내무성산하 개척국(USBR: US Bureau of Reclamation)과 지질조사국(USGS: US Geological Survey) 및 테네시유역관리청(TVA: Tennessee Valley Authority), 환경청(US EPA: US Environmental Protection Agency)들은 수량과 수

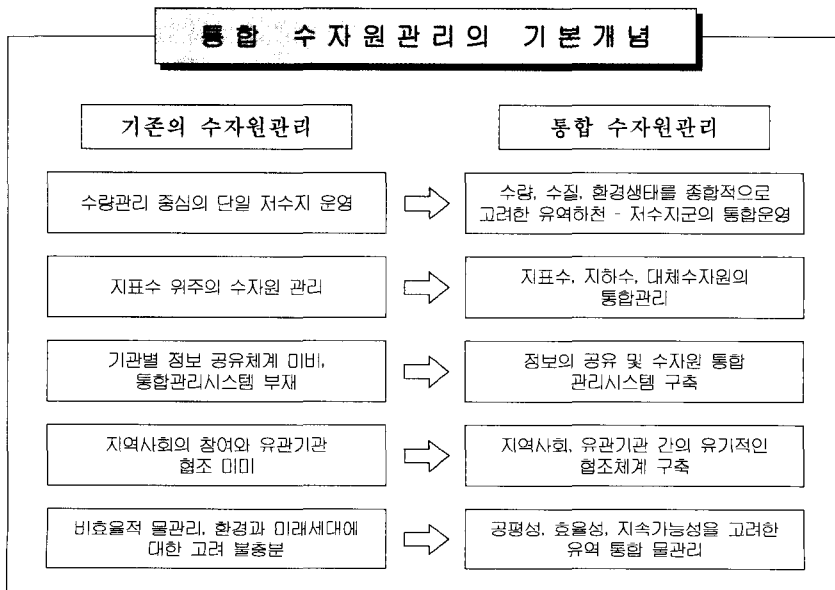


그림 1. 통합 수자원관리의 기본개념

질 관련 모형을 포함한 유역물관리 시스템의 공동개발 및 공유 등을 통한 통합수자원관리 기술 확보 노력과 아울러 유역 내 수량 및 수질 관련 시·공간적 정보를 국가적 차원에서 생산, 수집, 평가, 보급하고 있다.

수계 및 하천 시스템 관리 프로그램의 공동개발

미국 개척국은 지질조사국과 공동으로 1992년부터 이러한 필요성에 부응한 하천유역관리 분석도구의 개발을 기획, 1995년부터 서부지역의 San Juan, Colorado 유역들에 적용하기 위한 프로그램개발에 들어갔다. 수계/하천시스템 관리 프로그램(WARSMP: Watershed and River Systems Management Program)은 유역 단위의 물과 환경자원관리 지원목적의 분석도구로서 물리적 수문학적인 거동을 모의하는 수계모형과 하류의 물 사용량을 고려한 저수지 운영 모형, 하천 수리 및 상류 흐름 조건에 따른 구간단위의 생화학적 모의모형들이 하나의 시스템으로 결합된 것이다. 현재 이 프로그램은 개척국이 운영하는 댐 저수지군을 중심으로 한 유역단위 수자원 계획 및 관리(물 배분 의사결정)에 활용하고 있으며 다른 모형과의 연계 및 사용을 위해 필요한 소프트웨어와 모형의 개발을 지원하기도 한다(Frevert 등, 2000). 이 프로그램의 핵심은 시스템 안에 결합된 MMS, RiverWare와 같은 주요 분석도구들이 공통의 데이터베이스인 HDB(Hydrologic DataBase)에 연결된 데 있다. 이러

한 연계는 그림 2에 도시된 바와 같이 데이터 중심의 하천유역물관리 의사결정지원시스템(DSS)을 제공하는 것으로 한 모형의 출력결과가 데이터베이스에 기록되어 다른 모형의 입력자료로 사용될 수 있다.

3.2 유럽연합

유럽연합은 지식기반경제시대의 유럽통합을 가속화시키면서 국제사회의 중심세력으로 나서고자 회원국들을 중심으로 한 European Research Area (ERA)를 설정하고, 1984년부터 지금까지 5차에 걸쳐서 범 EU 차원의 핵심연구개발 사업인 EU Framework Program을 수행해 오고 있다. 이러한 노력의 일환으로 1990년대에 통합하천유역계획을 위한 의사결정지원시스템인 Waterware가 개발되었으며, 유역 수자원관리를 지원하는 분석도구로 네덜란드의 물관리기관인 RIZA를 중심으로 한 HarmoniCA (Harmonized modeling tool for Integrated Basin Management), 남부 유럽국가들의 Water Strategy Man Projects 등 통합수자원 계획 및 관리를 지원하는 다양한 종류의 의사결정지원시스템 구축기술이 개발, 적용 중에 있다.

Waterware : 통합 하천유역계획을 위한 의사결정 지원시스템

Waterware는 1992년부터 5년 동안 영국, 이태

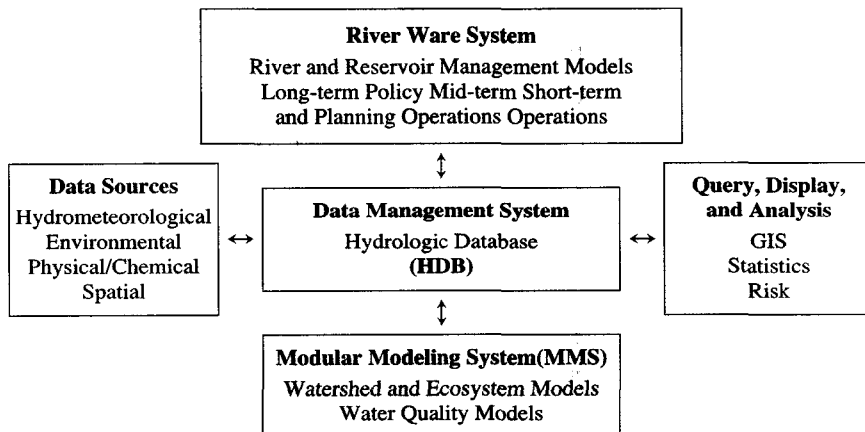


그림 2. USBR/USGS의 데이터 중심 하천유역물관리 의사결정 지원시스템 개요

리, 아일랜드, 오스트리아의 연구집단이 공동으로 수행했던 EUREKA EU 487 Project의 산출물이다. 하천유역관리자가 수량과 수질, 수환경을 고려한 효율적인 수자원관리를 할 수 있도록 지원하기 위한 이 분석도구는 주로 통합하천유역계획수립 업무에 활용하고자 개발되었다. 제5세대 Hydroinformatics 시스템인 이 Waterware에서는 GIS, 데이터베이스 기술, 모델링 기법, 최적화 기법과 전문가 시스템 기법을 복합적으로 수행할 수 있도록 설계되었다. 모의운영모형 등의 모델링기법을 이용하여 각종 분석대안의 결과를 예측함과 동시에 최적화 기법과 전문가 시스템을 합성시킨 인공지능기법을 이용하여 최적의 대안을 선정할 수 있도록 지원한다.

3.3 호주

호주의 유역 통합수자원관리 기술개발을 주도하는 CRC(Cooperative Research Center)는 1991년도에 설립된 이래 공익을 위한 기술혁신과 상용화에 중점을 둔 범국가적 수자원 기술개발을 주도하여 왔다. CRC는 호주 기상국, 무레이다링 유역위원회 등의 연방정부기관과 빅토리아, 뉴우 사우스 웨일스, 퀸스랜드 등의 주정부, CSIRO Land and Water, 멜보른 대학, 모나쉬 대학, 그리휘스 대학 등의 연구집단과 연계해서 초창기의 1단계 7개년 연구사업 기간('92~'99)동안 주로 소규모 수자원 환경 계획기술개발과 모형개발을 해 왔으며, 2단계 8개년 ('99~2006)의 후반인 현재 유역단위의 대규모 모델링에 중점을 둔 8개 분야의 21개 연구사업을 수행하고 있다. 이 CRC의 주요임무는 '유역의 자원관리자에게 요구되는 토지이용에 따른 수문학적 영향을 평가하고 유역 수자원관리상의 의사결정 능력을 배양' 하는데 있으며, 통합수자원관리를 지원하는 주요 Toolkit으로 IOOM을 개발하였다(고익환, 2004).

IQQM

수량과 수질을 고려한 유역 수자원 평가용인 IQQM(Integrated Quantity and Quality Model)은

호주의 DIPNR(Department of Infrastructure Planning and Natural Resources)이 개발한 대표적인 모형이다. 이 범용적 수문학적 모의운영모형으로 수량뿐만 아니라 수질 환경문제를 고려한 분석이 가능하며, 행정구역 경계간, 환경적 이슈를 포함하는 이해관계가 얽힌 물사용 이해당사자간의 분쟁을 둘러싼 물배분 문제에도 적용 가능하다. Lahey 컴파일러를 이용한 포트란 90에서 개발된 IQQM모형은 현재 컴포넌트별 개발이 진행단계에 있으며 향후 .net기반의 TIME(The Invisible Modelling Environment) 환경에 맞추어 새롭게 구성할 계획을 갖고 있다. 이 모형은 호주의 뉴우 사우스 웨일스와 퀸스랜드주, 인도네시아와 메콩강유역의 수자원 계획 평가용으로 적용되었으며, 무레이다링유역위원회는 이 모형을 단기 유역 물배분 운영목적으로 적용할 계획을 추진 중에 있다.

4. 우리나라의 통합 수자원관리 기술개발

갈수록 더욱 강도 높게 빈번해 지고 있는 가뭄과 홍수, 태풍으로 인한 혹독한 피해와 손실로 인하여 물안보(Water Security)가 곧 국가 위기관리차원의 주요 이슈로 등장하게 되었다. 좁은 국토 안에서 많은 인구가 요구하는 적지 않은 물 수요로 압박 받고 있는 우리나라의 경우 이미 필요한 신규 수자원개발의 어려움과 공급 증가, 수질관리에 소요되는 막대한 비용, 한정된 수량의 동일 수자원에 대한 다양한 용도간의 경쟁, 물부족과 수질오염을 둘러싼 이해당사자간, 지역 간의 첨예한 갈등과 분쟁 등으로 인하여 물 문제 해결을 둘러싸고 국가와 지역주민이 안고 있는 사회적 비용부담은 이미 한계에 도달하게 되었다.

이러한 물문제를 해결하려면 다양한 물 공급원을 통합 관리하여 맑은 물을 안정적으로 공급하고, 사용한 물을 깨끗하게 처리하여 쾌적한 수환경을 조성하는 지속가능한 통합수자원관리 기술개발이 필요하다. 비록 전술한 선진국들에 비하여 우리나라의 경우 개발이 늦었으나, 심각한 물문제를 범국가적으로 해결하고자 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 "수자원의 지속적 확보기술개발 사업단"이

지난 2001년 후반에 발족하게 되었다.

이 연구개발사업의 최종목표는 수자원의 지속적 확보를 위한 통합수자원관리 시스템구축에 두고 있으며, 다양한 공급원(지표수와 지하수, 대체수자원), 수요와 공급, 수량과 수질을 고려한 계획과 운영을 할 수 있는 시스템을 2011년까지 구축하여 물의 공급, 이용, 처리 등 물순환을 유역단위로 통합관리를 추진하게 된다. 국내외 산학연 공동으로 약 800여명의 연구인력이 대거 참여한 1단계 사업기간(2001.10~2004.6)에는 주로 통합수자원관리, 지표수, 지하수, 대체수자원 확보 등 4개 분야의 기반기술개발이 마무리 단계에 있으며, 이중 통합수자원관리 기술개발부분은 중장기 수자원계획을 지원하는 '유역통합 물수지 분석 및 수자원계획 기술개발' 과 단기간의 유역 수자원관리를 위한 '실시간 물관리 운영시스템 구축 기술개발' 을 중심으로 한 6개의 세부과제가 수행되고 있다.

5. 댐과 하천, 수량·수질을 고려한 유역통합 물관리시스템 구축

한해에 사용하는 수자원 총량 약 330억³ 중 40% 이상을 댐에 의한 공급량에 의존하고 있는 우리나라

의 경우 홍수기를 제외한 대부분의 기간 동안 한강을 비롯한 주요하천의 수량과 하천의 자정능력은 유역 중상류에 위치한 대용량 다목적댐 저수지군의 공급량에 의해 조절되고 있으므로 보다 효율적인 하천의 물관리를 위해서는 다목적댐 저수지군 운영을 중심으로 한 유역 혹은 범유역단위 하천운영시스템의 구축이 필수적이다.

이미 운영중인 유역내 댐저수지들을 하천과 연계하여 가장 효율적으로 활용하기 위한 유역통합 물관리시스템은 유역의 장·단기 용수수급상황을 실시간적으로 파악하고, 수계내 주요 제어지점과 소유역 구간의 하천 유출량을 예측하여 유역에서의 시기별·목적별로 필요한 용수수요를 수질상태를 반영해서 최대한 충족하도록 물을 공급하는 의사결정지원 시스템을 의미한다.

한국수자원공사가 수자원의 지속적 확보를 위한 21세기 프론티어 연구개발사업사업의 통합수자원관리 기술개발의 일환으로 수행한 '실시간 물관리 운영시스템 구축 기술개발' 과제를 통하여 그림 3과 같이 수량과 수질을 고려한 다목적댐 저수지군과 인접하천의 유역단위 연계 운영을 중심으로 한 한국형 하천유역 통합물관리 시스템을 금강유역을 대상으로 구축하였다.

3단계 과제 수행이 완료되는 2011년까지의 이 연

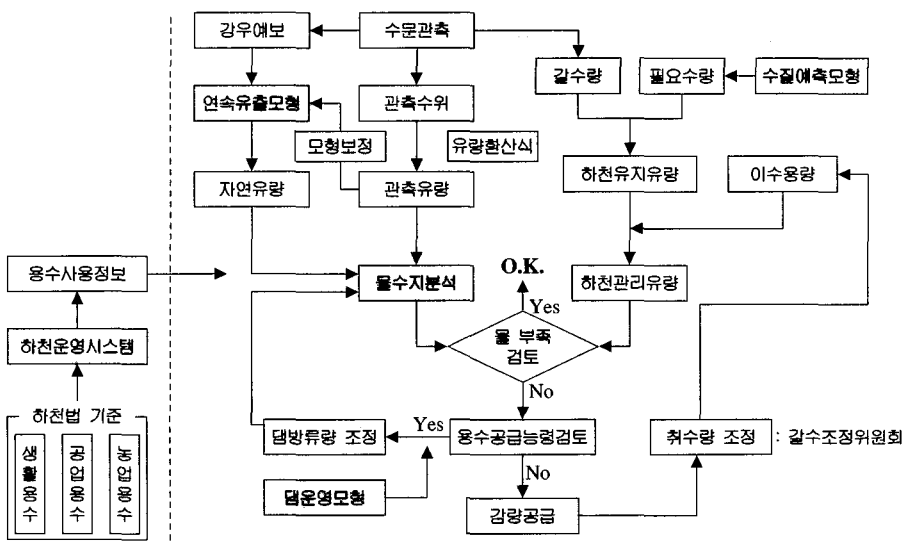


그림 3. 댐과 하천을 연계한 유역 통합물관리 운영시스템 개념도

구개발의 최종 목표는 지표수와 지하수, 수량과 수질을 고려한 하천유역단위의 통합 물관리 운영시스템 구축기술을 개발, 확보하는데 있으며, 이중 지표수를 대상으로 한 2004년까지의 1단계의 과업에서 유역유출분석 시스템, 저수지군의 모의 및 최적화 모형, 물관리 의사결정지원을 위한 수질예측모형, 통합 물정보 제공시스템을 중심으로 한 유역 지표수 통합 물관리 기반기술이 구축되었다.

6. 결론

2001년말에 착수한 수자원의 지속적 확보를 위한 범국가적 통합수자원관리 기술을 2011년까지 성공적으로 개발, 확보하게 되면 물의 공급과 이용, 처리와 보존 등 물 순환을 유역단위로 통합 관리함으로써 환경생태적인 지속가능성을 충분히 고려한 수자원의 개발과 이용상의 경제적 효율성을 높이고, 물을 둘러싼 지역간, 이해당사자간의 물분쟁과 사회적 갈등을 최소화하며, 극심한 가뭄시 물공급 실패로 인한 사회경제적 혼란과 충격 및 수환경 파괴를 최소화할 수 있을 것이다. 또한 현재 선진국 대비 절반에도 못 미치는 이 분야의 기술수준을 80% 수준 이상 향상시킬 수 있

을 것으로 기대된다.

특히, 통합수자원관리기술이 공공사회에 미칠 파급 효과로서 중·장기 유역수자원계획과 단기 물배분 정책 결정과정, 혹은 유역내에 수량과 수질을 둘러싼 분쟁조정 등에서 이번에 개발되는 유역통합 물관리 의사결정지원 시스템을 다수의 이해당사자(기관들)의 공통의 분석도구로 놓고 공통의 기초자료와 가정에 의한 다양한 물관리 대안과 전략을 검토하는 투명한 절차를 도입함으로써 이해당사자이나 관련 기관들이 서로 신뢰할 수 있는 분석결과의 공유가 가능해 질 수 있다.

이러한 새로운 패러다임의 유역통합 수자원관리를 제대로 정착시키려면 1단계에서 구축한 핵심 기반기술을 2, 3단계에서 충분한 검증, 보완을 통한 실용화 및 기술 확산노력과 함께 지역주민, 지자체 등 유관기관, NGO들의 자발적인 참여를 통한 유기적인 협조체제가 필수적이며, 유역 내 필요한 수자원, 환경관련 자료와 정보가 공유되고 유통되어야 한다. 이러한 운영환경을 기반으로 한 통합수자원관리는 특히 물이용효율의 극대화와 함께 공평하고 지속가능한 수자원의 이용과 관리를 지향해 나감으로서 그동안 수자원관리자들이 소홀하게 다루었던 미래세대와 환경에 대해서도 더 많은 배려가 가능하게 될 것이다.

참/고/문/헌

고익환, 정세웅, “통합수자원관리 기반기술 구축방안(I) - 선진국의 하천유역 통합물관리 기술개발동향”, 한국수자원학회지, 제 35권, 6호, 2002, 11.
 고익환, 정세웅, “통합수자원관리 기반기술 구축방안(II) - 우리나라의 하천유역 통합물관리 기반기술 구축방안”, 한국수자원학회지, 제 35권, 6호, 2002, 11.
 고익환, “호주 유역통합물관리 기술개발 동향과 전망-2004 호주 Catchment Modelling School”, 한국수자원학회지, 제 37권, 2호, 2004, 3.
 Agenda 21, “The Rio Declaration on Environment and Development”, the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), Rio de Janeiro, Brazil, June 1992.
 Beecher, J.A., “Integrated Resources Planning

Fundamentals”, Journal of American Water Works Association, June 1995.
 European Commission, “Towards Sustainable Water Management”, 1998.
 Frevert, D., Lins, H., Fulp, T., Leavesley, G., and Zagana, E., “The Watershed and River Systems Management Program - An Overview of Capabilities”, Proceedings of the Watershed Management & Operations Management 2000 Conference, American Society of Civil Engineers, June 20 - 24, 2000, fort Collins, Colorado.
 Global Water Partnership, “Integrated Water Resources Management”, TAC Background Papers No.4, 2000.