

두만강 유역의 합리적인 수자원 개발방안 도출을 위한 2인 비영합 협력게임 적용

Application of the cooperative two-person nonzero-sum game for water resources development in the Tumen river basin

박완수¹ · 이상은^{2*} · 박희경¹

Wansoo Park¹ · Sangeun Lee^{2*} · Heekyung PARK¹

1 KAIST 건설및환경공학과, 2 Faculty of Civil Engineering Universiti Teknologi MARA

(2009년 11월 11일 접수 ; 2010년 2월 10일 수정 ; 2010년 2월 12일 채택)

Abstract

This study aims to make a decision about the rational option for a multipurpose dams development of the Tumen river basin so that the adjoining countries will effectively deal with the chronic problems and fully satisfy the fast growing demand of water and power. It has been thus far investigated that the interests between North Korea and China closely depend on the selected option, and they are not well compatible with each other. These situations are defined in terms of the cooperative two-person nonzero-sum game. The Nash bargaining model is then applied to contemplate the rational option, considering two scenarios of economic growth of the North Korea. After analyzing the model, it was expected that 1) two multipurpose dams must be cooperatively developed, and 2) their benefits should be allocated according to demand of each country. The authors finally suggest that a cooperative organisation be established to effectively manage the dams beyond the border of the countries.

Key words : Game Theory, Boundary River Management, Tumen River, Nash Bargaining Model

주제어 : 게임이론, 경계하천관리, 두만강, 내쉬협상모형

1. 연구 배경

두만강은 중국, 북한, 그리고 러시아를 경계로 하는 국제 하천으로 풍부한 유량은 각 국의 중요한 수자원 및 전력의 공급원이 될 잠재력이 있다 (Fig.1). 이에 최근 한국, 중국, 러시아 전문가들 (김우구 외, 2004)은 공동으로 두만강 유역 수자원의 수문학적, 지리적 특성을 조사한 뒤, 수자원 시설물 개발에 대한 필요성을 강조하고 개발계획을 제시한 바 있다. 두만강 유역은 물수요의 증가로 인한 수량 확보가 필요하고, 수질 오염으로 인한 생태계의 피해가 우려되며, 홍수와 가뭄 등의 자연재해를 방지하기 위한 노력이 시급하다.

이러한 현안들을 해결하기 위한 방안으로 Table 1과 같이 다목적 댐을 건설할 필요가 있는 것으로 전망되었다. 이는 하천의 하상계수가 300이상으로 효율적인 수자원관리가 어려운 반면, 다목적 댐과 같은 수자원 시설물은 용수 및 전력 공급, 유량 유지, 수질 오염 방지 등 유역내 현안을 개선하고 상당한 편익을 제공할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다.

사실 한중러 공동 연구가 수행되기 이전부터, 두만강 개발 계획은 오랜 기간 중국과 북한간에 계속적으로 논의되고 있었지만 번번이 무산되었었다. 이에 대해, 김우구 (2002)는 북한은 공동으로 개발한 뒤 투자비에 따른 비율로 전력을

* Corresponding author Tel:+6-03-5543-6431, Fax:+6-03-5540-5275, E-mail: peregian78@gmail.com(Lee, S.)



Figure 1. 두만강 유역 개요

Table 1. 두만강 본류 다목적 댐 개발계획

구 분	계	강구동댐	심포댐
용수공급량(억톤/년)	17.85	8.45	9.4
전력생산량(Gwh/년)	625	350	275

자료: 김우구 외 (2004)

배분하길 원하는 반면, 중국은 개별적으로 개발하길 바라고 있기 때문이라고 지적하고 있다. 양국이 바라는 구체적인 개발방안이 서로 달랐음을 의미한다. 한편, 이광만 외 (2008)는 중국과 북한 간 두만강 본류 4개 지점에 대해 타당성 조사를 통해 사업이 추진되었으나, 90년대 이후 북한의 경제난으로 구체적 계획이 수립되지 못하였다고 한다. 북한의 경제상황이 유역의 수자원 개발에 중요한 장애였던 것이다.

위 같은 논의들을 통해 볼 때, 북한과 중국 양국이, 또는 여러 전문가들이 두만강 유역 수자원개발에 대한 필요성에 동감하고 적절한 개발계획을 구상하였음에도 불구하고, 구체적으로 양국이 어떤 개발방안으로 계획을 만족시킬 수 있을 지에 대해 명확하지 않다고 할 수 있다. 특히, 지금까지 전례를 통해 볼 때, 투자 이행 및 편익 분배가 각국의 이해관계와 경제상황을 충분히 만족시키지 않고서는 동 개발계획은 실현되기 힘들 것으로 판단된다.

2. 연구 개요

본 연구는 우선 김우구 외 (2004)에서 제시한 다목적 댐

2개소의 개발계획이 두만강 본류의 시급한 현안들을 해결할 수 있으며 유역내 상당한 편익을 제공할 수 있을 것으로 가정한다. 대신, 본 연구는 구체적으로 어떻게 이행하는 것이 양국의 이해관계를 모두 충족시켜 개발계획의 실현가능성을 높일 수 있을 것인지 검토하는 것을 목적으로 한다.

두만강 유역 개발계획과 관련된 인접국가들의 이해관계는 2인 비영합 협력게임으로 간주된다. 이는 세 가지 이유에 기인한다. 첫째, 북한과 중국은 동 개발 계획에 이해관계가 높은 반면, 러시아는 중요한 게임 참여자(player)로 보기 힘들기 때문이다. 유역내 러시아의 영토는 하구지역에 약 0.3%에 불과하며, 이 지역에 대한 용수 수요가 크지 않은 것으로 조사되었다. 둘째, 두만강 댐 개발로 인한 편익은 양국의 거래를 통해 한 나라의 이익이 반드시 상대국의 손해로 나타나지 않기 때문에 비영합 게임으로 볼 수 있다. 셋째, 공유하천에 대한 협력게임으로의 접근은 국제적 분석 패러다임을 잘 반영할 수 있다. 갈등이 고조된 국제 공유하천 문제를 유역 전체적인 측면에서 해결하기 위해 협조적 행동은 그 어느 때보다 강조되고 있다. 특히, 경계하천일 경우에는 연안국의 경제적 상황을 동시 한 뒤 개발비용을 공동으

로 배분하는 것이 오랜 기간의 갈등을 벗어나 서로간의 협력을 이뤄내는 데에 효과적임이 계속해서 증명되고 있다 (Dinar, 2006; Parrachino et al., 2006)

본 연구의 절차는 다음과 같다. 먼저, 3장에서는 문헌연구를 통해 협력게임의 방법론적인 타당성을 검토하고 두만강 사례에 적용할 구체적인 모형을 제시하고자 한다. 4장에서는 모형에 적용될 두만강 유역의 용수 및 전력의 수요, 다목적 댐 개발을 위한 비용 등의 기초자료가 설명된다. 5장에서는 두만강 유역에 대한 10가지 개발방안을 제시한 뒤, 각 개발방안별로 각국이 누릴 수 있는 보수(payoff)를 순편익(net economic benefit)으로 산정한다. 또한, 게임이론 모형이 제시하는 합리적 개발방안을 설명하고, 그 결과를 북한의 불안정한 경제상황에 비추어 정량적으로 해석하고자 한다. 마지막으로 6장에서 연구 결과를 요약하고 본 연구의 한계를 제시하고자 하였다.

3. 문헌연구

수자원 분야에 적용된 다양한 경제이론적 접근법 가운데 게임이론은 경제행위 주체들의 전략적 행동을 검토하는 데에 유용한 도구로 사용되어 왔다. 특히, 게임이론은 수리권이 확립되어 있지 않은 공유하천에서 경제행위 주체들의 물이용 분쟁 해결 방안을 찾는 데에 효과적인 것으로 증명되고 있다. Becker와 Easter (1999)는 오대호 수자원 개발 사업을 놓고 미국과 캐나다 간에 발생한 죄수의 딜레마(Prisoner's dilemma) 상황을 다룬 바 있다. 여기서, 게임이론은 상호간의 외부성이 존재하는 공동 수자원의 경우 양국이 개발 사업에 대한 협력으로부터 이탈할 유인이 존재하고, 이로 인한 공유지의 비극이 발생할 수 있으므로 외부의 권위에 의한 중재가 필요함을 제시하는 데에 효과적으로 사용되었다. Rogers (1969)는 인도와 파키스탄 간 갠지스강 하류의 수자원 개발계획을 구체화하기 위해 게임이론을 적용하였다. 여기서, 수자원 개발방안 6가지에 대해 순편익을 산정한 뒤 서로의 이해관계를 2인 비영합 협력게임(cooperative two-person nonzero-sum game)으로 정의하였으며, 게임 모형을 분석한 결과 공동 예산으로 공동 개발하는 협력 방안이 최적임을 명확하게 제시할 수 있었다.

Netanyaju 외 (1998)에서도 이스라엘과 팔레스타인 간의 공유개인 대수층 이용의 최적 방안을 검토하기 위해 양국의 이해관계를 2인 비영합 협력게임으로 정의한 뒤 내쉬협상모형(Nash bargaining model)으로 분석하였다. 비협력으로 인한 대수층 과다 이용, 수질 악화, 장래 비용 증가 등의 피해를 고려할 때, 현재 대수층을 관리하는 이스라엘이 팔레스타인과 협력하여 공동 관리하는 것이 바람직하다고 분석

되었다. 내쉬협상모형은 미국과 멕시코 간 콜로라도 강에서의 오염방지시설 설치 사업에서 적절한 비용과 편익의 배분을 검토하는 데에도 활용되었다 (Frisvold와 Caswell, 2000). 동 모형은 투자방식에 따라 양국 편익 크기가 상이하며, 동일한 비율의 비용과 편익 배분은 오히려 사업의 비협력을 초래할 수 있음을 명확하게 보인 바 있다. 최동진과 이미홍 (2008) 또한 임남댐 건설 사업과 관련하여 남한과 북한이 편익을 최대로 향유할 수 있도록 편익배분방안을 결정하는 데에 내쉬협상모형을 적용하였다. 동 연구는 북한이 50% 이상의 유량을 남한에 보장해주고, 남한은 임진강 골재 채취 공동사업을 통하여 보상해줄 경우 양국의 협력은 지속될 수 있음을 결론으로 제시하고 있다. 하지만 양국의 편익은 현 시점을 기준으로 산정되었는데, 장래 양 국가, 특히 북한의 경제성장에 따른 수요의 변동가능성을 반영할 수 있었다면 더욱 유용한 정책적 의미를 가질 수 있었을 것이라 판단된다.

선행 연구들을 종합해 볼 때, 본 연구의 목적 달성을 위해 북한과 중국의 이해관계를 2인 비영합 협력게임으로 정의한 뒤 내쉬협상모형을 적용한다면 양측 모두에게 합리적인 투자 및 편익의 배분 방안을 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 단, 다목적 댐처럼 대규모이고 장기적인 사업을 계획하는 경우라면, 제시된 방안에 대한 신뢰성을 높일 수 있도록 미래의 불확실성에 대한 검토가 필요하다고 판단된다. 특히 선행연구들이 장래 편익의 추정 결과를 내쉬협상모형에 적용하는 데에 상당한 개선 여지가 있다. 편익은 단순히 수자원 시설의 규모로 결정하기 보다는 수자원 시설물이 제공하는 서비스에 대한 장래 수요량에 따라 변할 수 있는 것으로 보는 것이 바람직하다. 특히, 북한의 수자원 개발과 관련된 선행연구 (윤용남 외, 2003; 박희경 외, 2005; 박희경과 이상은, 2005)들에 따르면, 북한은 국가의 경제 상황에 따라 서비스의 수요가 크게 변하는 특징이 있다. 즉, 본 연구에서 사용될 내쉬협상모형은 북한의 경제상황이 편익에 어떤 영향을 줄 수 있는지를 정량적으로 표현해야 하며, 경제상황의 변화에 따라 개발방안이 어떻게 달라져야 하는지를 명확하게 설명할 수 있어야 한다. 궁극적으로는, 미래의 경제상황에 대해 정보가 부족한 현 시점에서, 어떤 개발방안을 결정하는 것이 가장 타당한 지에 대해 충분한 직관을 제공할 수 있어야 한다.

본 연구에 적용될 내쉬협상모형은 다음과 같다. 우선 Nash (1953), Binmore 외 (1986) 등으로부터, 2인 비영합 협력게임 상황에서 양측 모두에게 합리적인 결정은 식 (1)에 나타난 내쉬해(Nash product 또는 Nash solution)를 최대화 한다.

$$N = (u_1 - u_1^*)(u_2 - u_2^*) \quad (1)$$

여기서, N 은 내쉬해의 값이며, u_1 과 u_2 는 각각 협상 후 게임참여자 1과 게임참여자 2의 보수(payoff)를 의미한다. 또한 u_1^* 와 u_2^* 는 각각 협상 전 게임참여자들의 보수를 의미한다. 위 식(1)을 두만강 개발을 위한 북한과 중국의 상황에 적용하기 위해 양 국의 협상 전 보수 $u^* = 0$ 라고 하면,

$$N = u_1 \times u_2 \quad (2)$$

여기서, u_i 는 $i=1$ 일 때 북한의 보수를 그리고 $i=2$ 일 때 중국의 보수를 의미한다. 즉, 식(2)는 양국이 모두 합리적이 라면, 각각의 보수의 곱이 가장 큰 개발방안으로 협력하는 것이 타당함을 보여준다. 식(2)의 보수에 개발방안별로 예상되는 순편익을 적용하면,

$$u_i = f_1 \left(\sum_{j=1}^3 S_{ij}^w V_{ij}, r_i \right) + f_2 (S_i^e P_i^e, r_i) - f_3 (C_i^d, r_i) - f_4 (C_i^m, r_i) \pm f_5 (B_i^w P_i^w, r_i) \pm f_6 (B_i^e P_i^e, r_i) \quad (3)$$

여기서, 각 변수는 다음을 의미한다.

j : 다목적 댐 건설로 공급된 용수의 종류 ($j=1$ 일 경우 생활 용수, $j=2$ 일 경우 공업용수, 그리고 $j=3$ 일 경우 농업용 수를 지칭)

S_{ij}^w, S_i^e : 게임참여자 i 가 건설될 다목적 댐으로부터 누릴 수 있는 j 번째 용수의 공급량 (톤/년)과 전력의 공급량 (kwh/년)

B_i^w, B_i^e : 각 국의 공급능력이 수위를 초과하기 때문에 상대 국과 거래하게 되는 용수 및 전력량

V_{ij}, P_i^w, P_i^e : 게임참여자 i 의 j 번째 용수의 지불의사액 (원/톤), 용수 공급단가 (원/톤), 그리고 전력 공급단가 (원/kwh)

C_i^d, C_i^m : 다목적 댐에 대한 경제주체 i 의 건설비 (원)와 유지관리비용 (원/년)

또한 $f_1 \sim f_6$ 은 할인율 r_i 를 적용하여 모든 편익과 비용을 2009년 가치로 다음과 같이 환산함을 의미한다 (두만강 댐 개발에 대한 협상, 설계, 시공, 운영까지의 소요 기간을 감안 하여 2021년부터 댐 운영이 가능할 것이라 가정을 하였으며, 용수공급시설의 내구연수를 고려해 이 시점부터 2050년까지를 경제성 분석 범위로 결정).

$$f_1 = \sum_{n=13}^{42} \frac{\sum_{j=1}^3 S_{ij}^w V_{ij}}{(1+r_i)^n}, \quad f_2 = \sum_{n=13}^{42} \frac{S_i^e P_i^e}{(1+r_i)^n} \quad (4)$$

$$f_3 = \frac{C_i^d}{(1+r_i)^{13}}, \quad f_4 = \sum_{n=14}^{42} \frac{C_i^m}{(1+r_i)^n}$$

$$f_5 = \sum_{n=13}^{42} \frac{B_i^w P_i^w}{(1+r_i)^n}, \quad f_6 = \sum_{n=13}^{42} \frac{B_i^e P_i^e}{(1+r_i)^n}$$

여기서, n 은 모든 비용과 편익을 현재가치로 환산하기 위 해 기준년도인 2009년으로부터 경과한 년수를 지칭하며, 각 함수는 다음을 의미한다.

f_1 : 용수 편익, f_2 : 전력 편익, f_3 : 댐 건설비용,

f_4 : 댐 유지관리 비용,

f_5 : 잉여 용수 거래에 따른 편익 또는 비용,

f_6 : 잉여 전력 거래에 따른 편익 또는 비용

경제상황에 따른 편익의 변화가 큰 북한에 대해 저성장과 고성장의 시나리오로 구분하고 저성장 시나리오의 확률이 p 라고 하면, 식(2)의 기대값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N = u_1 \times u_2 = p(u_1^{low} \times u_2^{low}) + (1-p)(u_1^{high} \times u_2^{high}) \quad (5)$$

u_i^{low} 와 u_i^{high} 는 각각 북한의 저성장 시나리오와 고성장 시나리오에서 게임참여자 i 의 보수를 의미한다. 이후부터는, 식(3)~(5)에 제시된 내쉬협상모형을 이용하여 내쉬해 N 을 산정한 뒤, 가장 내쉬해가 큰 개발방안을 찾는 데에 초점을 맞추고자 한다. 또한 추가적으로 제시된 개발방안이 다양한 p 값의 변화에 대해 어떤 영향을 받는 지에 대해 검토될 것이다.

4. 자 료

두만강 유역의 장래 용수 및 전력 수요는 기본적으로 유역 인구의 추세 및 면적을 기초로 산정하되, 특히, 박희경 외 (2005)에서와 같이 북한의 공업용수와 전력의 수요는 경제 성장 시나리오에 의해 큰 영향을 받는 것으로 간주하였다. 경제성장 시나리오의 경우 정우진 (2001)의 예측을 토대로 고성장시 10.7%, 그리고 저성장시 6.67%의 경제성장률로 나누었다.

4.1. 장래 용수수요 및 과부족

두만강 유역내 연도별 용수수요의 추정 결과는 Table 2와 같다. 북한 지역의 용수수요는 박희경 외 (2005)에 제시된

용수별 수요원단위, 인구 추세선, 유역면적, 그리고 경제성장 시나리오별 성장률을 고려하여 산정된 것이다. 그 결과 생활용수의 수요는 크지 않고 농업용수의 수요는 일정할 것으로 예상되나, 공업용수의 수요는 시나리오에 따라 큰 차이를 보일 수 있을 것으로 예측되었다. 공업용수의 수요가 비교적 높은 것은 유역내 무산광산, 회령제지공장 등의 공업지역을 포함할 뿐만 아니라 나진선봉 경제특구와도 지리적으로 가까이 자리잡고 있기 때문인 것으로 해석된다. 유역내 중국의 용수 수요를 추정하기 위한 자료는 비교적 쉽게 접근할 수 있는데, 본 연구에서는 US Department of Commerce (2005), National Bureau of Statistics of China, 김우구 외 (2004) 등의 자료를 이용하여 추정하였다. 그 결과 생활용수는 꾸준히 증가하는 반면, 공업용수는 크게 증가하고 농업용수는 다소 감소할 것으로 예측되었다. 이러한 공업용수의 증가는 인력 및 취업구조의 변화, 기반시설 확충, 국제경제협력지대 설치 등 동북부 지역에 나타나고 있는 훈춘개발계획(심의섭과 이광훈, 2001)의 결과를 잘 설명할 수 있는 것으로 판단된다.

현재 양국의 용수공급능력을 기초로 한 용수수요에 대한 과부족을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 윤용남 외 (2003) 및 김우구 외 (2004)의 조사에 따르면, 두만강 유역내 용수 공급능력은 북한의 경우 1,600 만m³/년인 반면, 중국의 경

우 67,323 만m³/년에 달한다. 즉, 양측 모두 현재 공급능력만으로 경제성장에 따른 용수수요를 충족할 수 없기 때문에 다목적 댐과 같은 수자원시설이 필요한 상황이다.

4.2. 장래 전력수요 및 과부족

정우진 (2001)은 2020년까지 북한의 전력 공급능력을 조사하고 전력수요를 예측한 바 있다. 이를 2050년까지 연장하여 북한의 전력 과부족량을 산정한 결과는 Table 4와 같다. 이러한 전력 공급능력 하에서 저성장 시에는 2020년 이후 전력 부족현상을 직면하나, 고성장시에는 조만간 전력이 부족하여 추가적인 수력발전 시설이 시급함을 알 수 있다. 반면, 중국의 경우 2006년부터 전체적인 전력 수급이 안정화되고 있는 것으로 알려져 있다 (이대우, 2003; 홍철선 외, 2008). 게다가 한기주 외 (2006)에 따르면, 중국은 이미 대규모 투자를 통하여 전력 산업의 구조개편, 송배전 시설 개선, 발전용량 증설 등이 진행되고 있는 상황이다. 따라서 추가적인 두만강 개발을 하지 않아도 전력수급에 문제가 발생되지 않을 것으로 판단된다.

4.3. 다목적 댐 개발에 대한 비용 및 편익

사실 해당 지역에 대한 편익 및 비용 자료에 대한 접근이 쉽지 않다. 엄밀한 분석을 위해, 비교적 쉽게 구할 수 있는

Table 2. 두만강 유역내 용수수요 추정 결과

단위: 백만톤/년

게임참여자	용도별	2010	2020	2030	2040	2050	
북한	생활용수	24.52	29.65	35.34	41.70	48.74	
	공업용수	저성장	171.70	294.73	502.79	822.45	716.50
		고성장	171.70	418.49	1,013.69	2,354.43	2,912.39
	농업용수	255.49	255.49	255.49	255.49	255.49	
	계	저성장	451.72	579.88	793.62	1,119.64	1,020.73
		고성장	451.72	703.64	1,304.52	2,651.62	3,216.62
중국	생활용수	31.72	41.36	53.93	68.23	86.33	
	공업용수	250.56	512.22	1,047.15	1,891.27	3,415.84	
	농업용수	1,810.86	1,787.46	1,764.36	1,689.94	1,618.67	
	계	2,093.14	2,341.04	2,865.44	3,649.44	5,120.84	

Table 3. 두만강 유역의 용수수요의 과부족

단위: 백만톤/년

게임참여자		2010년	2020년	2030년	2040년	2050년
북한	저성장	-435.72	-563.88	-777.62	-1,103.64	-1,004.73
	고성장	-435.72	-687.64	-128.85	-2,635.62	-3,200.62
중	국	-1,419.91	-1,667.81	-2,192.21	-2,976.21	-4,447.60

Table 4. 북한 지역내 전력 수요 및 과부족

단위: Gwh/년

구 분		2010년	2020년	2030년	2040년	2050년
수요량	저성장	174	389	709	1,456	2,927
	고성장	236	894	2,321	4,627	7,209
과부족	저성장	+49.09	+16.05	-25.80	-130.42	-336.37
	고성장	+17.33	-25.03	-107.82	-246.17	-401.05

Table 5. 비용과 용도별 용수 지불의사액 및 전력 적용 단가

구 분	비 용		편 의			
	건설 비용	연간 유지관리비 ¹⁾	생활용수	공업용수 ²⁾	농업용수	전력
	원/톤	원/톤/년	원/톤	원/톤	원/톤	원/kwh
단 가	317	3.17	534	1,906.6	58	74.5

1) 건설 비용의 1%를 적용 2) 기초소재제조업 기준 단가 적용

인근 지역의 자료를 적용한 뒤, 양 국의 편익 비율에 대한 민감도 분석이 필요하다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이, 내쉬협력게임을 적용할 때에는 양 국의 경제상황을 동시하여 편익을 배분하는 것이 협력에 더 유리하다는 점이 경험적으로 제시된 바 있다. 이에, 본 연구에서는 인근 지역인 한국의 자료를 Table 5와 같이 적용키로 하였으며, 이 같은 가정은 적절한 것으로 판단된다. 따라서 용수의 지불의사액은 박두호 외 (2007)를, 전력의 공급단가는 산업자원부의 에너지통계연보 (2007)를, 그리고 댐 건설에 필요한 건설비용 및 유지관리비용은 임재환 (2002)을 참고하였다. 또한 한국은행의 데이터베이스에 근거하여, 중국과 북한의 할인율에 대해 각각 3.24%와 2.97%를 적용하였다.

5. 합리적인 두만강 개발방안 도출

김우구 외 (2004)에 제시된 개발계획을 실행하기 위한 방안들은 다양하고 현실적인 경우들을 고려해 Option 1에서 Option 10까지 10가지를 설정하였다 (Appendix 1). 이중 Option 1은 현재와 같이 개발하지 않는 것을 의미하며, Option 2에서 Option 4는 중국이나 북한이 단독으로 다목적 댐을 개발하는 방안이다. 또한 Option 5에서 Option 8은 각자 개별적으로 개발한 뒤 잉여 편익을 거래하는 방안이며, Option 9와 Option 10은 공동으로 개발한 뒤 편익을 분배하는 방안이다. 비록, 김우구 (2002)는 본 연구의 다목적 댐 2개소를 구체적으로 검토한 것은 아니지만, 중국은 Option 5나 Option 6과 같은 개별적 개발을, 북한은 공동개발을 통해 투자비에 따라 편익을 배분하는 Option 10을 원하고

있다고 언급하고 있다.

5.1 수자원 개발방안별 순편익 산정

Table 6은 수요 예측 결과를 식(3)~(4)에 적용한 뒤, 각 대안별로 보수를 산정한 결과이다. 특히, Option 10은 북한의 투자 배분율(α)에 따라 보수가 변하므로, 투자 배분율을 10%에서 90%까지 다양한 경우에 대한 보수를 산정하였다.

북한의 경제성장 시나리오별로 총보수의 합 ($u_1 + u_2$)을 살펴보자. 눈에 띄는 점은, 북한의 경제성장 시나리오에 무관하게 보수의 합이 가장 높은 개발방안은 Option 10이라는 사실이다. 특히, Option 10 중 북한의 투자 배분율을 90%로 할 때 총보수의 합은 최대가 된다. 물론 총보수가 최대라고 해서 합리적인 협상 결과라 할 수는 없다. 그 이유는 총보수의 최대값은 어느 한 국가의 보수가 상대국보다 월등히 큰 경우에도 발생하므로 양 국간의 균등한 수리권 배분이 이루어지지 않을 수 있기 때문이다. 실제로, Option 10은 양국 편익의 불균형을 크게 초래하는 방안이다. 용수 편익 외에 전력 편익을 향유할 수 있는 북한의 편익이 약 20.4 ~ 28.6 조원임에 반해, 중국의 편익은 1.4 ~ 2.5 조원에 불과하다. 중국의 입장에서 이 편익의 크기는 다른 어떤 개발방안을 취했을 때에 보다 작기 때문에 협력으로부터의 이탈 유인은 매우 크다고 할 수 있다.

5.2 합리적인 두만강 유역의 수자원 개발방안 도출

본 연구에서는 북한의 경제성장 시나리오를 저성장과 고

Table 6. Option별 양 국의 순편익 (단위 : 억 원)

구 분		Option2	Option3	Option4	Option5	Option6	Option7	Option8	Option9	
u_1	저성장	138,859	774	135,408	131,493	143,306	133,170	145,172	128,607	
	고성장	5,503	1,506	169,922	163,440	180,340	165,117	182,206	170,495	
u_2	저성장	76,122	171,171	86,219	88,862	79,600	88,862	79,600	92,665	
	고성장	82,861	171,846	86,892	89,559	80,173	89,559	80,173	86,350	
구분		Option10								
		$\alpha=0.1$	$\alpha=0.2$	$\alpha=0.3$	$\alpha=0.4$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.6$	$\alpha=0.7$	$\alpha=0.8$	$\alpha=0.9^{1)}$
u_1	저성장	28,887	57,639	86,316	113,699	137,516	158,428	173,973	188,948	203,923
	고성장	34,880	69,610	104,239	138,786	171,974	202,941	232,056	259,671	286,027
u_2	저성장	153,422	136,589	119,430	101,913	84,208	67,193	53,048	39,151	25,255
	고성장	153,422	136,939	119,651	102,438	84,932	67,137	49,327	31,601	14,012

1) 북한의 두 경제성장 시나리오 모두에서 총보수가 최대인 개발방안

Table 7. 각 시나리오 확률 50%에서 Option별 내쉬해

구 분	Option2	Option3	Option4	Option5	Option6	Option7	Option8	Option9 ¹⁾		
N (10^9)	5.51	0.19	13.22	13.16	12.93	13.31	13.08	13.32		
구 분		Option 10								
		$\alpha=0.1$	$\alpha=0.2$	$\alpha=0.3$	$\alpha=0.4$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.6$	$\alpha=0.7$	$\alpha=0.8$	$\alpha=0.9$
N (10^9)		4.89	8.70	11.39	12.90	13.09	12.13	10.33	7.80	4.57

1) 내쉬해가 최대인 개발방안

Table 8. 다양한 시나리오 확률에 따른 내쉬해의 최대값

P(저성장):P(고성장)	내쉬해의 최대값 (10^9)	개발방안
0 : 100	14.78	Option 7
25 : 75	14.05	Option 7
50 : 50	13.32	Option 9
75 : 25	12.62	Option 9
100 : 0	11.92	Option 9

성장으로 구분하고 있다. 어떤 시나리오가 더 실현가능한지는 북한의 국내외 정치상황, 연구자별 견해, 분석 시점 등에 따라 크게 달라질 수 있으며 본 연구의 범위를 넘어선다. 따라서 우선 두 시나리오에 확률 50%를 가정하여 합리적인 개발방안을 분석한 뒤, 확률이 달라질 경우 분석 결과는 어떻게 달라지는지를 관찰하기로 하였다.

북한의 경제성장 시나리오 확률 p 이 각각 50%일 경우 Option별 내쉬해는 Table 7과 같다. 내쉬해는 양국이 투자비 대비 편익을 배분하는 공동개발 방안에서 최대값을 갖는다. 즉, 양측의 이해관계를 가장 잘 만족시키는 대안은 Option 9이다. Table 6에 나타난 것과 같이, 이 때 북한은

2050년까지 총 12.9 ~ 17.0 조원을, 중국은 8.6 ~ 9.3 조원의 편익을 갖는다. 각 국은 저마다 다른 개발방안을 통해 더 큰 편익을 얻을 수 있지만, Option 9는 양측 모두에게 비교적 높은 편익을 보장한다.

한편 각 시나리오에 다양한 확률값을 부여한 뒤, Option별 내쉬해를 산정하여 그 값이 최대인 개발방안을 분석한 결과는 Table 8과 같다. 전체적으로 볼 때, 북한 경제가 저성장 확률이 높을수록 공동개발 후 투자비에 따라 편익을 배분하는 안 Option 9가 합리적이지만, 고성장 확률이 높을수록 남한의 투자원조와 함께 개별적으로 개발하는 안 Option 7이 합리적임을 알 수 있다.

5.3 검토

앞서 언급한 바와 같이 중국은 Option 5 또는 Option 6과 같은 개별적 개발을, 북한은 Option 10의 공동 개발을 주장하고 있다. 내쉬협상모형의 분석 결과, 각국은 두만강 수자원 시설 개발에 대해 다음과 같은 태도를 견지하고 있었던 것으로 판단된다. 우선, 북한이 주장하는 대로, 공동 개발 후 투자배분율에 따라 편익을 배분한다면 Table 6에서 북한의 편익은 20.4 ~ 28.6 조 원까지 늘일 수 있다. 이 북한의 편익은 다른 모든 개발방안을 취하였을 때의 편익 보다 더욱 크다. 반면, 이 때 중국의 편익은 1.4 ~ 2.5 조 원으로 다른 모든 개발방안을 취하였을 때의 편익 보다 더욱 작다. 즉, 북한은 게임 상황에서 자신의 편익을 최대 늘리고자 하는 합리적인 경제주체였지만, 협력적인 태도가 높지 않음을 짐작케 한다. 이에 반해, 중국이 주장하는 대로, 개별적 개발을 한다면 Table 6에서 중국의 편익은 8.0 ~ 9.0 조 원이다. 이 중국의 편익은 자신의 편익을 최대 하려는 단독 개발안의 절반에 불과하다. 또한, 개별적 개발시 북한은 13.1 ~ 18.0 조 원의 편익이 예상되며 이는 북한에게 비교적 만족할 만한 편익을 보장하고 있음을 알 수 있다. 요약하면, 중국은 자신의 편익을 최대 늘리려고 하지 않기 때문에 합리적인 경제주체라 보기는 힘든 반면, 북한에게 어느 수준의 편익을 보장해서 두만강 수자원을 개발하려는 의지가 엿보이기 때문에 협력적 태도를 취하고 있음을 짐작케 한다.

본 연구에서 개발방안을 설정하는 가운데, 한국이 전략적으로 북한의 다목적 댐 공사비를 원조할 것이라는 가정을 두었다. 그러나 한국과 북한간에 빈번하게 발생하는 외교적 마찰이 있을 경우, 한국이 정치적인 이유로 인해 원조를 하지 않을 가능성이 있다. 마찬가지로, 박희경과 이상은(2005)에는 북한 역시 한국의 직접적인 인프라시설 원조에 대한 결정은 쉽지 않음을 경험적으로 설명한 바 있다. 이에, 한국의 참여를 배제한 상황을 추가적으로 검토하는 것은 경우에 따라 더욱 현실적인 개발방안을 제시하는 데에 도움이 될 수 있다. 한국의 참여를 배제한다면, 대부분의 경제성장 시나리오에 대해 Option 9가 가장 합리적인 개발방안이 된다 (단, 고성장의 확률이 100 %인 경우에는 북한의 단독개발인 Option 4가 가장 합리적인 개발방안임).

본 연구에서 두만강 유역 수자원 시설 개발에 대해 최종적으로 제안하는 방안은 Option 9이며, 이는 다음과 같은 이유에 기인한다. 첫째, 남한의 원조가 이루어지지 않는다면 북한의 경제성장에 대한 대부분의 경우 Option 9가 양측의 이해관계를 잘 충족시킨다. 둘째, 남한의 원조가 이루어지더라도, 북한의 경제가 중간 수준 이하로 성장한다면 Option 9가 양측의 이해관계를 잘 충족시킨다. 셋째, 남한의 원조가 이루어지고 북한의 경제가 고성장에 가까워진다면 Option 7이 가장

합리적인 결정이다. 그러나 Option 7과 같은 개별적 개발방안은 Option 9와 같은 공동 개발방안에 비해 추후 갈등을 빚을 가능성이 높다. 예를 들어, Option 7을 선택한 뒤 갈수기로 인해 유량이 안정적으로 확보되지 않는다면 상류에 있는 북한이 하류에 있는 중국을 위해 유량을 배분해야 할 동기가 없다. 즉, 경계하천의 개발이 상하류 하천의 갈등을 야기할 가능성이 예상된다. 그러나 Option 9에서 투자비를 공동으로 출자하여 시설을 개발한 뒤 양국의 협력기구가 다목적 댐들을 관리케 한다면 위의 갈등은 발생하지 않는다. 실제로 미국과 멕시코간의 리오그란데 강의 IBWC (international boundary and water commission)나 캄보디아, 라오스, 태국, 베트남 간의 메콩강위원회의 성공적인 갈등해결 사례들(최동진, 2005)을 볼 때, Option 9와 같이 두만강 개발시 양국의 협력기구는 양국의 협력을 높이는 역할을 잘 담당할 수 있을 것으로 판단된다. 요약하면, Option 9는 협력으로부터의 이탈 유인이 상대적으로 적고, 경제성장 시나리오의 불확실성에 대해 안정적이며, 남한의 자금지원 등 정치적인 문제에 민감하지 않으며, 추후 갈등의 여지가 적어 두만강 유역 수자원 개발에 가장 합리적인 방안이라 할 수 있다.

6. 결 과

두만강의 심각한 현안들을 고려했을 때 연안국간의 협력을 통한 수자원 개발이 시급함에도 불구하고, 지정학적인 특수성과 연안국 간의 개발에 대한 견해차이로 개발이 진전되지 못하고 있다. 두만강과 같은 상호간의 외부성이 존재하는 경계하천에 대한 개발은 연안국간의 협력없이 국제법이나 수리권 원칙에 따라 실현되기 어렵다.

동 연구는 선행연구에서 제시한 수자원 개발계획을 기초로 하여 양국의 다양한 개발방안별로 편익을 산정하였으며, 내쉬협상모형에 적용하여 가장 합리적인 개발방안을 찾으려 하였다. 또한 북한의 경제성장의 시나리오에 따라 개발방안은 어떻게 달라져야 하는지를 제시하였다. 연구 결과, Table 8에서 보듯이 북한의 경제가 고성장 확률이 클수록 현재 중국이 주장하는 개별적 개발방안 (북한이 강구동댐을, 중국이 심포댐을 개발하는 방안)이 내쉬해가 최대인 최적의 전략이었다. 이에 반해, 북한 경제가 저성장 확률이 클수록 북한과 중국은 공동 투자를 통해 다목적 댐을 개발한 뒤 수요에 따라 편익을 배분하는 방안이 내쉬해가 최대인 최적 전략이었다. 또한 남한이 두만강 개발에 참여하지 않을 경우와 개별적 개발로 인한 갈등의 가능성을 염두한다면, 북한과 중국이 공동으로 개발한 뒤 수요에 따라 편익을 배분하고, 협의체를 구성하여 관리토록 하는 것이 가장 합리적인 개발방안이 됨을 최종적으로 제안하였다.

수자원 분야에 게임이론을 적용한 선행연구들은 장래 수요 추정에서 나타날 수 있는 불확실성이 개발방안의 편익에 어떤 영향을 줄 수 있는 지 크게 고려하지 않았다. 그러나 동 연구에서는 북한의 경제성장 시나리오를 정의하고 확률적으로 분석한 결과, 수요의 불확실성은 개발방안의 결정에 큰 영향을 줄 수 있음을 명확하게 보여준다. 그러나 동 연구는 자료의 정확도에 대한 개선의 여지가 있다. 북한지역에 대한 수문학적 자료, 양국의 용수 및 전력 편익에 대한 가치, 댐 개발에 따른 환경 비용 및 편익 등에 대한 정확한 자료를 확보할 수 있다면 연구 결과의 신뢰도는 크게 증가할 것이다. 또한, 본 연구에는 양 국의 협상력을 동일한 것으로 간주하였으나, 실제 공유하천에 대한 의존도, 정치경제군사력 등에 따라 협상력에는 차이가 있을 것이며 이에 대해 정량화할 수 있는 연구가 추가적으로 진행된다면 더욱 현실적인 연구 결과의 제시가 가능할 것이다.

사 사

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발 사업 과제인 “성능/환경 복원기술 개발” (과제번호 : 07 도시재생 B04) 과제 의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

김우구 (2002), "두만강 지역 수자원 이용관리 실태", *한국수자원 학회지*, Vol.35, No.3, pp.86-90

김우구 외 (2004), *두만강 수자원 이용 및 관리방안 수립*, 한국수자 원공사 · UNDP

박두호 외 (2007), *수자원 및 기술가치 평가시스템 구축*, 과학기술 부 · 한국수자원공사

박희경, 이상은 (2005) "북한 수도사업 참여를 위한 제언 : 북한 수도공사의 설립", *Journal of Water Industry*, Vol.4, pp.30-44

박희경 외 (2005), *북한지역 수도현황 조사연구 보고서*, 건설교통 부 · 한국수자원공사

산업자원부 (2007), *에너지 통계연보*

심의섭, 이광훈 (2001), *두만강 개발 10년의 평가와 전망*, 대외경 제정책연구원

윤용남 외 (2003), *북한 수자원 산업의 전망과 참여방안 연구*, 한국 수자원공사

이광만, 강부식, 정관수 (2008), "남북 수자원경제협력 사업", *물과 미래*, Vol.41, No. 8, pp.79-87

이대우 (2003), "중국 전력산업 현황 및 과제", *China Weekly*, 제15호, 포스코 경영연구원

임재환 (2002), "논의 공익적 기능에 대한 사회경제효과 고찰 : 한일간 논 의 기능별 효과 비교분석을 중심으로", *농어촌과 환경*, 제12권, 제1호, 통권 제74호, pp.34-40

정우진 (2001), *에너지 산업의 대북한 진출방안 연구 보고서*, 에너 지 경제연구원

최동진 (2005) *공유 수자원의 합리적 관리제도 연구*, 수자원정책 분과위원회, 한국수자원학회

최동진, 이미홍 (2008) "게임이론을 통한 남북 공유하천 관리 전략 도출", *한국수자원학회지*, Vol.41, No.4, pp.353-363

한기주, 김대욱, 박용덕 (2006), *중국의 에너지 산업 현황·전망 및 정책 방향* 산업연구원

홍철선 외 (2008), *동북아 에너지시장 분석 연구 : 전력산업*, 지식 경제부 · 에너지 경제연구원

Becker, N., and Easter, K.W. (1999), "Conflict and cooperation in managing international water resources such as the Great Lakes", *Land Economics*, Vol. 52, No.2, pp.233-245

Binmore, K., Rubinstein, A., and Wolinsky, A. (1986), "The Nash bargaining solution in economic modelling", *Rand Journal of Economics*, Vol.17, No. 2, pp. 176-188

The People's Bank of China, Website Database [available Sep. 2009 at <http://www.pbc.gov.cn/>]

Dinar, S. (2006), "Assessing side-payment and cost-sharing patterns in international water agreements : The geographic and economic connection." *Political Geography*, Vol.25, No.4, pp.412-437

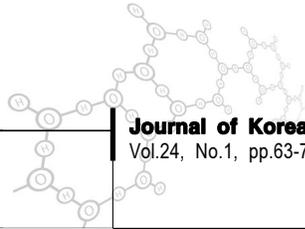
Frisvold, G.B., and Caswell, M.F. (2000), "Transboundary water management game-theoretic lessons for projects on the US-Mexico border", *Agricultural Economics*, Vol.24, No.1, pp.101-111

Nash, J. (1953), "Two-Person Cooperative Games", *Econometrica*, Vol.21, No.1, pp. 128-140

National Bureau of Statistics of China, Website Database [available Oct. 2009 at <http://www.stats.gov.cn/english/statisticaldata/yearlydata/>]

Netanyahu S., Just R.E., and Horowitz J.K. (1998), "Bargaining over shared aquifers : The case of Israel and the Palestinians", *Conflict and cooperation on trans-boundary water resources*, Kluwer Academic Publishers, pp. 41-60

Parrachino, I., Dinar, A., and Patrone, F. (2006), "Cooperative game theory and its application to natural, environmental and water resource issues : 3. application to water resources", World Bank Policy



Research Working Paper 4074
Rogers, P (1969), "A game theory approach to the problems
of international river basins ", *Water Resources*

Research, Vol. 5, No. 4, pp. 749-760
U.S. Department of Commerce (2006), *Water Supply and
Wastewater Treatment Market in China*

Appendix 1. 두만강 개발을 위해 설정된 개발방안

구 분	개발방안	설명
OPTION 1	<ul style="list-style-type: none"> • 미개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 양 국의 입장 차이 및 자금 문제로 댐 개발이 진행되지 않음
OPTION 2	<ul style="list-style-type: none"> • 중국의 2개 댐 단독 개발 • 북한 용수량 50% 보장 	<ul style="list-style-type: none"> • 중국은 용수 확보가 주목적이므로, 다목적댐보다는 용수 확보용 댐을 건설하게 되고 북한은 기득수리권 50% 유량 보장을 요구 • 북한은 보장받은 용수량 중 수요량 이상의 용수를 거래를 통해 중국에 판매
OPTION 3	<ul style="list-style-type: none"> • 중국의 2개 댐 단독 개발 • 북한에 전력으로 보상 	<ul style="list-style-type: none"> • 중국이 다목적 댐을 건설한 뒤 북한에 전력을 보상해주는 방안 • 북한의 입장에서도 전력 개발을 위한 투자 없이 전력확보가 가능
OPTION 4	<ul style="list-style-type: none"> • 북한의 2개 댐 단독 개발 • 중국 용수량 50% 보장 	<ul style="list-style-type: none"> • 중국 보다는 북한이 두만강 본류를 개발할 필요가 높음 • 북한이 단독으로 개발하고 중국에게 용수량을 50% 보장하는 대안도 가능하다.
OPTION 5	<ul style="list-style-type: none"> • 북한의 강구동댐 개발 • 중국의 심포댐 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 북한은 전력 공급량이 상대적으로 많고 용수 확보도 가능한 강구동댐을, 중국은 전력보다는 용수 공급량이 풍부한 심포댐을 개발 • 중국과 북한간의 잉여 용수의 거래가 이루어짐. • 북한은 강구동댐이 건설되면 최소 2045년까지는 전력 수요가 충족되므로, 중국은 심포댐을 전력용 댐으로 개발할 동기가 적음.
OPTION 6	<ul style="list-style-type: none"> • 북한의 심포댐 개발 • 중국의 강구동댐 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 북한이 심포댐을, 중국이 강구동댐을 개발 • 중국과 북한간의 잉여 용수의 거래가 이루어짐. • 북한이 심포댐을 건설할 경우 약 2040년까지 전력 수요가 충족되므로, 중국이 강구동댐을 전력용 댐으로 개발할 동기가 적음.
OPTION 7	<ul style="list-style-type: none"> • 북한의 강구동댐 개발시 남한의 원조를 이용 • 중국의 심포댐 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 남한은 북한의 용수와 전력공급에 대해 인권문제로 간주하고 있으며 통일 이후를 염두해 두만강 개발을 전략적으로 접근하고 있음 • 이에, 남한이 강구동댐 개발의 초기 투자비를 지원하는 것으로 가정
OPTION 8	<ul style="list-style-type: none"> • 북한의 심포댐 개발시 남한의 원조를 이용 • 중국의 강구동댐 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 남한이 심포댐 개발의 초기 투자비를 지원하는 것으로 가정
OPTION 9	<ul style="list-style-type: none"> • 공동 개발 • 수요량에 따른 편익 배분 	<ul style="list-style-type: none"> • 양 국이 50%씩의 비용을 공동 투자하여 댐을 개발한 뒤 전력은 북한이 100% 이용하되, 용수의 경우 양국의 수요에 맞게 배분하다가 추후 50%씩 반분
OPTION 10	<ul style="list-style-type: none"> • 공동 개발 • 투자비에 따른 편익 배분 	<ul style="list-style-type: none"> • 양국이 공동 개발을 한 뒤 투자비 비율 α에 따라 용수와 전력량을 배분