

금강 참게목장화 사업의 사회-경제 통합모델링

Incorporating Social & Economic Factors for the Pasture Project in Kum River

전대욱*

Jeon, Dae-Uk*

Abstract

This article deals with an economic evaluation of the 'Pasture Project of Kum River', which is the farming plan of mitten crabs in a stream of it. An augmented model of social capital is based on the past ecological-economic system dynamics model and elaborated further with suggestions of social capital literature. During the modeling process a chain diagram of causal relations and its relevant mathematical equations are presented for simulating the project performance, and the simulation results are provided to contrast the dynamic behaviors of the former ecological-economic model with ones of the new model incorporating social capital. The results indicate that an increase in the economic benefit of the project could happen in case of considering the process of social capital accumulation around the case area, which can be regarded as a remarkable trial to approve the common confidence in the role of social capital to enhance an economic achievement.

Key Words: 참게, 목장화 사업, 생물자원의 개체수역학, 경제성 평가, 사회자본,
생태-경제-사회 통합모델

(mitten crabs, pasture project, population dynamics of biomass,
economic evaluation, social capitals, ecology-economy-society
integrated model

I. 서론

본 논문은 금강 지천에서 참게를 방류하여 일정기간 동안 자연 증식시킨 후 수확하는 ‘참게 목장화 사업’에 관한 것이다. 금강에서 진행 중인 참게 방류 및 수확사업은 총 연장 401km에 달하는 금강수계 중 충남 청양군 및 부여군 일대 지류인 36km의 지천을 대상으로 한다. 동 사업은 산란기 민물과 바닷물이 교차하는 기수지역에서 산란을 하는 참게의 생태적 특성상 금강 하구둑의 존재로 인해 자연번식이 힘든 상황을 이용하여, 사육조에서 인공부화시킨 치게를 다량 방류한 후 이 치게들이 성숙하여 산란기에 하구로 이동하면 전량 포집함으로써 금강의 수생태계를 마치 목장처럼 활용하는 것이다. 지천 인근의 논을 포함한 참게의 서식환경과 참게의 성숙기간이 최소 2년임을 고려할 때, 사업이 안정화된 이후의 정상 상태에서 연간 2,753 천 마리의 치게를 방류하여 2년 후부터 최대 771 천마리의 성게를 수확한다(신현욱 외, 2007; 전대욱 외, 2010).

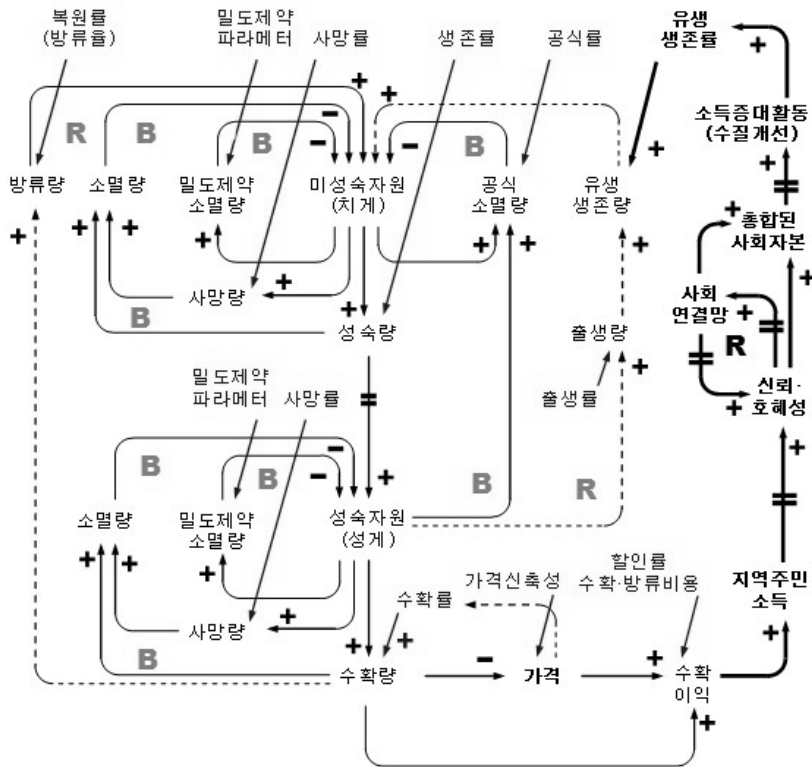
이상과 같은 참게 방류 및 수확활동의 경제성 평가를 위하여, 본 연구의 선행연구인 정희성 외(2005) 및 전대욱 외(2010)의 연구에서는 생물경제·생물수학적 이론모델을 기반으로 공식행태(cannibalistic behavior)와 참게 서식환경의 밀도제약, 방류활동 등 참게 생태경제 시스템의 주요 특징들을 포괄하는 모델링을 제시하였다. 특히 전대욱 외(2010)의 연구에서는 금강 지천의 목장화 사업을 대상으로, 동적 안정상태(steady-state analysis)에 대한 분석을 통해 제한된 정보로부터 각종 파라미터 및 동적 안정개체수 등 핵심적인 시스템 정보들을 파악하였고 시뮬레이션을 통해 경제성 평가를 수행하였다. 그 결과 지천의 참게 목장화 사업은 연간 8.25억 원의 비용이 소요되며 7.10억 원의 순이익이 실현되는 경제성이 높은 사업임이 밝혀졌으며, 시장이자율 4% 하에서 본 사업을 영구적으로 시행함에 따른 지역 자산증대 효과는 약 373.75억 원으로 제시되었다.

그러나 상기 경제성평가의 결과는 김혜인 외(2009) 및 정희성 외(2006a) 등 관련된 다른 선행연구에서 제시된 바와 같은 사회적 변화과정을 반영한 것은 아니었다. 전술한 경제성 평가결과를 보이는 모델들은 시스템 경계(system boundary)가 생태계와 경제계만을 고려한 생태-경제 통합모델인데 반하여, 이후의 연구들은 사회적 변화과정까지 고려된 확장모델을 다루고 있다. 우선 임진강의 참게 방류활동에 대한 정희성 외(2006a)의 연구에서는 참게 수확을 통해 지역소득이 증가하는 경우 새롭게 창출되는 소득을 보호하고 증대시키려는 활동, 예컨대 지역주민들이 자발적이며 공동으로 수질개선을 위한 활동이 가능하며 이러한 사회적 변화에 의해 동 사업의 수익성이 더욱 좋아질 수 있다는 가설이 제시되고 있다. 또한 김혜인 외(2009)의 연구에서는 이러한 가설에 착안하여 그와 같은 사회적 진보의 과정을 사회자본(social capital)의 축적과정으로 파악하고 정희성 외(2006a)의 모형에 사회자본을

추가하는 경우의 확장구조를 제시하였다. 그러나 후자는 사회적 변화가정을 부분적으로 가정하고 민감도 분석을 수행하여 사회적 변화를 내생화시키지 못하였으며, 전자 역시 시스템 구조(인과지도)만을 제시했을 뿐 시뮬레이션 및 구체적인 효과추정이 제시되지는 않았다.

따라서 본 연구에서는 금강 지천에서 이러한 사회적 변화과정까지 고려하여 경제성 평가결과를 도출하는 것을 목적으로 한다. 즉 생태 경제적 모델에 입각한 경제성 평가의 선행연구 결과와 사회적 변화를 추가시킨 경우의 경제성 평가결과를 비교함으로써 사회적 변화가 야기시킨 경제적 편익의 증가효과를 추정하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 전대욱 외(2010)에서 제시된 금강 목장화 사업의 시스템 모델을 기반으로, 김혜인 외(2009)에서 제안된 사회자본의 확장구조에 따라 금강 지천에서의 생태-경제-사회 통합모델을 도출하고 이로부터 사회자본의 축적에 의해 증가되는 편익의 추정을 시도한다.

II. 모델구조



[그림 1] 사회자본이 포함된 참게 목장화 확장모델의 SFD

김혜인 외(2009)의 연구에서는 참계의 방류 및 수확활동에 내재되어 있는 사회적 진보에 관하여 사회자본을 도입하여 확장한 모델의 구조를 제시하고 있다. 우선 동 연구에서는 최중렬(2004), Putnam(2000), Zucker(1986) 등의 논의에 따라 ‘사회적 연결망’과 ‘신뢰와 호혜성’을 중심으로 사회자본을 파악하며, 이로부터 목장화 사업이 진행되는 지천 유역은 경제적 이해에 바탕을 둔 호혜성의 교환이 이루어지는 사회, 즉 ‘자본추구 행위를 위한 유기성’이 고도로 발달된 사회임을 밝히고 있다. 즉, 참계 복원사업을 통해 증가되는 지역사회의 수익을 보전하는 공동체적 행위는 ‘균형잡힌 호혜성’에 근거하고 이러한 행위들이 ‘구성적 기대에 의한 신뢰’를 공고화시키면서 사회자본이 축적된다고 제시하고 있다.

따라서 동 연구에서는 ‘사회연결망’과 ‘균형잡힌 호혜성과 구성적 기대에 의한 신뢰’를 표현하는 두 개의 스톱을 도입하는 간단한 형태의 확장모형을 기반으로 참계의 수확과정에서 발생하는 수익과 관련되어 사회자본의 축적과정에 대한 시스템 사고를 제시하고 있다. 이러한 모델구조를 통해 초기 환경파괴로 인한 ‘불신’이 팽배한 상태에서부터 참계방류라는 생태적 수익이 발생하면서 ‘구성적 기대에 의한 약한 신뢰’가 싹트고, 여기서 다시 본격적인 수익이 창출되고 조합적인 생산방식을 유지하면서 수익을 공고화하는 ‘배경적 기대에 의한 강한 신뢰’로 진화하는 사회자본의 동태적 축적과정을 설명할 수 있었으며, 그 결과로서 수질개선과 이윤증가의 피드백을 제시할 수 있었다.

Ⅲ. 수리모델

그러나 이러한 결론은 그림과 같이 주어진 시스템 인과구조 하에서 추론된 시스템 사고의 산물일 뿐, 동 연구에서 구체적으로 이러한 과정을 시뮬레이션하고 결과치를 추정하는 단계에까지는 이르지 못하였다. 본 연구에서는 이를 위하여 전대욱 외(2010)의 생태경제 이론모델 및 김혜인 외(2009)의 사회자본 인과지도로부터 사회자본을 추가한 시뮬레이션 모델을 구축하고자 한다.

우선 확장모형의 인과지도는 [그림 1]로 표현될 수 있다. 그림의 인과지도는 김혜인 외(2009)에서 제안된 참계 복원활동의 사회연결망 및 신뢰·호혜성과 총합된 사회자본의 구조를 그대로 받아들여 전대욱 외(2010)의 참계 목장화사업 모델에 추가하여 재구성한 것이다. 여기서 총합된 사회자본(aggregated social capital)은 사회자본을 통합한 지속가능발전 모델로서 선구적인 시스템 다이내믹스 모델(Boumans et al., 2002; Patterson et al., 2004)에서 제시된 바와 같이 사회자본의 개별적 구성요인에 대한 총합과 같다.

또한 상기와 같은 인과모델을 시뮬레이션하기 위해서는 이상과 같은 사회자본이 시스템

의 주요 변수로 모델링되어야 한다. 따라서 사회자본을 추가하기 위하여 기본이 되는 전대옥 외(2010)의 생태경제 이론모델은 다음과 같이 요약될 수 있다:

$$\begin{aligned} & \max_c \int_0^{\infty} e^{-\delta t} [V - u_1 \alpha - u_2] \cdot c \cdot P_2 \cdot dt \\ & \dot{P}_1 = b_1 \cdot P_2 - e \cdot P_1 \cdot P_2 - d_1 \cdot P_1 + \alpha \cdot c \cdot P_2 \\ & \text{s. t. } \dot{P}_2 = b_2 \cdot P_1 - k_2 \cdot P_2^2 - d_2 \cdot P_2 - c \cdot P_2 \\ & \dot{V} = f(V, c \dot{P}_2) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots 1)$$

참게의 성장단계를 2단계로 구분하여, P1 및 P2 는 각각 어린 치게 및 성숙한 성게의 개체수를, V는 치게의 가격을 의미하는 내생변수(stock variable)이며, 나머지 소문자로 표현된 것들은 모두 외생변수(parameter)이다. 즉 δ 는 시간에 따른 가치할인율을, u_1 및 u_2 는 각각 방류 및 수확과 관련된 단위비용을, b_i ($i= 1, 2$) 는 각 단계의 출생률을, k_i 는 밀도제약 파라미터를, d_i 는 각 단계의 소멸률을, e 는 공식률(cannibalistic parameter), c 는 수확률, α 는 수확량 $c \cdot P_2$ 를 기준으로 한 방류율을 의미한다.

식 1)로 표현된 선행연구 모델에서 사회자본이 추가되기 위해서는 시스템에서 사회자본과 피드백을 주고받는 연결변수들을 찾고 적절한 수정이 필요하다. 우선 사회자본의 피드백을 주는 변수는 상기 선행연구의 논의 및 인과지도에서 수확이윤의 증가로 발생하는 지역주민의 소득인데, 이는 전대옥 외(2010)에서 참게 목장화 사업의 영구적인 ‘자산가치’로 제시되었다. 식 1)에서는 수확된 전량이 팔린다는 가정 하에, 수확량 $c \cdot P_2$ 에 가격 V 를 곱한 당기의 매출액에서 관련비용 $u_1 \cdot c \cdot P_2$ 및 $u_2 \cdot c \cdot P_2$ 를 제한 당기 순이익을 할인하여 이를 모든 시점에 대해서 합한 ‘할인된 영구적 누적소득’을 목적함수로 설정한 바 있다. 실제로 시점 t 에서의 의사결정은 시점 0부터 시점 t 까지 실현된, ‘할인 누적소득’에 의한다고 할 수 있다. 이와 같은 ‘ t 시점까지의 할인된 누적소득’은 전대옥 외(2010)의 시물레이션 모델에서 ‘NPV(Net Present Value)’로 표현된 바 있는데, 이를 수식화한 것은 다음과 같고 이는 뒤에서 언급될 사회자본의 증감에 영향을 미치는 변수로 표현된다.

$$NPV = \int_0^t e^{-\delta t} [V - u_1 \alpha - u_2] \cdot c \cdot P_2 \cdot dt \quad \dots\dots\dots 2)$$

또한 사회자본의 피드백을 받는 변수에 대한 조정이 필요하다. 즉, 사회자본의 피드백을 받는 연결변수가 파라미터인 경우 내생화된 시스템 내의 주요 변수로 바꿔줘야 한다. 그러나 사회자본의 피드백을 받는 변수는 수질개선 효과에 의한 ‘유생생존률’인데, 이는 식 1)로 표현된 모델에서 외생변수로 취급되고 있다. 따라서 사회자본을 추가하기 위하여 본 모델에서는 우선 유생생존률이 시차를 두고 사회자본과 수질개선 노력에 의해 변화될 수 있는 수준변수(level variable)로 바뀌어져야 한다. 즉, 새로운 유생생존률 b_1 의 시간에 따른 변화식은 다음과 같다.

$$\dot{b}_1 = (\bar{b}_1 - b_1) \cdot E / \tau_1 \quad \dots\dots\dots 3)$$

여기서 b_1 은 b_1 의 상한을 의미하며, E는 수질개선 노력(efforts of water quality improvement)을, τ_1 은 시차조정을 위한 파라미터(time delay parameter)이다. b_1 의 상한값은 수질이 오염 이전의 청정상태의 생존률을 의미하며 전대욱 외(2010)에서는 동적 안정상태의 분석을 통해 이를 2.8579로 추정되었으며, b_1 은 수질개선 노력 E에 영향도 있긴 하지만 전반적으로 목표값 찾기의 동적 행태(goal-seeking dynamic mode)를 갖는 것으로 판단하는 것이 상식적이다. 또한 수질개선 노력은 상기 인과지도에서 사회자본의 증가에 따라 영향을 받지만, 인과관계 외에 구체적인 함수관계에 대한 증거는 없으므로 E 는 단순히 비례적이라고 가정하면 다음과 같은 식이 가능하다.

$$E = \beta \cdot g(S_1, S_2) \quad \dots\dots\dots 4)$$

여기서 β 는 비례상수이며, S_1 및 S_2 는 각각 신뢰 · 호혜성 및 사회적 연결망을 의미하는 사회자본에 관한 두 개의 수준변수를 의미하므로 $g(S_1, S_2)$ 는 총합된 사회자본을 의미한다. 이때 신뢰 · 호혜성에 관한 사회자본 S_1 및 사회적 연결망 S_2 의 시간에 따른 변화식

은 상기 인과지도에 따라 상호 영향을 주는 관계이며, 이에 대해서는 선형 시스템 다이내믹스 연구(Boumans et al., 2002; Patterson et al., 2004)에서 사회자본에 대해 시도한 선형적 함수관계 표현에 따라 다음과 같은 간단한 형태의 수리적 표현이 가능하다.

$$\begin{aligned}\dot{S}_1 &= NPV \cdot S_2 / \tau_2 \\ \dot{S}_2 &= \dot{S}_1 \cdot S_2 / \tau_3\end{aligned}\tag{5)}$$

여기서, NPV는 전술한 바와 같은 t시점까지의 누적된 할인소득을 의미하며, τ_2 및 τ_3 은 각각 시차를 반영하기 위한 시차조정 파라미터를 의미한다. 이때 식 5)의 두 변화식의 유량에 해당하는 NPV 및 S1의 변화율 NPV 및 S1은 실제 시뮬레이션에서는 변화율 함수(derivative fcn) 등을 활용하여 표현하는 것이 가능하다.

이상과 같은 사회자본이 포함된 참게 목장화 확장모델은 전대욱 외(2010)의 연구에서와 마찬가지로 동적 안정상태 분석(steady-state analysis)을 행할 수 있다. 동적 안정상태가 존재한다고 가정하면 모든 스톡 혹은 수준변수들의 변화식이 0이 되어야 한다는 것을 의미하므로, 새로 추가된 수준변수들 NPV, S1 및 S2는 모두 변화가 없고 NPV, S1 및 S2는 모두 0이 되어야 한다. 따라서 식 5)의 우변은 모두 0이며, b1의 우변이 0이 성립할 때 동적 안정상태가 성립해야 한다. 따라서 b1에 관한 식 3)의 우변이 0이 되기 위해서는 $b1 = b1$ 이 성립해야 하며, 이는 수질이 거의 오염 이전의 상태로 회복될 때까지 수질개선 노력이 지속적으로 진행되는 것을 의미한다. 그러나 이와 같은 결론은 다소 이상적일 수 있으므로 동적 안정상태에 대한 논의는 이상에서 마치기로 한다.

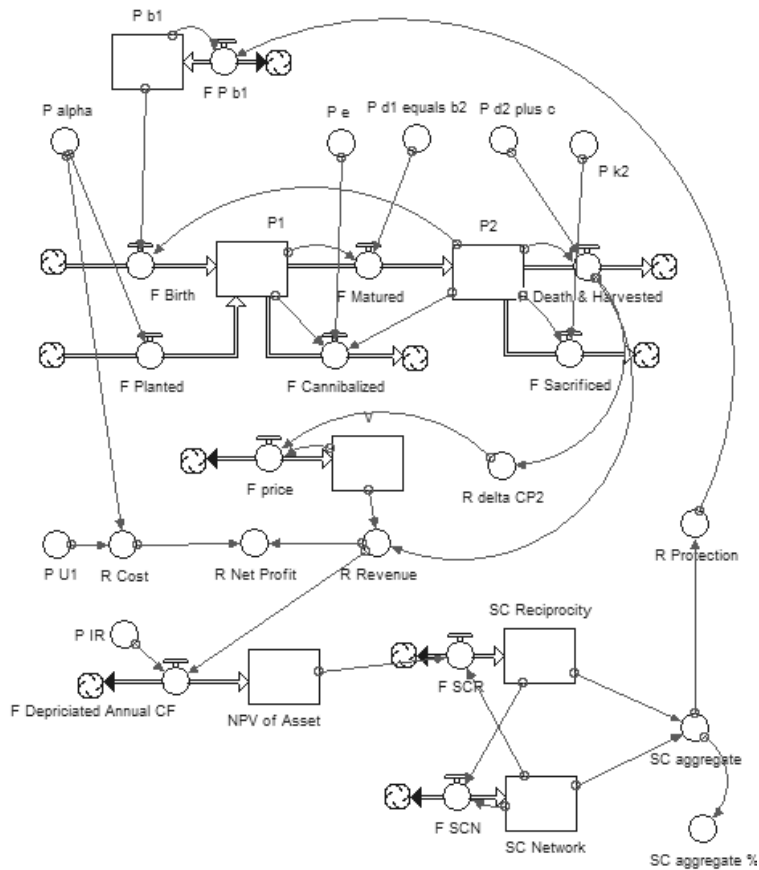
IV. 시뮬레이션 모델

앞서 도출한 바와 같은 사회자본이 포함된 참게 목장화 확장모델의 시뮬레이션을 위한 스톡-플로우 다이어그램은 [그림 2]와 같이 구성되었고, 시뮬레이션은 STELLA 7.0 Package에 의해 DT = 0.01, Euler's Method 등의 설정으로 수행되었다.

이러한 시뮬레이션을 위해서 기존 연구로부터 새로 추가된 일련의 파라미터 및 구체적인 함수관계에 대한 추정과 설정이 필요하다. 선행연구의 모델에서는 대부분의 파라미터가

추정되었으나, 본 연구에서 추가된 식 3)부터 식 5)까지에서 제시된 모델링에서 가정이 추가적으로 필요한 부분은 τ_1 부터 τ_3 까지의 시차조정 파라미터들과, 비례상수 β , 함수 g 의 구체적인 형태 등이다. 그러나 시차조정 변수나 사회자본과 수질개선 노력도 등에 관한 비례상수는 추정이 현실적으로 불가능할 뿐더러 이에 관한 선행연구들에서도 추정을 위한 단서의 제공이 불가능하였으므로 적절한 설정을 위한 시뮬레이션이 불가피하다.

따라서 본 연구에서는 정보가 없는 경우 흔히 취하는 방법으로 비례상수를 1로 설정하고, 시차조정 파라미터들은 대략 5년에 걸린 조정임을 가정하였다. 함수 g 는 ‘총합된 사회자본’을 의미하므로 단순히 두 사회자본 변수의 합으로 정의할 수 있으나, 두 사회자본에 관한 변수들이 상호작용하는 측면을 고려하여 초기값을 1로 설정하고 단순합 보다는 단순 곱의 형태를 취함으로써, 초기보다 몇 배 더 증가하는가의 의미를 실험하였다.



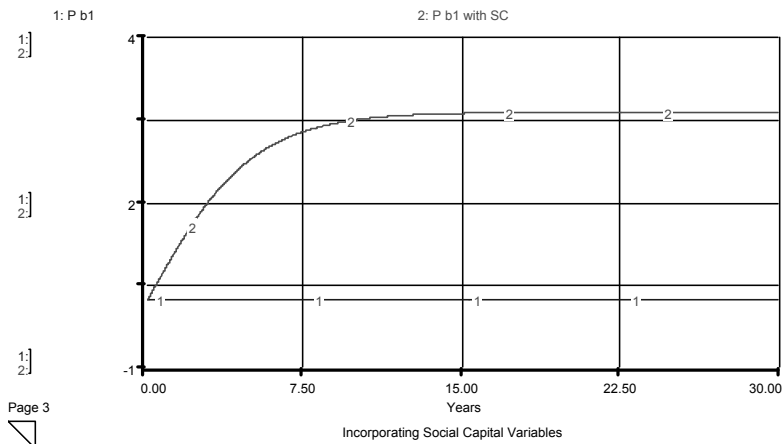
[그림 2] 사회자본이 포함된 참계 목장화 확장모형의 SFD

이러한 가정과 설정값들로 인하여 본 시뮬레이션 추정치의 엄밀성이 다소 저해될 수 있음은 당연하다. 하지만, 전대욱 외(2010) 및 3장의 말미에서 논한 바와 같이 비록 그 의미가 이상적인 수준이라고 할지라도 동적 안정상태가 존재한다면, 사회자본의 축적으로 인한 지역주민의 소득증가분을 추정할 수 있을 것이며 현실적으로 수질개선이 오염 전 청정상태까지 이르지 못한다고 하더라도 현 상태와 이상적 상태의 중간값을 취할 것으로 판단되므로 추정치는 충분한 의미를 지니고 있다고 볼 수 있다.

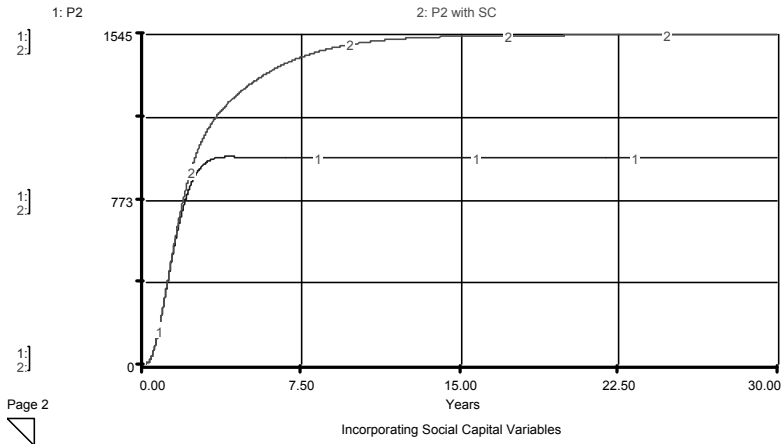
따라서 추정치는 그 자체로서 목장화 사업과 사회자본의 축적에 따른 실현가능한 소득증가를 의미한다기보다는 사회자본의 축적으로 인한 궁극적인 소득수준을 의미할 것이며, 상기 가정치의 값은 그 수준에 달성되는 속도를 조절할 뿐 궁극적인 수준에 영향을 미치지 않는다. 이러한 사실들을 바탕으로 본 추정치를 해석하고 활용하는 데에 유의해야 하며, 추후 기술될 본 논문의 추정결과 역시 이러한 주의점을 반영하고 있다.

V. 시뮬레이션 결과와 논의

[그림 3]부터 [그림 7]까지에 제시된 바와 같이 본 연구의 사회자본이 포함된 확장모형과 기존 모형(전대욱, 2010)의 결과비교를 수행하였다. [그림 7]을 제외한 모든 그림에서 결과선 1번으로 표현된 것이 기존 모형의 동적 행태이며, 결과선 2번으로 표현된 것이 사회자본이 포함된 확장모형의 동적 행태이다.

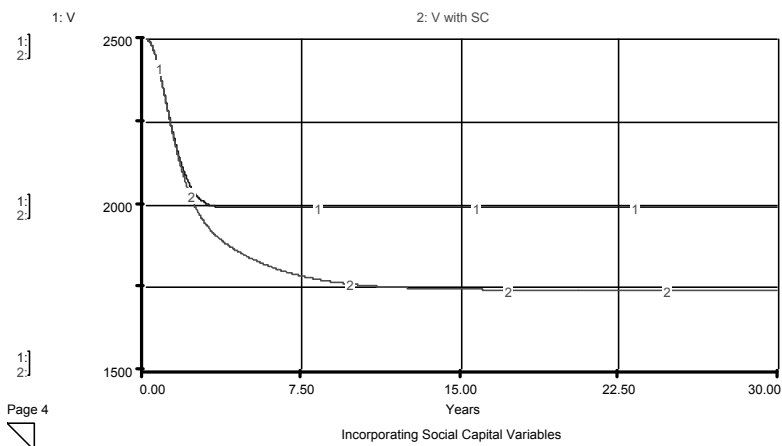


[그림 3] 유생생존률의 변화: 기존모형(1), 사회자본 확장모형(2)

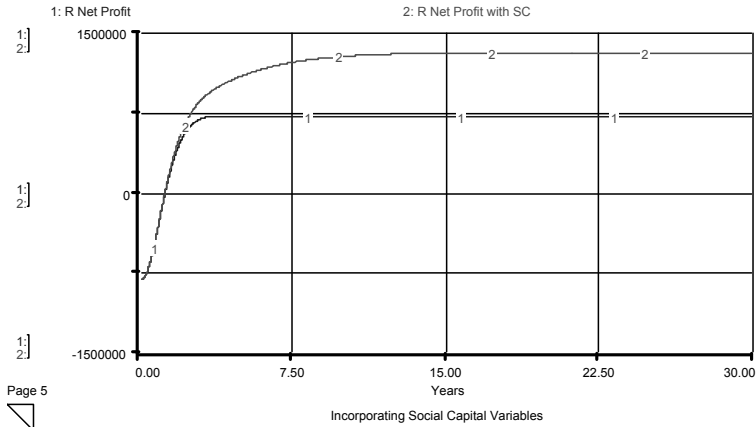


[그림 4] 성계 개체수의 변화: 기존모형(1), 사회자본 확장모형(2)

[그림 3]에서는 기존 모형에서 상수로 설정된 유생생존률이 변화가 없는 것(Line 1)에 비해, 사회자본의 축적으로 인한 수질개선의 효과가 유생생존률을 상승시키는 것(Line 2)이 묘사되어 있다. 유생생존률은 외생변수에서 수준변수로 내생화되었으며, 그 결과 장기적으로 생존률이 개선된다. 생존률의 변화는 [그림 4]와 같이 일정기간 후에 성계 개체수의 변화를 야기시키며, 기존 모형(1)에서 개체수의 동적 안정값이 963천 마리인데 비해 사회자본 확장모형(2)에서는 1,542천 마리로 약 60.1% 증가되었다.



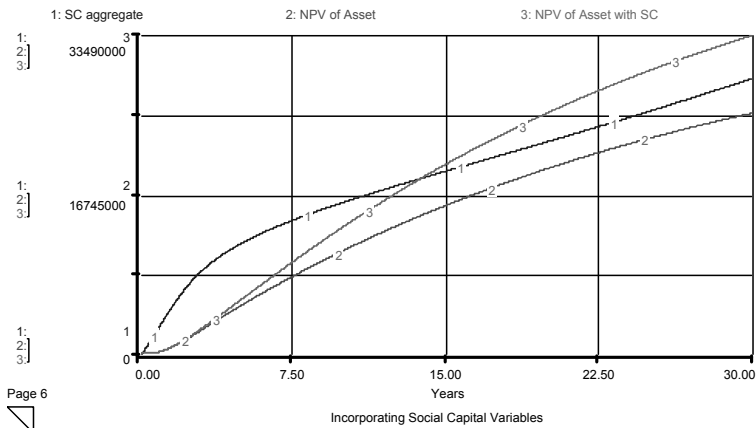
[그림 5] 성계의 가격변화: 기존모형(1), 사회자본 확장모형(2)



[그림 6] 당기순이익의 변화: 기존모형(1), 사회자본 확장모형(2)

개체수의 증가에 따른 수확량의 증가가 가격과 당기순이익에 미치는 영향은 [그림 5]와 [그림 6]에 제시된 바와 같다. [그림 5]에서는 수확량의 증가로 인해 동적 안정상태의 가격이 1,991원(기존모형, 1)에서 1,737원(확장모형, 2)으로 12.8% 하락하고 있으나, 물량의 증가로 인해 당해 시점의 순이익의 변화는 708,759천 원(기존모형, 1)에서 1,317,320천 원(확장모형, 2)로 85.9% 확대되고 있다.

[그림 7]에서는 사회자본과 자산가치의 증가과정을 묘사하고 있는데, 사회자본의 경우 주어진 시물레이션 기간 동안 현재 수준보다 2.7배 상승하고 있으며, 앞선 그림에서 당기순이익의 증가로 인해 할인된 누적소득은 기존모형(Line 2)보다 증가폭이 더 크다. [그림 3]부터 [그림 6]까지 생태경제적인 동적 안정상태는 상당히 빨리 이루어짐에도 불구하고 [그



[그림 7] 사회자본의 축적(1)과 자산가치의 변화: 기존모형(2), 사회자본 확장모형(3)

림 기에서는 지속적인 상승이 관찰되나 소득 등이 정체되고 주어진 할인율(4%)에 따라 장기의 수익은 0에 가깝게 할인되므로 장기적으로 수렴한다.

지역주민 소득의 수렴결과는 기존 모형의 경우 이미 서론에서 밝힌 바와 같이 대략 374억 원(37,375백만 원)이며, 사회자본 확장모형의 경우 약 503억 원(50,315백만 원)으로서 34.6%가 증가한 결과를 보인다. 이상과 같은 결과는 사업이 영구적으로 시행되었을 경우의 자산가치로서, 사회적 변화를 고려하지 않은 경우보다 사회적 변화에 의한 경제적 가치의 증가에 대한 하나의 사례라고 할 수 있다.

VI. 결론

이상과 같이 본 논문은 금강 지천을 대상으로 진행되는 참깨 목장화 사업의 경제성 평가를 수행함에 있어서 기존의 모형과 사회자본을 고려한 확장모형이 보이는 동적 행태의 차이를 제시하였고 사회적 변화가 야기시킨 경제적 편익의 효과를 추정하였다. 이를 위해 본 논문에서는 선행연구에서 제시된 금강 목장화 사업의 시스템 모형을 기반으로 사회자본의 확장구조에 따라 금강 지천에서의 생태-경제-사회 통합모형을 도출하고 시뮬레이션을 수행하였다.

분석결과 목장화 사업에 따른 지역주민의 자산가치 상승은 소득원을 보전하려는 공동의 노력을 통해 사회자본을 축적시키며, 이러한 노력의 결과로서 수질개선을 통해 참깨의 개체수 증가와 소득증가라는 선순환 구조를 창출할 수 있음이 밝혀졌다. 구체적으로 수질개선이 과거 오염 이전으로 회복하는 이상적인 경우, 개체수(생물자원량)는 최대 60%까지 증가시킬 수 있으며 80%가 넘는 당기순이익의 증가를 통해 자산가치의 상승분은 36%에 이르는 것으로 추정되었다. 그러나 이와 같은 추정치는 오염 이전으로 수질을 회복시키는 다소 이상적인 동적 안정상태에 의존한 결론이므로, 이 추정치는 동 사업에 있어서 사회자본의 축적이 경제적 편익을 증가시킬 수 있는 상한값으로 받아들여져야 할 것이다.

이상과 같은 분석을 통해 본 논문은 사회자본의 축적과 경제 및 환경적인 상호작용에 대한 선구적인 실험을 수행함으로써 관련연구에 공헌점이 있다고 할 수 있다. 더욱이 사회자본의 축적이 경제적 편익으로 연결될 수 있다는 많은 이론적인 논의에도 불구하고 이를 실제적으로 접근한 연구는 거의 없으므로 본 논문이 이러한 연구에서 갖는 의의는 크다고 할 수 있다. 그러나 본 논문은 사회자본의 실제적 접근을 위한 많은 한계를 드러내기도 하였다. 특히 사회자본과 경제계의 연결과정에서 선행연구의 부족함은 물론 필요한 다양한 정보들에 있어서 추정의 한계로 인해 일부 가정치를 활용하기도 하였으며 그 결과 분석결과

의 엄밀성에 다소 제약이 존재하기도 하였다. 이상과 같은 문제점을 보완하여 보다 엄밀한 모델링과 연구결과를 제시하는 것은 추후 과제로 남기기로 한다.

【참고문헌】

- 김혜인 · 전대욱. (2009). “지속가능발전 모델링에 있어서 사회자본의 도입: 세 편의 시스템 다이내믹스 모델에 대한 제언”. 『한국시스템다이내믹스연구』 제10권 3호: 25-45.
- 신현욱 · 김현우. (2007). 『금강 목장화 사업 추진방안 연구용역 보고서』 충남도청 · 부경대학교 수산과학연구소.
- 전대욱 · 정희성. (2010). 동적 균형상태를 중심으로 본 금강 지천의 참게자원 분석. 『한국시스템다이내믹스연구』 제11권 1호: 27-63.
- 정희성 · 전대욱. (2005). “생태계 복원사업의 생태 · 경제 통합체계 동태모형 분석 - 한국 주요 하천의 참게 복원사업을 중심으로”. 『국토계획』 제40권 7호: 165-184.
- 정희성 · 전대욱. (2006). “생태계 복원사업의 생태경제 통합체계 동태분석(2) - 임진강 참게 복원사업의 확장모형”. 『한국시스템다이내믹스연구』 제7권 2호: 97-120
- 최종렬, 2004. 신뢰와 호혜성의 통합의 관점에서 바라본 사회자본: 사회자본 개념의 이념형적 구성. 『한국사회학』 제38(6): 97-132
- Boumans, R., R. Constanza, J. Farley, M. Wilson, R. Portela, J. Rotmans, F. Villa, M. Grasso, 2002. Modeling the dynamics of the integrated earth system and the value of global ecosystem services using the GUMBO model. *Ecological Economics* 41: 529-560.
- Patterson T., T. Gulden, K. Cousins, E. Kraev, 2004. Integrating environmental, social and economic systems: a dynamic model of tourism in Dominica. *Ecological Modeling* 175: 121-136.
- Putnam, R., 2000. *Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community*. NY: Simon & Schuster.
- Zucker, L., 1986. Production of Trust: Institutional Sources of Economic Structure, 1840-1920. *Research in Organizational Behavior* 8: 53-111.

【부록: System Equations】

$$\begin{aligned}
&NPV_of_Asset(t) = NPV_of_Asset(t - dt) + (F_Depriciated_Annual_CF) * dt \\
&INIT\ NPV_of_Asset = 0 \\
&F_Depriciated_Annual_CF = R_Revenue/((1+P_IR)^{TIME}) \\
&P1(t) = P1(t - dt) + (F_Birth + F_Planted - F_Matured - F_Cannibalized) * dt \\
&INIT\ P1 = 0 \\
&F_Birth = P_b1*P2 \\
&F_Planted = P_alpha \\
&F_Matured = P_d1_equals_b2*P1 \\
&F_Cannibalized = P_e*P1*P2 \\
&P2(t) = P2(t - dt) + (F_Matured - F_Death_ \& _Harvested - F_Sacrificed) * dt \\
&INIT\ P2 = 0 \\
&F_Matured = P_d1_equals_b2*P1 \\
&F_Death_ \& _Harvested = P_d2_plus_c*P2 \\
&F_Sacrificed = P_k2*(P2^2) \\
&P_b1(t) = P_b1(t - dt) + (F_P_b1) * dt \\
&INIT\ P_b1 = 0 \\
&F_P_b1 = (2.8579-P_b1)*R_Protection/5 \\
&SC_Network(t) = SC_Network(t - dt) + (F_SCN) * dt \\
&INIT\ SC_Network = 1 \\
&F_SCN = (SC_Reciprocity*SC_Network-1)*DT \\
&SC_Reciprocity(t) = SC_Reciprocity(t - dt) + (F_SCR) * dt \\
&INIT\ SC_Reciprocity = 1 \\
&F_SCR = (NPV_of_Asset-delay(NPV_of_Asset,1))/(IF(NPV_of_Asset<1) \\
&\quad THEN(1)ELSE(NPV_of_Asset))/5*SC_Network \\
&V(t) = V(t - dt) + (F_price) * dt \\
&INIT\ V = 2500 \\
&F_price = IF(V-0.0295*R_delta_CP2*V<1000)THEN(1000-V) \\
&\quad ELSE(-0.0295*R_delta_CP2*V) \\
&P_alpha = 2753
\end{aligned}$$

$$P_d1_equals_b2 = 0.4306$$

$$P_d2_plus_c = 0.8$$

$$P_e = 0.0005911$$

$$P_IR = 0.04$$

$$P_k2 = 0.4306/963.3$$

$$P_U1 = 300$$

$$R_Cost = P_alpha * P_U1$$

$$R_delta_CP2 = DERIVN(F_Death_ \& _Harvested, 1) * DT$$

$$R_Net_Profit = R_Revenue - R_Cost$$

$$R_Protection = 1 * SC_aggregate$$

$$R_Revenue = V * F_Death_ \& _Harvested$$

$$SC_aggregate = SC_Network * SC_Reciprocity$$

$$SC_aggregate_ \% = SC_aggregate * 100$$