

북극의 기후변화로 인한 생태계변화의 경제적 가치추정

강희찬* · 김효선**

요약 : 2015년은 기후관측이 시작된 이래 평균기온이 최고치를 기록한 해이다. 특히 북극은 어느 지역보다도 빠른 속도로 온난화가 진행되고 있어, 빙하가 계속 감소추세¹⁾에 있다. 이러한 북극의 급격한 기후변화는 해수면의 상승은 물론 북극의 생태계 균형까지 위협할 뿐만 아니라 한국을 비롯한 중위도권 겨울한파의 원인으로 지목되고 있다. 생물다양성은 기후변화생태시스템의 복잡한 상호관계를 함축적으로 나타내는 생태학적 개념으로, 본 논문에서는 이를 북극에 적용하여 북극이 보유하고 있는 생물다양성에 대한 경제적 가치를 대한민국 시민을 대상으로 조건부가치추정 방식을 시도하였다. 분석 결과, 북극 생물다양성 개선을 통해 대한민국 시민이 얻는 총 편익은 최소 연간 3,186억 원에서 최대 7,159억 원 정도인 것으로 추정되었다. 본 연구는 생물다양성에 대한 속성을 세부적으로 분류하는데 의도가 있는 것이 아니라 기후변화에 따라 훼손될 우려가 있는 북극의 생태계 전반에 대한 가치평가에 그 목적이 있다. 따라서 북극이 제공하는 생태서비스와 생물다양성을 각기 다른 속성으로 구분할 경우 그 경제적 가치는 본 연구에서 제시하는 편익과 상이할 수 있다.

주제어 : 조건부가치추정, 생물다양성, 북극, 겨울한파

JEL 분류 : H54, Q53, Q58

접수일(2016년 5월 2일), 수정일(2016년 6월 10일), 게재확정일(2016년 6월 25일)

* 인천대학교 경제학과 조교수(e-mail: henrykang@inu.ac.kr)

** 극지연구소 미래전략실 선임연구원, 교신저자(e-mail: hyosun@kopri.re.kr)

1) 1980년 이후 10년마다 11%씩 감소하고 있음

Economic Valuation of the Biodiversity-Related Changes in Ecosystem Services of the Arctic Caused by Climate Change

Heechan Kang* and Hyo-Sun Kim**

ABSTRACT : According to the recent observation by NOAA(US National Oceanic and Atmospheric Administration), 2015 is the warmest year based on global average temperature since 1880. The air temperatures in the Arctic have been rising at almost twice the global average and the extent and thickness of sea ice in the Arctic have declined. And the warming process in the Arctic is accelerating rapidly. These impacts of drastic change in sea ice caused by climate change in the Arctic threaten the eco-system service and biodiversity in the Arctic. This study intends to estimate the economic value on changes in eco-system services and biodiversity of the Arctic caused by climate change. The result of the valuation indicates that the total benefit from improvement of ecosystem in the Arctic ranges from 318.6 billion won to 715.9 billion won per annum. Replication scenarios can be explored into two broad categories in future studies: scenarios in consideration of conflicts of different stakeholders and scenarios based on wider or narrower definition of biodiversity in the Arctic.

Keywords : Contingent Valuation, Biodiversity, Arctic, Cold wave

Received: May 2, 2016. Revised: June 10, 2016. Accepted: June 25, 2016.

* Professor, Incheon National University(e-mail: henrykang@inu.ac.kr)

** Senior Economist, Korea Polar Research Institute, Corresponding author(e-mail: hyosun@kopri.re.kr)

I. 서론

2015년은 기후정책에 있어 의미가 큰 해이다. 국내 기후정책 차원에서는 배출권거래제가 도입되어 시장메커니즘이 온실가스감축의 중심 기능을 발휘하게 되었으며, 대외적으로는 파리합의문이 채택되면서 2020년 이후의 신기후체제가 탄생하게 되었다. 파리합의문은 지구의 온도를 산업화 이전과 비교할 때 평균기온 상승을 1.5도 이하로 제한하자는 선언적 목표와 함께 당사국이 스스로 감축목표를 결정하는²⁾ 자발적 행위에 기반을 둔다. 그 배경에는 지역별로 기후변화의 피해가 상이하고, 이상기후 현상 또한 다양해지면서 전지구적 탄소 순환계에 대한 관심이 고조되었기 때문이다. 탄소의 순환은 수억 년에 걸쳐서 일정한 속도로 계속되어 왔지만 최근 수십 년 사이에 인류의 경제활동에 따른 에너지사용 증가에 의하여 탄소순환의 교란이 점차 가속화되고 있다. 지역별로 북극과 남극의 온도상승은 어느 지역보다도 더 빠른 것으로 나타났는데 이는 해수면 상승은 물론 북극과 남극의 생태계 균형까지 위협하고 있다.

Alvarez et al. (2015)의 연구에 의하면, 기후변화, 특히 북극과 같은 고위도 지역에서 온도상승은 지구를 감싸고돌고 있는 극지 소용돌이현상(Polar Vortex)에 영향을 주어 북반구의 이상기후 현상을 더욱 심각하게 악화시키는 결과를 초래한다. 물론 현재의 온난화현상에 대해 반론을 제기하는 연구도 다수 있다. 예를 들면 Kukla et al. (2002)와 Dodge et al. (1983) 및 Stuiver et al. (1991)의 과거기후변화 기작연구는 현재보다 최대 간빙기의 기온이 0.5~2°C 높았고 해수면도 약 6m 높았다는 주장이 가능하다.

그러나 현재의 기후변화 추이는 온도상승이나 하락의 단순한 방향성이 문제가 아니라 기후변화의 변동성과 관련한 불확실성이 크다는 데 관심이 집중되고 있고, 북극과 남극의 해빙이 이러한 불확실성을 증폭시킨다는 점이다. 게다가 기후변화 변동성 문제는 인간을 포함한 생태계에 직간접적으로 상호작용을 통하여 불균형을 초래할 우려가 증폭되고 있다.

생물다양성(biodiversity)은 바로 이러한 기후변화-생태시스템의 복잡한 상호관계를 함축적으로 나타내는 생태학적 개념이다. 생물다양성은 리우 지구정상회의(Earth

2) INDCs(Induced Nationally Determined Contributions)

Summit)의 주요성과로, 생물다양성협약(Convention on the Biological Diversity)이 1992년 채택되면서 주목을 받기 시작하였다. 생물다양성협약은 산업혁명 이후 생물종 감소와 생태계 파괴가 가속화됨에 따라, 생물다양성 보전 필요성에 대한 범지구적 공감대가 형성됨에 따라 기후변화협약, 사막방지협약과 함께 3대 환경협약으로 자리를 잡게 되었다.

본 연구에서 생물다양성과 기후변화를 북극에 초점을 맞춰 접목한 배경은 바로 기후변화 현상이 북극에서 더욱 가속화됨에 따라 북극의 생물다양성문제가 복잡하게 전개되기 때문이다. 특히, 북극의 생태계 변화와 생물다양성 이슈는 북극권에 거주하는 원주민들의 생활과 밀접하게 연결되어 있어, 이해관계의 접점이 군사, 경제, 사회적 이슈로 점차 확대되고 있다. 또한, 북극의 온난화가 가속화되는 원인(cause)과 그 결과(consequence)에 대한 책임(responsibility)에 대해 북극권국가와 비북극권국가 사이에 인식의 차이가 상당히 크다. 예를 들어, 북극의 기온상승으로 연어의 서식지가 남하하면서 북극곰의 개체수가 감소하는 현상은 지역주민인 북극원주민의 생계에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 글로벌 관점에서 볼 때 이 현상은 전반적인 생태서비스의 구성이 변화한다고 인식된다. 이와 같이 북극의 기후변화로 인한 생물다양성 기반 생태서비스는 그 대상과 주체에 따라 인식의 차이가 발생한다. 특히 IPCC 제 5차 보고서³⁾에서는 북극의 기후변화 문제가 자연적인 현상은 물론 사회적인 시스템 변화까지 가져온다고 경고하고 있다. 특히 북극의 기후변화 문제는 글로벌화(globalization)되고 있는 자원개발사업 등의 경제행위가 북극원주민의 식품안전(food security)을 위협하는 등, 온난화를 가속화하는 주체와 기후변화 위험(risk)에 노출되는 주체 간의 문제의식 차이(gap)도 정책적으로 해결해야 할 과제로 지적하고 있다.

최근 극지연구소(2015)에서 실시한 설문자료는 기후변화와 생물다양성이 일반시민에게 가장 중요한 북극이슈임을 입증하고 있다. 즉, 설문자료에 의하면 극지에 대한 경험 및 인식이 ‘자연생태 및 환경에 관심이 있어’가 응답자 전체의 48%, ‘기후변화에 관심이 있어’가 응답자 전체의 41%를 차지하는 것으로 나타남에 따라 기후변화와 생태시

3) IPCC(2014), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability의 28장 p1570에서 북극의 기후변화영향은 물리적, 생물학적 변화는 물론 경제·사회적(socio-economic) 영향이 지리적, 문화적, 경제적 개발 이슈와 상호 연계되어 있음을 지적하고 있음.

시스템에 대한 관심이 주를 이루고 있다. 이처럼 북극의 기후변화와 생물다양성 관점에서의 중요성에 대한 인식은 점차 높아지는 반면, 북극의 생물다양성과 생태서비스에 대하여 대한 경제적 가치를 추정하는 연구는 많지 않은 것이 현실이다.

본 연구는 기후변화를 북극의 생물다양성이 변화하는 원인 중의 하나로 인식한 상태에서 출발하여 한국 시민들이 판단하는 북극 생물다양성에 대한 경제적 가치를 조건부 가치측정법(CVM, Contingent Valuation Method)을 이용하여 추정하고자 한다.

북극의 생물종 다양성이 인간에게 제공하는 서비스와 가치의 개념은 크게 공급 서비스와 문화 서비스로 나눌 수 있다. 공급 서비스는 북극 생물종이 식량과 원료 등을 통해 인간에게 직접 제공하는 것이다. 예를 들어 유라시아와 북아메리카에 서식하는 북극 사슴은 지역 원주민들에게 육류와 가죽을 제공한다. 또한 북극 지역의 상업용 어업은 이 지역에 가장 큰 소득원이 되고 전세계 어획량에 상당한 비중을 차지한다. 북극 생태계가 제공하는 문화 서비스는 지역민들의 삶의 방식을 뒷받침하는 것으로, 최근에는 외지인의 크루즈 여행, 여가 활동과 스포츠 사냥을 위한 목적으로도 더 활발히 이용된다. 그러나 이러한 편익이외에도, 북극을 직접 경험하지 않더라도 북극의 생물종이 단순히 존재하는 그 자체만으로도 사람들이 평가하는 편익 즉 비사용가치(Non-use value)가 존재한다. 특히 북극 등 인간의 손길이 닿지 않는 오지나 극지의 생물종 다양성이 점차 희소해지면서, 이러한 가치는 지속적으로 증가한다.

한국 시민의 북극 생물다양성의 보존과 활용에 관해 직접적 사용가치는 극히 미미하다. 그러나 ‘비사용가치(Non-use value)’ 측면에서 북극의 생물다양성 보존과 활용에 대한 경제적 가치는 분명히 존재한다. 따라서 본 연구는 북극 생물다양성에 관한 비사용가치 혹은 존재가치 측면에서, 이들의 경제적 가치를 추정하는 것을 목표로 한다. 사용가치는 개인이 환경재를 물리적으로 이용하기 때문에 환경재에 부여하는 가치인 반면, 비사용가치(존재가치)는 개인이 물리적으로 환경을 이용하지 않음에도 불구하고 환경재에 대해 부여하는 가치이다(권오상, 2013). 북극 생물다양성에 대해 비사용가치가 존재한다는 것은 한국 등 북극의 생물다양성에 직접적 편익이 없는 국가들이라 하더라도, 이를 위해 글로벌 협약 참여, 공동 연구 개발 등에 참여하고 있다는 측면에서 간접적으로 비사용가치가 있다는 것을 간접적으로 증명하고 있는 것이다. 이와 같은 비사용가치와 관련하여, EcoReources (2011)의 연구는 캐나다의 북극곰에 대하여 경제사회적 의미를

스포츠헌팅과 생존을 위한 헌팅, 동물원 방문을 위한 가치와 초자연 하에서의 북극곰의 상징적 가치, 캐나다 시민에 대한 아이콘적 가치와 과학 및 교육차원의 가치 등등에 대하여 각각 경제적 의미가 상이함을 분석하였다. EcoResources (2011)의 연구결과 중에서 주목할 만한 결과는 캐나다 시민들이 북극곰에 대한 가치를 상징적인 개체에 대해 존재의 가치(existence value)와 유증적 가치(bequest value)를 달리 구분하고 있다는 것이다.

북극 생물다양성은 식량과 사냥을 목적으로 이뤄지는 남획이나, 다양한 질병 등의 영향, 천연자원 개발, 도로나 항만 등의 인프라 확대나 도시화의 영향으로도 개체수가 감소할 수도 있다. 그러나 본 논문은 대한민국 시민들이 평가하는 북극 생물다양성의 비사용 가치를 추정함에 있어, 이들 북극 생물다양성을 기후변화의 영향과 연관 지어 평가하고 있다는 특징이 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 이론적 배경 및 기존 연구를 리뷰하고, 3장에서는 설문 설계 및 표본을 설명한다. 4장에서는 추정모형을 구축하고, 5장에서는 추정결과를 분석한다. 마지막으로 6장에서는 시사점을 도출하고, 연구의 한계를 밝힌다.

II. 이론적 배경 및 선행연구

극지와 관련한 최근 생물다양성 연구 중에는 Groeneveld et al. (2015)이 대표적이다. Bartkowski, et al. (2015) 연구에서는 생물다양성의 경제적 가치 추정은 그 대상을 어떻게 설정하느냐, 즉, 프록시(proxy)를 무엇으로 선택하느냐에 따라 그 가치가 달라지므로 크게 협의의 생물다양성과 광의의 생물다양성을 대별해야 함을 강조하고 있다. 즉, 생물다양성이 종다양성 또는 서식지로 단순하게 정의됨에 따라 생태시스템이 보유하는 구성요건에 대한 다양성이 종종 경제적 가치에서 배제되는 경우를 지적하고 있다. 이는 생물다양성에 대한 개념을 보다 확대해야 하고 생물다양성의 변화에 대한 해석 또한 생물다양성의 인과관계 규명에서 정치·경제·사회적 의미로 좀 더 다양해져야 함을 시사한다.

특히, 극지에 대한 생물다양성 연구는 기후의 급격한 변화로 인한 특정 종에 대한 서식지의 변화와 개체군의 수가 변화에 집중된 연구가 아직 대부분이다. Groeneveld et al. (2015)의 연구는 남극지역의 크릴새우가 지구온난화로 해빙의 주기와 공간적 분포의 변

화로 개체수가 변화하는데 초점을 맞추어 해빙과 크릴새우의 개체수 간에 인과관계가 있음을 규명하였다. EcoResources (2011)의 연구는 캐나다의 북극곰에 대하여 경제사회적 의미를 스포츠헌팅과 생존을 위한 헌팅, 동물원 방문을 위한 가치와 초자연 하에서의 북극곰의 상징적 가치, 캐나다 시민에 대한 아이콘적 가치와 과학 및 교육차원의 가치 등에 대하여 각각 경제적 의미가 상이함을 분석하였다. EcoResources의 연구결과 중에서 주목할 만한 결과는 캐나다 시민들이 북극곰에 대한 가치를 상징적인 개체에 대해 존재의 가치(existence value)와 유물적 가치(bequest value)를 달리 구분하고 있다는 것이다.

이러한 연구는 생물다양성의 대한 정의를 특정 개체로 한정하고 있지만 그 개체에 대한 포괄적인 의미를 각각의 의미로 세분화했다는 점에서 의의가 있다. 반면 McDowell and Ford (2014)의 연구는 그린란드의 유가스전 개발에 대하여 사회-생태학적 의미와 위험요인(risks)에 대하여 분석함으로써, 지역주민의 관점에서 자원개발의 시기와 지역을 결정하는데 생물다양성에 대한 경제적 가치가 고려되어야 함을 주장하고 있다. 이러한 분석은 바로 본 연구와 같이 북극에 대한 연구의 필요성을 피력하는데 있어 현재 북극이 보유하고 있는 천연자원과 대등하게 생태서비스에 대한 가치가 평가되어야 한다는 점에서 맥락을 같이 하고 있다. 이밖에 Ebinger and Zambetakis (2009)는 북극의 해빙과 관련한 이슈를 지정학적인 관점에서 분석함으로써, 해빙에 따라 심화될 수 있는 군사외교적 문제와 북극원주민과 본토 국민 간의 이해상충 문제를 부각시켰다.

북극 및 그 주변 지역 거주자(혹은 원주민)가 평가하는 북극의 생물다양성에 관한 가치와 북극 생물다양성이 제공하는 환경재와 서비스를 직접 향유하지 않는 사람들이 내리는 평가에는 분명 차이가 발생한다. 북극 및 그 주변 지역 거주자들은 북극 생물다양성이 제공하는 식량이나 원료로서의 가치나 문화와 여가를 위한 가치를 가지고 있으며, 이러한 북극 생물다양성을 직접 경험하지 않는 사람들이라 하더라도 북극의 생물다양성이 존재한다는 것 자체에서 유발된 비사용가치는 공유하게 된다. 물론 이러한 비사용가치의 크기는 북극 및 그 주변 거주자들과 북극의 생물다양성을 직접 경험하지 않는 사람들 간에 같다는 보장은 없다. 그러나 기존 연구에서는 대체로 북극 및 그 주변 지역 거주민들이 평가하는 사용가치에 대한 연구가 주를 이룬다(Anisimov et al., 2007; Larsen et al., 2008; Wenzel, 2009; Huntington et al., 2013; Diaz et al., 2015). Larsen et al. (2008)에

서는 기후변화로 인한 위험도 증가로 미국 알래스카주 기반시설(Infrastructure)에 대한 미래 비용을 추정하였다. Wenzel (2009)은 북극 연안지역주민이 사냥이나 채집을 통해 얻는 사용가치를 추정하면서, 이를 통해 얻는 식량을 수입할 경우 얼마의 비용이 소요되는지를 추정하는 방식을 통해 간접적으로 추정하였다. Huntington et al. (2013)에 따르면, 북극 지역의 상업용 어업은 국가적 그리고 지역의 주요 수입원이며, 이 지역에서 공급되는 어획량은 전세계 어획량의 10%를 차지한다고 주장한다. Cheung et al. (2010)에 따르면, 기후변화로 인한 글로벌 어획고의 분포가 변하고 있으며, 고위도 지역에서는 30~70%가 증가하였고, 적도지역은 40%이상이 감소하였다고 주장한다.

Hahn and Passel (2008)⁴⁾의 연구는 미국 알래스카 유전개발에 따른 비용편익 분석(B/C Analysis)을 진행하면서, 유전개발에 따른 알래스카 지역의 생물다양성 파괴에 따른 사회적 비용⁵⁾ 중 감소되는 비사용가치를 추정하였다. 이 추정에 따르면, 알래스카 주민이 평가하는 비사용가치 감소는 약 110억 달러로, 전체 사회적 비용의 약 5.4%를 차지하는 것으로 나타났다. Armstrong et al. (2015)⁶⁾은 이산선택실험(discrete choice experiments)을 이용하여, 서로 다른 어업방식에 따른 노르웨이 북극해 지역 해양생물종의 비사용가치에 미치는 영향을 추정했으며, 비사용가치를 고려해야만 최적의 해양생물종 규모 관리가 가능하다고 주장하였다.

이처럼 기존 연구는 북극 지역 및 주변 지역 주민들을 중심으로 북극의 생물종다양성에 대한 사용가치와 비사용가치를 추정하고 있으며, 기후변화로 인한 사용가치의 하락에 대해서는 가능성 측면에서만 접근하고 있다(CAFF, 2015). 그러나 저자의 지식으로는 기존의 어떠한 연구도 한국 국민과 같이 북극 및 주변 지역외의 사람들이 평가하는 북극의 생물종 다양성의 비사용가치를 추정하지 않았고, 더욱이 기후변화로 인해 그 비사용가치가 변화하는 것을 추정한 논문은 없다. 본 논문은 그러한 기존 논문의 한계를 인식하고, 이 부분에 관해 한국 국민이 평가하는 기후변화로 인해 위협받는 북극의 생물종 다

4) Hahn, R. and P. Passel (2008), "The Economics of Allowing More Domestic Oil Drilling," *Energy Economics*, pp. 1-33.

5) 전체 사회적 비용에는 직접 비용, 사용가치 감소, 비사용가치 감소, 온실가스 비용, 지역 대기오염, 교통혼잡, 교통사고 등이 포함되어 있다.

6) Armstrong, C. W., V. Kahui, G. K. Vondolia, M. Aanesen, and M. Czajkowski (2015), "Use and Non-use values in an applied bioeconomic model of fisheries and habitat connections," Working papers. No.37/2015(185), University of Warsaw

양성의 비사용가치를 추정하고자 한다.

한편, 본 논문에서 사용하는 ‘북극의 생물다양성’ 개념 내에는 생물종 그 자체뿐만 아니라 서식지와 생태계서비스 개념까지 포함하는 포괄적인 개념이다. 생물다양성은 야생동식물의 다양함과 풍부함이 가장 중요한 개념이다. 이러한 생물종 그 자체에는 우리에게 친숙한 생물종이 있을뿐만 아니라 멸종위기종도 포함한다. 뿐만 아니라 생물다양성에는 서식지가 포함되어야 한다고 주장하는 연구들도 많다(Arts et al., 1990). 왜냐하면 서식지는 생물이 생존하고 후손을 생산하는 공간이 되기 때문이다. 마지막으로 생물다양성에는 생태계서비스까지 포함한다(Steneck and Dethier, 1994; Herrear et al., 1997). 여기서 생태계서비스는 자연의 균형을 유지시켜주는 일련의 과정으로, 인간에게 미치는 영향을 기준으로 인간에게 직접 영향을 주는 서비스(홍수 조절, 수질 정화, 공기 생산)와 간접적으로 영향을 주는 서비스(지구온난화 억제, 영양분 공급 등)로 구분된다.

한편, 본 연구에서 활용하는 CVM은 사람들이 비시장재에 부여하고 있는 가치를 직접적으로 이끌어내는 방법이다. 즉, CVM은 일대일 면접조사, 우편조사 혹은 전화 인터뷰를 통해 사람들이 갖고 있는 비시장재에 대한 가치를 설문하는 방식을 사용하고 있다. 특별히 고안된 설문지는 비시장재의 변화에 대한 가상의 상황을 설정하고 여러 조건들을 달아 사람들을 설정된 가상의 상황에 결합시키는데 이런 조건하에서 응답자들은 비시장재의 가상의 변화에 대해서 어느 정도 지불의사(willingness to pay; WTP)가 있는지를 답변하게 된다.

CVM은 후생경제학의 이론적 근거에 기반을 두고 있고, 간접적 방법을 적용할 수 있는 대상에는 물론, 간접적 방법을 적용할 수 없는 대상에도 다양하게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 양분선택형 질문법(Dichotomous Choice Question)을 사용하였다. 양분선택형 질문법은 Hanemann (1984)에 의하여 알려진 후 최근의 CVM 연구에서 널리 사용되어 왔다. 양분선택형 질문법은 응답자에게 연구대상재화에 대해 특정 금액에 대한 지불의사 여부를 ‘예/아니요’로 물음으로써 실제 시장의 상황을 모방한다는 측면에서 상당히 유인-일치적(incentive-compatible)이다. 이 때 WTP 질문에서 응답자에게 제시되는 금액은 본 설문 이전의 사전조사(pre-test)를 통해 결정된다. 양분선택형 질문법은 응답자가 대답하기 용이하여 응답률이 높고, 출발점 편의(starting point bias)나 설문조사원 편의에 의한 영향이 적으며, 비합리적 지불의사가 발생할 가능성이

적고, 응답자의 전략적 행위를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

구체적으로 양분선택형 질문법은 미리 설정된 금액을 “대상 재화 공급의 대가로 지불할 용의가 있는가?”라고 물어보면, 응답자가 “예/아니오”로 대답하는 방식이다. 이 때 사전에 개방형 질문법으로 조사된 WTP 값을 이용하여 본 설문시 제시할 금액들을 결정하며, 이 금액들 중 임의로 한 가지 금액을 각 응답자에게 제시한다. 다만 각 금액들은 비슷한 수의 응답자들에게 배당된다. 응답자는 제시된 금액이 본인의 WTP보다 같거나 작으면 “예”라고 대답하고, 높으면 “아니오”라고 대답하게 된다. 이렇게 얻어진 자료를 이용하여 제시된 금액과 “예”라고 대답한 응답자의 비율을 분석함으로써 WTP의 대표값을 추정하게 된다.

양분선택형 질문법은 단일경계 양분선택형, 이중경계 양분선택형모형으로 나누어진다. 단일경계 양분선택형 모형은 한 번만 지불금액이 제시되는 방식이고, 이중경계 양분선택형 모형은 두 번에 걸쳐 지불금액이 제시되는데, 두 번째 제시금액은 첫 번째 제시금액에 대해 ‘예’라고 대답한 경우 첫 번째 제시금액의 2배가 되며, ‘아니오’라고 대답한 경우 첫 번째 제시금액의 1/2이 된다. 단일경계 양분선택형 설문의 결과는 일반적으로 프로빗(Probit) 모형이나 로짓(Logit) 모형을 활용하여 추정한다. 본 연구에서는 Probit 모형을 활용한다. 한편, 이중경계 양분선택형 설문의 결과는 크게 interval data 모형과 이변량 프로빗 모형(bivariate probit model)을 활용하여 추정한다. interval data 모형은 Hanemann et al. (1991)이 제안한 모형으로, 추정치의 편이는 적지만 추정량의 효율성(efficiency)을 높일 수 있는 추정방식으로, 이후 많은 연구에서 이 방식을 많이 도입하였다. 이변량 프로빗 모형은 Carmeron and Quiggin (1994)가 처음 제안한 모형으로, 응답자의 첫 번째 질문에 대한 WTP 분포가 두 번째 질문에 대한 WTP 분포 간에 서로 다를 수 있다는 가능성에 기반을 두고 있다. 이에 반해 interval data 모형은 응답자의 WTP의 분포가 첫 번째 질문과 두 번째 질문 사이에 동일하다는 강한 가정이 필요하다. 따라서 이변량 프로빗 모형은 이러한 강한 가정으로 인해 발행할 수 있는 편이(bias) 문제를 해결하기 위해 WTP 분포가 서로 다를 수 있다는 것을 전제한다. 즉, 두 분포 간에 상관계수(ρ)가 1과는 통계적으로 다르다는 전제 하에, 두 개의 서로 상관된 지불의사액(WTP)의 오차항들이 결합정규분포 한다고 가정한다. 이변량 프로빗 모형을 이용한 추정에서는 일반적으로 첫 번째 질문에서 얻은 지불의사액(WTP)의 기댓값과 두 번째 질문에서 얻

은 지불의사액(WTP)의 기댓값 둘을 얻게 된다. 따라서 연구자는 이 중에 어떤 지불의사액 기댓값을 사용할지 결정해야하는 단점이 있다.

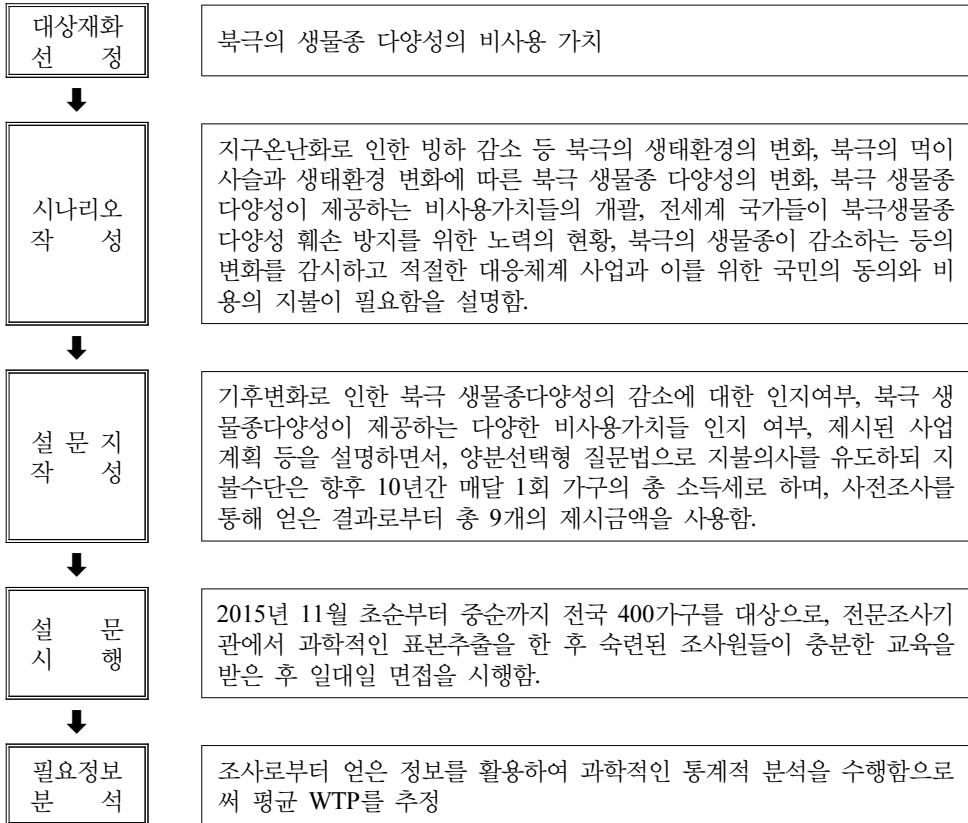
Cooper and Hanemann (1995)의 몬테칼로 모의실험(Monte Carlo simulation) 결과에 따르면, 편이와 비효율성의 합으로 구성되는 평균자승오차(mean square error)의 관점에서 이중경계 모형이 단일경계 모형보다 바람직하다고 주장한다. 또한 Alberini (1995)도 interval data 모형이 더 낮은 평균자승오차(MSE)를 보장함을 보였다. 또한 Banzhaf et al. (2004)는 interval data 모형으로 추정된 WTP가 일반적으로 참된 WTP 주변의 신뢰구간을 더 좁힐 수 있어서 더 보수적인 수치를 나타낸다고 한다. 이러한 문제를 해결하고자 Cooper, Hanemann and Signorelli (2002)가 제안한 ‘one and one half’ 경계 모형은 이중경계모형에서 발생하는 응답자들의 전략적 행동을 회피할 수 있는 동시에, 효율적 추정량을 보장해줄 수 있다는 측면에서 많은 주목을 받았다. 그러나 Bateman et al. (2006)에 따르면, 이 모형은 매우 중요한 절차적 불변성(procedural invariance) 기준을 만족하지 못할 뿐만 아니라 이중경계 모형에서 발생하는 전략적 행동 문제를 전혀 해결하지 못한다고 결론 내렸다.

그러나 기존 연구들에서는 단일경계 모형과 interval data 모형을 비교하여, 편이와 효율성 측면에서 비교하는 것에 그쳤다는 한계가 있다. 가장 일반화된 이변량 프로빗 모형과 이 둘 모형을 비교함으로써, 응답자들의 전략적 응답이 어떤 결과로 나타나는 지를 살펴보고자 한다. 따라서 본 연구에서는 북극 생태계서비스에 대한 이중양분형선택 설문 의 결과를 활용하여, 프로빗을 활용한 단일경계 모형의 추정치, interval data 모형을 활용한 이중경계 모형의 추정치, 그리고 이변량 프로빗 모형을 활용한 이중경계모형의 추정치를 함께 비교하여, 편이(bias)와 효율성(efficiency) 모두의 측면에서, 이중경계모형이 단일경계모형에 비해 어떤 장점이 있는지 살펴보고자 한다.

III. 설문 설계·표본 설명

본 연구의 CVM 실증연구 절차는 <그림 1>과 같다.

〈그림 1〉 본 연구에서의 CVM 실증연구 절차



설문조사 대상지역은 제주도를 제외한 전국을 대상으로 한다. 이것은 북극의 생물다양성의 비사용가치에 대한 일정 수준의 WTP를 얻기 위해서이다. 각 지역의 전체 인구를 대상으로 임의표본(random sample)을 도출하기 위해 각 지역 내의 인구 구성비를 고려하여 각 나이의 비율에 맞게 표본수를 할당하였다. 그리고 설문단위는 개인이 아닌 가구로 하여, 무작위 추출된 총 400 가구의 설문결과를 얻을 수 있었다. 설문조사는 전국 15개 광역지방자치단체 지역에 대해 2015년 11월 초순부터 중순까지 전문조사기관의 주관으로 실시되었다. 책임 있는 가구의 의견에 대한 정보를 얻기 위해 조사대상은 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 또는 세대주의 배우자로 한정하였다.

50개 가구에 대한 사전조사를 통해 얻은 제시금액은 1,000원부터 15,000원까지 총 9

개의 제시금액을 결정하였다. 이렇게 결정된 제시금액을 전체 응답자를 무작위로 구분한 9개 그룹에 각각 할당하였다. <표 1>에서는 피설문자에게 제시된 금액을 나타낸다. 각각의 제시금액별로 할당 인원수가 다소 차이가 나지만 크게 차이가 나지는 않는다.

<표 1> 피설문자에게 제시된 금액

첫 번째 제시금액	두 번째 제시금액		할당 인원수
	‘예’	‘아니오’	
1,000원	2,000원	500원	54
2,000원	4,000원	1,000원	58
3,000원	6,000원	1,500원	52
4,000원	8,000원	2,000원	43
5,000원	10,000원	2,500원	45
7,000원	14,000원	3,500원	38
8,000원	16,000원	4,000원	37
10,000원	20,000원	5,000원	39
15,000원	30,000원	7,500원	35

실제 설문에서 사용된 문항은 아래와 같다. 설문대상으로 가구를 선택했으며, 지불수단은 10년 동안 소득세를 매달 기준으로 납부하는 방식으로 선택하였다.

귀하의 가구는 기후변화로 인한 북극의 서식지 감소와 북극 생물의 종류와 개체 수 변화를 감시하고, 이를 막기 위한 적절한 대응체계를 수립하기 위하여 가구 당 향후 10년 간 매 달 (1,000원, 2,000원, 3,000원, 4,000원, 5,000원, 7,000원, 8,000원, 10,000원, 15,000원)의 금액을 지불할 의향이 있으십니까?, 이 금액은 세금(소득세)의 형태로 부과됩니다.

1. 예

2. 아니오

IV. 추정 모형

본 논문은 기후변화로 인해 영향을 받는 북극 생물종다양성의 개선을 위해 대한민국 국민들이 평가하는 지불의사액(WTP, Willingness to pay)을 추정하는 것이다. 이를 위해 이번 절에서는 조건부가치추정법의 맥락에서 지불의사액 함수의 계량경제학적 모형을 구축한다.

1. 추정방법

조건부가치추정법의 목적은 특정 재화나 서비스의 질적변화에 대한 개별 지불의사액(WTP)을 추정하는 것이다. 그래서 여기에서는 지불의사액(WTP)함수를 추정하는 방법론을 기술하기로 한다.

가. 지불의사액 추출 방법

조건부가치추정법은 직접 질문을 통해 지불의사액에 관한 정보를 복원하는 방식이다. 여기서 지불의사액 정보를 추출하는 조건부가치추출법에 관한 방법론은 여러 가지가 있다. 여기에는 개방형질문(open-ended question), 입찰게임방식(bidding game), 지불카드방법(payment card), 폐쇄형 단일양분경계질문(closed-ended single-bounded dichotomous choice question), 폐쇄형 이중양분경계질문(closed-ended double-bounded dichotomous choice question) 등이 있다. 이중에 폐쇄형 양분경계선택질문 방식이 최근 큰 신뢰를 받으며 널리 이용되고 있다(Haab and McConnell, 2002). 그래서 본 논문에서는 단일양분경계선택질문과 이중양분경계선택질문을 이용한다.

단일양분경계선택질문에서는 설문에서 응답자가 북극의 생물종다양성 수준의 개선에 따른 소득세 증가를 기꺼이 받아들일지에 대해 물어보는 것이다. 이 설문방식에서는 각 개인에게 하나의 제시금액(*bid*)이 주어지고, ‘예’ 혹은 ‘아니요’로 답하게 한다. 만일 개인이 ‘예’라고 답했다면, 이는 그의 지불의사액이 제시된 금액보다 크다는 것을 의미하지만, 반면에 ‘아니요’라고 답했다면, 그의 지불의사액이 제시된 금액보다 작다는 것을 의미한다. 한편, 이중양분경계선택질문에서는, 설문에서 응답자가 대답한 첫 번째 양

분형 질문(예/아니오)에 따라 두 번째 양분형 질문이 다시 주어진다. 이 두 번째 질문에서 만일 응답자가 첫 번째 질문에서 ‘예’라고 답했다면, 더 높은 제시금액이 주어지지만, 반면 응답자가 첫 번째 질문에서 ‘아니오’라고 답했다면, 첫 번째 제시금액보다 더 낮은 금액이 주어진다.

나. 단일양분경계선택모형을 통한 추정 방법

개인 i 에 대한 지불의사액 함수로 나타내면 다음과 같다.

$$WTP_i = x_i\beta + \epsilon_i \quad (1)$$

단일양분경계선택의 설문에서, 개인의 지불의사액(WTP_i)이 주어진 제시금액(bid_i)보다 클 경우에는 ‘예’라고 답할 것이고, 만일 제시금액보다 개인의 지불의사액이 작다면, ‘아니오’라고 답할 것이다.

$$WTP_i \geq bid_i \text{ (‘예’ 라고 응답한 경우)}$$

$$WTP_i \leq bid_i \text{ (‘아니오’ 라고 응답한 경우)}$$

여기서 지시함수(indicator function) y_i 을 정의하고, 만일 ‘예’라고 응답한 경우 $y_i = 1$ 로 하고, ‘아니오’라고 응답한 경우 $y_i = 0$ 으로 하면, x_i 라는 설명변수가 주어진 상황에서, $y_i = 1$ 일 확률은 식 (2)과 같다.

$$\Pr(y_i = 1|x_i) = \Pr(WTP_i \geq bid_i) \quad (2)$$

식 (1)을 식 (2)에 대입하면, 식 (3)과 같이 된다.

$$\Pr(y_i = 1|x_i) = \Pr(x_i\beta + \epsilon_i > bid_i) \quad (3)$$

식 (3)을 다시 ϵ_i 에 대해서 정리하면, 식 (4)와 같다.

$$\Pr(y_i = 1|x_i) = \Pr(\epsilon_i \geq bid_i - x_i\beta) \quad (4)$$

여기서 ϵ_i 가 정규분포($N(0, \sigma^2)$)한다고 가정할 경우, 프로빗(Probit) 모형을 활용할 수 있으며, 이 경우 식 (4)는 식 (5)과 같이 정리될 수 있다.

$$\Pr(y_i = 1|x_i) = \Phi\left(\frac{x_i\beta}{\sigma} - \frac{bid_i}{\sigma}\right) \quad (5)$$

여기서 $\Phi(\cdot)$ 는 누적표준정규분포함수이다. 본 연구에서는 프로빗(Probit) 모형을 이용하여, x_i 와 bid_i 를 설명변수로 하여 추정한다. 식 (5)에서 보는 바와 같이, 각 설명변수의 x_i 의 추정계수 벡터는 $\hat{\beta}/\hat{\sigma}$ 가 되고, bid_i 변수의 추정계수는 $1/\hat{\sigma}$ 가 될 것이다. 일치성(consistency)을 만족하는 WTP의 기대치는 다음과 같이 계산된다.

$$E(WTP|\bar{x}) = \frac{\hat{\beta}/\hat{\sigma}}{1/\hat{\sigma}}\bar{x} \quad (6)$$

여기서 \bar{x} 는 일반적으로 x_i 벡터 중 관심이 있는 설명변수의 묶음이나 그 기댓값이 된다.

다. 이중양분경계선택설문의 추정 방법

이중양분경계선택의 설문에서는, 응답자가 첫 번째 응답에 따라 두 번째 제시금액을 받게 된다. 이중양분경계선택 설문에서는 지불의사액 추정을 위해 interval data 모형과 이변량 프로빗모형(bivariate probit model)을 이용하는 것이 일반적이다.

1) Interval Data model

interval data 모형은 첫 번째 및 두 번째 ‘예/아니요’ 답변에 대해서, 지불의사액에 대한 경계는 두 질문에 대한 답변에 따라 다음과 같이 4가지로 결정된다.

$$WTP \geq bid_2 \text{ (만일 답변이 '예/예' 인 경우)}$$

$bid_1 \leq WTP \leq bid_2$ (만일 답변이 ‘예/아니요’ 이고, $bid_1 < bid_2$ 인 경우)

$bid_2 \leq WTP \leq bid_1$ (만일 답변이 ‘아니요/예’ 이고, $bid_2 < bid_1$ 인 경우)

$bid_2 \geq WTP$ (만일 답변이 ‘아니요/아니요’인 경우)

여기서 지시함수(indicator function) y_{1i} 와 y_{2i} 를 정의하고, 만일 첫 번째 질문에 ‘예’라고 응답한 경우 $y_{1i} = 1$ 로 하고, ‘아니요’라고 응답한 경우 $y_{1i} = 0$ 으로 하고, 두 번째 질문에 ‘예’로 응답한 경우 $y_{2i} = 1$ 로, ‘아니요’라고 응답한 경우 $y_{2i} = 0$ 으로 하면, x_i 라는 설명변수가 주어진 상황에서 각각의 답변에 따른 확률은 다음과 같이 주어진다.

응답자가 첫 번째 및 두 번째 질문에 모두 ‘예’라고 응답할 확률은 식 (7)과 같다.

$$\Pr(y_{1i} = 1, y_{2i} = 1|x_i) = \Pr(WTP \geq bid_2) \quad (7)$$

또한 응답자가 첫 번째엔 ‘예’라고 응답하고, 두 번째엔 ‘아니요’라고 응답할 확률은 식 (8)과 같다.

$$\Pr(y_{1i} = 1, y_{2i} = 0|x_i) = \Pr(bid_1 \leq WTP \leq bid_2) \quad (8)$$

한편, 응답자가 첫 번째엔 ‘아니요’라고 응답하고, 두 번째엔 ‘예’라고 응답할 확률은 식 (9)과 같다.

$$\Pr(y_{1i} = 0, y_{2i} = 1|x_i) = \Pr(bid_2 \leq WTP \leq bid_1) \quad (9)$$

마지막으로, 응답자가 첫 번째 및 두 번째 질문 모두에 ‘아니요’라고 응답할 확률은 식 (10)과 같다.

$$\Pr(y_{1i} = 1, y_{2i} = 1|x_i) = \Pr(WTP \leq bid_2) \quad (10)$$

식 (7)-식 (10)의 확률에 따라 i 번째 응답자가 우도함수(likelihood function)에 기여하는 것은 다음과 같다.

$$L_i(WTP_i|x_i) = \left(\Phi\left(x_i\frac{\beta}{\sigma} - \frac{bid_2}{\sigma}\right)\right)^{YY} \left(\Phi\left(x_i\frac{\beta}{\sigma} - \frac{bid_1}{\sigma}\right) - \Phi\left(x_i\frac{\beta}{\sigma} - \frac{bid_2}{\sigma}\right)\right)^{YN} \quad (11)$$

$$\times \left(\Phi\left(x_i\frac{\beta}{\sigma} - \frac{bid_2}{\sigma}\right) - \Phi\left(x_i\frac{\beta}{\sigma} - \frac{bid_1}{\sigma}\right)\right)^{NY} \left(1 - \Phi\left(x_i\frac{\beta}{\sigma} - \frac{bid_2}{\sigma}\right)\right)^{NN}$$

여기서 YY 는 $y_{1i} = 1, y_{2i} = 1$ 인 경우, YN 은 $y_{1i} = 1, y_{2i} = 0$ 인 경우, NY 는 $y_{1i} = 0, y_{2i} = 1$ 인 경우, NN 는 $y_{1i} = 0, y_{2i} = 0$ 인 경우를 나타낸다. 이 우도함수를 추정할 경우 설명변수의 x_i 의 추정계수 벡터는 $\hat{\beta}/\hat{\sigma}$ 와 bid_i 변수의 추정계수 $1/\hat{\sigma}$ 를 얻게 된다. 일치성(consistency)을 만족하는 WTP의 기대치는 식 (6)과 같은 방식으로 계산한다.

2) 이변량 프로빗 모형(Bivariate probit model)

이변량 프로빗 모형은 앞에서 본 interval data 모형과 마찬가지로 이중양분경계선택 설문 결과를 추정하는 모형이다. 이변량 프로빗 모형에서, 개인 i 의 지불의사액 함수는 다음과 같다.

$$WTP_{1i} = x_i\beta + \epsilon_{1i} \quad (\text{첫 번째 지불의사액}) \quad (12)$$

$$WTP_{2i} = x_i\beta + \epsilon_{2i} \quad (\text{두 번째 지불의사액}) \quad (13)$$

여기서, 오차항들($\epsilon_{1i}, \epsilon_{2i}$)은 평균은 0 그리고 각각의 분산들(σ_1^2, σ_2^2) 그리고, 상관계수(ρ)를 갖는 이변량 정규분포를 따른다. $(\epsilon_{1i}, \epsilon_{2i}) \sim BVN(0, 0, \sigma_1^2, \sigma_2^2, \rho)$

식 (14)는 이변량 프로빗의 우도함수이다.

$$L_i(WTP_i|x_i) = \Phi_{\epsilon_1\epsilon_2}\left(y_{1i}\left(x_i\frac{\beta_1}{\sigma_1} - \frac{bid_1}{\sigma_1}\right), y_{2i}\left(x_i\frac{\beta_2}{\sigma_2} - \frac{bid_2}{\sigma_2}\right), y_{1i}y_{2i}\rho\right) \quad (14)$$

일치성(consistency)을 만족하는 WTP의 기대치는 다음과 같이 계산된다.

$$E(WTP_1|\bar{x}) = \frac{\hat{\beta}_1/\hat{\sigma}_1}{1/\hat{\sigma}_1} \bar{x}, \quad E(WTP_2|\bar{x}) = \frac{\hat{\beta}_2/\hat{\sigma}_2}{1/\hat{\sigma}_2} \bar{x} \quad (15)$$

일반적으로 첫 번째 질문으로 부터의 지불의사액(WTP) 분포와 두 번째 질문의 지불의사액 분포가 서로 상이하기 때문에 확률변수 $E(WTP_1|\bar{x})$ 과 $E(WTP_2|\bar{x})$ 가 서로 다른 값과 분포를 갖는 것이 일반적이다. 따라서 연구자는 둘 중에 어떤 지불의사액 평균값을 보고할지 결정해야 한다. 일반적으로는 대부분의 조건부가치측정 연구에서, 첫 번째 지불의사액 분포를 선택하고, 첫 번째 지불의사액 평균을 보고한다.

V. 추정 결과

<표 2>에서는 이중 양분형선택 설문에 대한 응답자들의 반응을 나타낸다. <표 2>에서 보는 바와 같이, 제시금액이 증가할수록 첫 번째 응답 중 ‘예’의 응답이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

<표 2> 이중 양분형선택 설문에 대한 응답자들의 반응

첫 번째 제시금액	첫 번째 응답	두 번째 응답				합계
	예(아니오)	예/예	예/아니요	아니요/예	아니요/아니요	
1,000원	35(19)	25	10	6	13	54
2,000원	33(25)	18	16	9	16	58
3,000원	24(28)	15	9	11	17	52
4,000원	19(24)	12	7	7	17	43
5,000원	16(29)	7	9	11	18	45
7,000원	7(31)	2	5	10	21	38
8,000원	7(30)	2	5	13	17	37
10,000원	10(29)	5	5	7	22	39
15,000원	4(31)	2	2	3	28	35
합계	155(246)	88	67	77	169	401

<표 3>은 기초 통계량을 나타낸다.

〈표 3〉 기초통계량

변수 이름	설명	평균	표준편차
Age	나이	40.2	11.6
Sex	성별(남=1, 여=0)	0.5	0.5
Recog1	기후변화로 북극 생물종 개체수 감소의 인지 여부(1/0)	0.9	0.3
Recog2	북극 생물종다양성의 가치 인식 정도(1-4)	1.6	0.4
Donation	기부여부(1/0)	0.2	0.4
Income	소득수준(1-10)	4.4	1.6
T1	첫 번째 제시금액(원)	5,486.3	4,031.8
T2	두 번째 제시금액(원)	4688.3	4,355.8
R1	첫 번째 제시금액에 대한 ‘예’ (1/0)	0.35	0.48
R2	두 번째 제시금액에 대한 ‘예’ (1/0)	0.35	0.48
Edu	교육수준(1-5)	3.0	0.98

<표 4>는 최우추정법(Maximum Likelihood Estimation)에 의한 우도함수를 최대화하는 모수를 찾는 방식을 통해 추정된 결과를 나타낸다.

〈표 4〉 추정 결과

변수 이름	단일경계모형		이중경계모형				
			Interval data 모형		이변량 프로빗 모형		
	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	
첫 번째 질문	bid1	-1.39e-05***	2.03e-05	-	-	-1.34 e-04***	2.18e-05
	Age	-3.3e-04	0.007	12.2e-04	0.005	2.56e-04	0.007
	Sex	0.073	0.144	0.115	0.120	0.093	0.145
	Recog1	0.385	0.244	0.197	0.191	0.332	0.238
	Recog2	0.500***	0.129	0.367***	0.108	0.506***	0.135
	Donation	0.570***	0.172	0.531***	0.142	0.541***	0.167
	Income	-0.031	0.043	-0.012	0.036	-0.030	0.044
	Edu	0.033	0.084	0.074	0.071	0.044	0.085
	상수	-0.868*	0.514	-0.653	0.415	-0.925*	0.502

〈표 4〉 추정 결과(계속)

변수 이름		단일경계모형		이중경계모형			
				Interval data 모형		이변량 프로빗 모형	
		추정계수	표준오차	추정계수	표준오차	추정계수	표준오차
두 번째 질문	bid2	-	-	-	-	-6.48e-05***	1.85e-05
	Age	-	-	-	-	38.5e-04	0.006
	Sex	-	-	-	-	0.075	0.132
	Recog1	-	-	-	-	0.219	0.202
	Recog2	-	-	-	-	0.184	0.122
	Donation	-	-	-	-	0.379**	0.159
	Income	-	-	-	-	0.013	0.040
	Edu	-	-	-	-	0.078	0.077
	상수	-	-	-	-	-0.956**	0.463
상관계수						0.510	0.095
Log Likelihood		-218.761		-517.595		-473.389	
관측수		401		401		401	

* $p < .10$ ** $p < .05$ *** $p < .01$

〈표 4〉에서 보는 바와 같이, 단일경계모형, 이중경계모형 모두에서 북극 생물종다양성에 대한 가치인식 정도(Recog2)와 기부여부(Donation)만이 통계적으로 유의하게 나타난다. 즉 북극 생물종다양성에 대한 가치 인식 정도가 높거나 소득의 일정부분을 사회기부 형태로 지출할수록 양분형 질문에 대해 ‘예’라 응답할 확률이 올라간다. 그러나 이중경계모형 중 이변량 프로빗 모형의 두 번째 질문에서 기부여부(Donation)에 대한 추정계수는 통계적으로 유의하지 않다.

단일경계모형의 표준오차와 interval data모형의 표준오차를 비교해 보면, interval data모형의 표준오차가 모든 변수에 대해서 더 작다는 것을 확인할 수 있다. 즉, interval data모형의 추정량이 더 효율적이라는 것을 확인할 수 있다. 한편, 단일경계모형의 표준오차와 이변량 프로빗 모형의 첫 번째 질문에 대한 표준오차를 비교해 보면, 기부여부(Donation)을 제외하고는 이변량 프로빗 모형의 표준오차가 더 크다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 이변량 프로빗 모형의 첫 번째 질문에 대한 추정량이 더 효율적이라고 볼 수 없

다. 이중경계모형은 한 응답자에 대해 추가적인 양분형 질문을 함으로써, 참 값을 얻기 위한 추가적인 정보를 더 얻을 수 있기 때문에 고려해 볼 수 있는 모형임에도 불구하고, 이변량 프로빗 모형 결과에 따르면, 항상 더 효율적인 추정량을 얻는 것은 아니라는 것을 확인해 볼 수 있다. 한편, 단일경계모형의 표준편차와 이변량 프로빗 모형의 두 번째 질문에 대한 표준오차를 비교해 보면, 이변량 프로빗 모형의 두 번째 질문의 표준편차가 모든 변수에 대해서 더 작다는 것을 확인해 볼 수 있다. 따라서 효율성 기준에 따르면, 두 번째 질문에 대한 이변량 프로빗 모형이 단일경계모형(프로빗 모형)에 비해 더 나은 추정 방법이라는 것을 확인해 볼 수 있다.

한편, 이변량 프로빗 모형의 상관계수가 0.510으로 나왔다는 것은 첫 번째 질문에 대한 분포가 두 번째 질문에 대한 분포와 상이하다는 것을 나타낸다. 이변량 프로빗 모형에 대한 상관계수가 0이라는 귀무가설($H_0 : \rho = 0$)에 대한 Wald test 결과 $\chi^2=19.3607$ 로 나와서, 5% 유의수준에서 귀무가설을 기각하게 되고, 한편 이변량 프로빗 모형에 대한 상관계수가 1이라는 귀무가설($H_0 : \rho = 1$)에 대한 Wald test 결과 $\chi^2=26.00$ 로 나와서, 5% 유의수준에서 귀무가설이 기각되어 위 주장을 통계적으로 검증해 볼 수 있다. 즉 첫 번째 질문에 대한 추정량의 분포와 두 번째 질문에 대한 추정량의 분포는 무관하지도 않은 동시에 그렇다고 두 분포가 동일하지도 않다는 것을 나타낸다. 한편 이변량 프로빗 모형에서 첫 번째 질문에 대한 추정량과 두 번째 질문에 대한 추정량이 같다는 귀무가설($H_0 : \hat{\beta}_1/\hat{\sigma}_1 = \hat{\beta}_2/\hat{\sigma}_2$)에 대한 우도비검정(Likelihood Ratio Test) 결과 $\chi^2=80.71$ 로 나와, 5% 유의수준에서 귀무가설을 기각하게 된다. 따라서 추정량에 아무런 제약을 두지 않은 이변량 프로빗 모형의 추정량에 대한 검증결과, interval data 모형을 통해 얻은 추정량은 편이가 발생했을 가능성이 매우 높다. 즉 응답자들은 첫 번째 질문에 이어 두 번째 질문이 주어졌을 경우, 전략적 행동을 했거나 다른 요인으로 인해 지불의사액 분포가 변화했을 가능성이 있다.

이처럼 이중양분경계모형에서 기대할 수 있는 더 높은 효율성확보와 다른 한편으로 편이가 발생할 수 있다는 문제를 종합적으로 살펴보기 위해, 각각의 모형의 평균제곱오차(MSE)의 제공근을 계산하여 서로 비교해 볼 수 있다(<표 5> 참조).

<표 5>에서 확인해 볼 수 있는 것처럼, 효율성과 편이 발생 가능성을 종합적으로 고려했을 때, 가장 우수한 모형은 interval data 모형이라는 것을 확인할 수 있고, 이변량 프로

빗 모형의 두 번째 대답, 단일 경계모형, 이변량 프로빗 모형의 첫 번째 대답 순서로 나타난다. 결과적으로 이변량 프로빗 모형에서 첫 번째 및 두 번째 질문에서 얻은 추정계수가 통계적으로 상이할 경우에는, 첫 번째 대답에서 얻은 추정치를 통해 지불의사액(WTP)의 기댓값을 제시하는 것은 평균제곱오차를 기준에서 봤을 경우 올바른 선택이 아니다. 오히려 단일경계모형에서 얻은 추정치를 통해 지불의사액(WTP)의 기댓값을 제시하는 것이 효율성과 불편성 측면에서 더 나은 선택이 될 수 있다.

<표 5> 평균제곱오차의 제곱근(Root MSE) 비교

Root MSE	단일경계모형	Interval data 모형	이변량 프로빗 모형	
			첫 번째 대답	두 번째 대답
	0.217	0.166	0.220	0.200

각 모형에 대한 가구당 기대지불의사액은 <표 6>에 정리되어 있다. <표 6>에서 알 수 있듯이, 단일경계모형에 비해 Interval data 모형의 추정계수가 더 높게 나타난다. 또한 이변량 프로빗 모형의 지불의사액 추정계수는 첫 번째와 두 번째 지불의사액 모두 단일 경계모형의 추정계수보다 작게 나타난다. 만일 단일경계모형의 추정계수가 참값과 가장 가깝다면⁷⁾, interval data 모형의 추정계수는 참값보다 과대추정되었고, 이변량 프로빗 모형의 추정계수들은 참값보다 과소추정되었다고 판단할 수 있다. 한편 표준오차에서는 interval data 모형의 표준오차가 가장 작다. 즉 가장 효율적인 추정량이라고 할 수 있다. 이변량 프로빗 모형의 WTP들의 표준오차는 단일경계모형의 WTP의 표준오차에 비해 둘 모두 크게 나온다. 따라서 응답자들이 추가적인 질문에 대해서 변화된 WTP 분포에 기반을 두고 답변할 때, 즉 전략적 행동을 할 경우에는, 이변량 프로빗 모형을 통해 추정한 기대지불의사액은 참값에서 과소추정될 수 있을 뿐만 아니라 효율성 측면에서도 더 나은 추정량이라 할 수 없다. 또한 Interval data 모형을 통해 이중양분선택설문 결과를 추정할 경우에는, 더 효율적인 추정량을 얻을 수 있지만 과대 혹은 과소 추정되는 기대지불의사액의 위험을 감수해야 할 것이다. 결과적으로 지불의사액 추정을 위해 더

7) 본 연구는 Alberini (1995)와 Bahnzhaf et al. (2004)에서 단일경계모형의 WTP는 이중경계 양분형 모형의 전략적 행동으로 인한 Bias를 갖고 있지 않아, WTP가 참값에 가장 가까울 것이라는 주장에 기반을 두고 기술됨.

많은 정보를 얻으려고 고안된 이중양분선택설문법을 사용할 때, 응답자가 전략적 행동을 할 위험성이 존재한다면 단일경계모형만을 이용하는 것이 더 현명한 선택이 될 수 있다.

〈표 6〉 가구당 기대지불의사액

모형		추정계수	표준 오차	95% 신뢰구간
단일경계모형		2800.32	581.95	[1659.73 3940.91]
Interval data 모형		3440.78	401.95	[2652.98 4228.57]
이변량 프로빗 모형	WTP_1	2680.48	591.71	[1520.75 3840.21]
	WTP_2	1531.42	1364.70	[-1143.34 4206.17]

VI. 시사점

IPCC 제5차 보고서에서도 강조된 바와 같이 북극은 온난화가 타지역의 두 배 가까이 빠르게 진행되고 있다. 이러한 사실은 북극의 기후 및 생태 시스템이 어느 지역보다도 심각하게 위협받고 있다는 경각심을 불러일으킨다. 게다가 동시베리아 지역의 메탄이 지상으로 누출될 경우 온난화는 더 가속화될 가능성이 높다. 최근 유럽생태경제학회에서 발표된 Alvarez et al. (2015)와 네이처 코멘트에 게재된 Whiteman and Wadhams (2013)의 연구에 의하면 이러한 사회적 비용은 60조 달러에 이른다고 한다.

본 연구는 이상에서 언급한 연구와 같이 북극의 위협요인을 사회적 비용으로 환산하거나 그 요인을 분류하는데 연구의 초점이 맞춰져 있지 않다. 단 본 연구에서 얻고자 하는 바는 북극이라는 지역에 대한 비사용가치(유증적 가치)를 기후변화와 북극 생물종다양성의 측면에서 어떻게 인식하고 있는지를 알아보는 데 있다. 따라서 이에 대한 프록시로 기후변화가 북극 생물종다양성에 미치는 영향을 최소화하기 위해 대한민국 시민이 감내하고자 하는 지불의사액(WTP)을 선택하였다. 즉 이는 역으로 북극 생물종다양성 개선을 통해 대한민국 시민이 얻는 총 편익으로 환산되어 북극의 생물종다양성은 대한민국 시민에게 최소 연간 3,186억원⁸⁾에서 최대 7,159억원⁹⁾ 정도의 비사용가치가 있는

8) 이변량 프로빗 모형의 WTP_2 기준

9) interval data 모형의 WTP 기준

것으로 추정¹⁰⁾되었다.

이러한 총 편익의 차이는 가구당 지불의사액을 추정하기 위한 방법론의 차이에서 발생하게 된다. 따라서 어떤 방법론을 통해 총 편익을 계산하느냐는 정부의 예산 배분에 큰 영향을 미칠 수 있다. 더 효율적인 추정량을 얻는 것도 매우 중요하지만 참값을 모르는 상황에서, 편이(bias)가 발생할 경우 총 기대 편익은 실제 편익과 상당한 차이를 보일 수 있다. 본 연구에서 추정한 결과와 MSE의 비교로, interval data 모형은 단일경계모형이나 이변량 프로빗 모형에 비해서 편익까지 고려한다 하더라도 더 효율적인 추정량을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 또한 이변량 프로빗 모형은 단일경계모형과 비교하면, 효율성이나 편익성 측면에서 더 나은 모형이 될 순 없는 것으로 나타났다. 비록 interval data 모형이 MSE의 기준에서 가장 바람직한 결과물이지만 단일경계모형에 비해 과대 추정이 될 수 있는 가능성이 존재하는 것으로 파악된 만큼, 연구자는 interval data 모형을 통해 얻은 시민 전체의 지불의사액과 이를 통해 파악한 전체 편익에 전적으로 의존하는 것은 정책 및 예산결정에 만능 하나 잘못된 정보를 제공할 수 있다는 가능성을 감안해야 할 것이다.

또한, Perrings (2010)이 지적한 바와 같이, 기후변화는 생물다양성 변화의 원인(cause)이자 곧 효과(effects)이다. 즉, 기후변화로 인하여 특정 종의 분포와 수가 변화하기도 하지만 역으로 토양과 해양에서의 탄소싸이클의 변화가 기후변화 현상을 가속화하기도 한다. 이러한 점은 북극의 생태계 서비스를 탄소싸이클로만 국한한다던가 또는 생태계서비스와 생물다양성을 구분하여 협의의 생물다양성으로 제한한다던가 하는 작업이 일반 시민의 시각이나 인식에는 영향을 미치지 않을 수 있다는 사실과 더불어 북극이라는 가치평가 대상에 대한 경계를 설정하는 데 있어 어려움으로 작용하고 있다.

다음, 본 연구에서는 그 가치 추정에 있어 지불의사의 대상을 대한민국 시민으로 국한하였다. 이 점은 북극 원주민을 대상으로 하거나 북극권 국가의 시민을 대상으로 지불의사를 물었을 때 본 연구와 상이한 결과가 나올 수 있을 가능성을 열어 놓는다. 북극의 기후변화는 더 이상 북극만의 이슈가 아니다. 기후변화와 관련된 모든 이슈에 있어서 북극은 어느 이해당사자로부터 자유롭지 못하다. 더욱이 북극은 일반적인 국가라는 단위로

10) 2010년 총 가구수 17,339,422 기준

럼 독립된 단위가 아니다. 즉, 북극권 국가의 역내에 위치한 북극지역과 공해지역, 또 자국의 영토임을 서로 주장하는 분쟁지역으로 구성되어 있다. 이러한 연유로 북극은 그 이해당사자가 복잡하다. 북극권 국가의 시민, 북극을 개발하는 개발업자, 북극을 생존의 터전으로 삼고 있는 원주민, 북극 한파 영향권에 있는 중위권 국가 시민 등 북극의 기후 변화에 따라 삶의 질이 바뀔 수밖에 없는 대상이 모두 그 이해당사자이다. 따라서 본 연구를 그 이해당사자들로 구분하여 가치추정을 시도할 경우 각 이해당사자들의 인식 정도에 따라 서로 상이한 결과¹¹⁾를 가져올 수 있다. 예를 들어 북극 원주민의 경우, 종다양성의 개체군과 개체 수 변화가 생존에 직접적인 영향을 미친다. 이들에게 있어 북극곰은 대한민국 시민이 북극곰에 대한 상징성과는 거리가 먼 식량으로 인식된다는 점이다.

이와 같이 본 연구와 같은 북극의 생태계서비스에 대한 가치평가 연구는 가치평가의 대상, 지불의사의 대상, 가치 항목의 종류 또는 분류기준 등에 따라 기대편익이 상이하게 나타날 수 있는 여지를 남겨놓는다. 따라서 본 연구는 그 대상과 가치평가 기준을 달리 적용하는 후속연구를 통해 인식의 주체와 기대편익 간 상관관계를 분석하는데 기초 자료로 삼고자 한다.

[References]

- 권오상, 2013, 『환경경제학』, 3판, 박영사.
- 극지연구소, 2015. “북극 기후변화연구 및 대응체계와 북극 생태계서비스 가치추정 연구”, 극지연구소 working paper, 극지연구소.
- 한택환·홍이석·박창석, “이중양분선택법에 의한 한강 수변 경관의 가치 추정과 그 시사점 -지수지불의사 모형을 중심으로”, 『자원·환경경제연구』, 제22권 제1호, 2013, pp. 179~214.
- Alberini, A., “Optimal Designs for Discrete Choice Contingent Valuation Surveys: Single Bound Double-Bound, and Bivariate Models,” *Journal Environmental Economics and Management*, 28, 1995, pp. 287~306.

11) Crump (2008)의 연구에서는 북극과 도서국가(small island developing states)의 기후변화 문제를 형평성(equity)차원에서 다루었다. 그 이유는 이들 지역이 기후변화의 위험(risk)에 노출된 정도에 비하여 그 위험을 회피할 수 있는 능력(vulnerability)이 취약하다고 판단하기 때문이다.

- Alvarez, J., D. Yumashev, G. Whiteman, J. Wilkinson, C. Hope, and P. Wadhams, "Is the Arctic an Economic Time Bomb? Integrated Assessment Models Can Help Answer This Question," paper presentation for the 11th biannual conference of *the European Society for Ecological Economics*, The University of Leeds, Leeds, UK, 2015.
- Armstrong, C. W., V. Kahui, G. K. Vondolia, M. Aanesen, and M. Czajkowski, "Use and Non-Use Values in an Applied Bioeconomic Model of Fisheries and Habitat Connections," Working papers. No.37/2015(185), University of Warsaw, 2015.
- Banzhaf, S., B. Dallas, D. Evans, and A. Krupnick, "Valuation of natural resource improvements in the Adronacks," Resource for the Future, Washington DC, 2004.
- Bartkowski, B., N. Lienhoop, and B. Hansjurgens, "Capturing the Complexity of Biodiversity: A Critical Review of Economic Valuation Studies of Biological Diversity," *Ecological Economics*, 113, 2015, pp. 1~14.
- Bateman, I. J., B. H. Day, D. P. Dupont, and S. Georgiou, "Incentive Compatibility and Procedural Invariance Testing of the One-and-one-half-bound Dichotomous Choice Elicitation Method: Distinguishing Strategic Behaviour from the Anchoring Heuristic," Commerce division discussion paper no. 113, Lincoln University, Retrieved from http://academy.atlanticwebfitters.ca/Portals/0/CREEpapers/Dupont_Diane.pdf, 2006.
- Cameron, T. A., and J. Quiggin, "Estimation Using Contingent Valuation Data from a Dichotomous Choice with Follow-up Questionnaire," *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 1994, pp. 218~34.
- Cooper, J., W. M. Hanemann, and G. Signorelli, "One and One-half Bids Dichotomous Choice Contingent Valuation," *The Review of Economics and Statistics*, 84, 2002, pp. 742~750.
- Cooper, J. C. and W. M. Hanemann, "Referendum Contingent Valuation: How Many Bounds are Enough?" USDA Economic Research Service, Food and Consumer Economics Division Working Paper, 1995.
- Crump, J., "Snow, Sand, Ice, and Sun: Climate Change and Equity in the Arctic and Small Island Developing States," *Sustainable Development Law and Policy*, Vol. 8, No. 3, 2008, pp. 7~12.
- Dodge, R. E., R. G. Fairbanks, L. K. Benninger, and F., Maurasse, "Pleistocene Sea Levels

- from Raised Coral of Haiti,” *Science*, 219, 1983, pp. 1423~1425.
- Ebinger, C. K. and E. Zambetakis, “The Geopolitics of Arctic Melt,” *International Affairs*, 85, 2009, pp. 1215~1232.
- EcoResources Consultants, Evidence of the Socio-Economic Importance of Polar Bears for Canada, Environment Canada, 2011.
- Greoenveld, J., K. Johst, S. Kawaguchi, B. Meyer, and M. Teschke, “How Biological Clocks and Changing Environmental Conditions Determine Local Population Growth and Species Distribution in Antarctic Krill: A Conceptual Model,” *Ecological Modelling*, 303, 2015, pp. 78~86.
- Haab, T.C., and K. E. McConnell, “Valuing Environmental Natural Resources: The Econometrics of Non-Market Valuation. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing, 2002.
- Hanemann, M., “A New Architecture for Domestic Climate Policy: Trading, Tax or Technologies?,” presented at UC Berkely North America Network seminar, 2008.
- Hanemann, W. M., J. B. Loomis, and A. B. Kanninen, “Statistical Efficiency of Double-Bounded Dichotomous Choice Contingent Valuation,” *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 73, No. 4, 1991, pp. 1255~1263.
- Hanley, N., C. Spash, and L. Walker, “Problems in Valuing the Benefits of Biodiversity Protection,” *Environmental and Resource Economics*, 5, 1995, pp. 249~272.
- IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. 5th Assessment Report. IPCC, 2014.
- IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report. 4th Assessment Report. IPCC, 2007.
- Kukla, G. J., A. C. Clement, M. A. Cane, J. E. Gavin, and S. E. Zebiak, “Last Interglacial and Early Glacial,” *ENSO. Quat. Res.*, 58, 2002, pp. 27~31.
- Levin, P., M. Damon, and J. Samhuri, “Developing Meaningful Marine Ecosystem Indicators in the Face of a Changing Climate,” *Stanford Journal of Law, Science, and Policy*, 2, 2010, pp. 36~48.
- McDowell, G. and J. D. Ford, “The Socio-Ecological Dimensions of Hydrocarbon Development in the Disko Bay Region of Greenland: Opportunities, Risks, and Tradeoffs,” *Applied Geography*, 46, 2014, pp. 98~110.
- Perrings, C., “Biodiversity, Ecosystem Service, and Climate Change: The Economic Problem,”

Environment department papers 120, Environmental economics series, The World Bank Environment Department, The World Bank, 2010.

Stuiver, M., T. F. Braziunas, B. Becker, and G. Kromer, “Climatic, Solar, Oceanic, and Geomagnetic Influences on Late-Glacial and Holocene Atmospheric Full-Size Image (<1K) Change,” *Quaternary Research*, 35, 1991, pp. 1~24.

Whiteman, G., C. Hope, and P. Wadhams, “Climate Science: Vast Costs of Arctic Change,” *Nature*, 499, 2013.