



Original Article

국내 산호군락지의 복원가치

박소연 · 진세준 · 유승훈[†]
서울과학기술대학교 에너지정책학과

The Restoration Value of Coral Communities in Korea

So-Yeon Park, Se-Jun Jin, and Seung-Hoon Yoo[†]

Seoul National University of Science & Technology, Seoul 01811, Korea

요 약

해양생태계 보호 및 보존에 대한 관심이 증가하면서 산호군락지가 중요하게 여겨지고 있다. 이에 정부는 훼손된 산호군락지를 복원하기 위한 계획을 세우고 있다. 산호군락지의 복원가치에 대한 정량적인 정보는 널리 요구되고 있으나 많지 않다. 따라서 본 연구는 선택실험법(Choice Experiment, CE)을 적용하여 국내 산호군락지 복원에 대한 속성별 가치를 정량적으로 평가하고자 한다. 전국에서 무작위로 선정된 1,000 가구를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 분석결과, 서식지 당 군체 수, 우수한 산호군락지 수, 산호 밀집도가 각각 1%씩 증가 할 때 가구당 연간 한계지불의사액은 76원, 78원, 48원으로 추정되었다. 본 연구의 결과는 산호군락지 복원사업을 평가하고 보호 및 보존정책을 수립하는 정책입안자들에게 유용한 정보로 제공될 수 있다.

Abstract – As interest in the protection and conservation of marine ecosystems increases, coral communities are considered as important. Therefore, the government is planning to restore the impaired coral communities. Quantitative information on the values of coral communities restoration is widely demanded, however, there's hardly any literature. This paper attempts to quantitatively assess value of the attributes of restoring coral communities in Korea using a choice experiment (CE). A survey of 1,000 randomly selected households was undertaken in South Korea. The results show that the marginal willingness to pay (MWTP) values for a 1% increase in the number of colonies per habitat, the number of excellent communities, and the coral cover are estimated to be KRW 76, 78, and 48 per household per year, respectively. The findings can provide policy-makers with useful information for both evaluating and planning the coral communities restoration.

Keywords: Coral Communities(산호군락지), Restoration Value(복원가치), Choice Experiment(선택실험법), Marginal Willingness to Pay(한계지불의사액)

1. 서 론

건강한 산호초는 지구상에서 생물학적으로 가장 다양하고 경제적으로 가치 있는 생태계 중 하나로, 연안 경제에 기여하는 주요 구성요소이며 인간 공동체에 중요한 서비스(예를 들어, 파도로부터의 완충지, 레크리에이션 등)를 제공한다(Brander *et al.*[2012], Weijerman *et al.*[2018]). 전 세계적으로 적어도 5억명의 사람들이 식량, 해안 보호 및 생계를 위해 산호초에 의존하는데, 2억 7천 5백만명이 넘는 사람들이 산호초(산호초 30 km 이내, 해안에서 10 km 이내) 근처에서 생활하고 약 8억 5천만 명이 산호초 인근 100 km

내에 살고 있다. 또한 100개 국가 및 지역의 150,000 km가 넘는 해안선이 산호초로부터 보호를 받는다(Reef Resilience Network). 그런데 최근 여러 연구에서 인간의 다양한 활동과 기후변화의 영향으로 전 세계 바다에 다양한 종으로 서식하고 있는 산호 중 일부가 죽어 가고 있고 2100년까지 해양 온난화로 인하여 산호 서식지가 24-50% 감소 할 것이라는 예측이 나오고 있어(Cacciopaglia and Woesik[2015]), 해양생태계뿐만 아니라 결국 인간의 삶에도 영향을 미칠 것으로 예상된다.

이런 이유로 국외에서는 산호를 보전 및 복원하기 위한 다양한 활동들을 계획 및 시행하고 있다. 예를 들어 미국 국립해양대기청(National Oceanic Atmospheric Administration, NOAA)은 산호 보전 및 복원을 위한 프로그램인 NOAA Coral Reef Conservation

[†]Corresponding author: shyoo@seoultech.ac.kr

Program을 2000년부터 계속적으로 운영하고 있다. 이 외에도 Great Barrier Reef¹⁾ 해양공원의 산호보호프로그램(Reef Guardian Program)은 산호의 생명력과 복원력을 키우기 위한 목적으로 휴양이나, 산업에 산호를 활용하는 사람들의 활동을 지원하고 있다(Great Barrier Reef Marine park Authority[2016]). 이들의 이러한 활동은 건강한 산호가 해양환경의 중요한 부분을 차지하므로 오염되거나 죽은 산호가 복원되면 여러 가지 해양생태환경에 큰 이익을 줄 것이라는 기대로부터 지속된다(Ocean Today). 우리나라의 경우 산호를 보전 및 복원하기 위한 몇몇의 기술개발 사업(Ministry of Environment [2005], Ministry of Oceans and Fisheries[2013])이 진행되고 있지만, NOAA와 같이 지속적으로 국가에서 운영하는 산호의 보전 및 복원만을 위한 관리 정책은 없다.

현재 국내의 대표적인 산호군락지는 제주에 위치하고 있는 연산호군락지이다. 이 연산호군락지는 해양보호구역²⁾ 및 천연기념물³⁾로 지정되어 관리되고 있다. 이 구역은 전 세계적으로 보기 힘든 아름다운 연산호가 군락지를 이루고 있는 곳으로 생태학적으로, 학술적으로 그 가치가 매우 높아(Cultural Heritage Administration, <http://www.heritage.go.kr>) 보전을 위한 지속적인 관리가 필요한 구역이다. 하지만, 최근 이 구역의 일부 산호가 훼손을 입는 등 문제가 발생하고 있어, 이를 복원하는 것에 대한 문제가 이슈 되고 있다(Korean Federation for Environmental Movements). 따라서 학술적 가치뿐만 아니라 해양생태학적으로 충분한 가치를 갖고 있는 산호군락지를 복원하고 지속적으로 관리하는 것은 반드시 수행해야 할 과제일 것이다. 따라서 본 연구에서는 경제학적 기법을 적용하여 국내 산호군락지 복원에 대한 가치를 평가하고자 한다.

경제학자들은 산호군락지와 같이 공유자원의 성격을 띤 시장에서 거래가 되지 않는 재화에 대한 가치를 평가하기 위한 방법을 개발하였고(Min *et al.*[2016]), 이를 통해 다양한 환경재(산림, 습지, 물개 등등)를 평가하였다. 산호의 경우, 경제학적 기법을 적용하여 평가한 국외 연구사례는 다수 존재하며, 조건부 가치측정법(Contingent Valuation Method, CVM)과 선택실험법(Choice Experiment, CE)을 적용하여 평가되었다(Park *et al.*[2018]). 이러한 연구들은 산호 보호를 위한 당위성과 산호 자체에 큰 가치를 부여했다(Carlson[2015]). 한편, 이들 연구 중 일부 연구(Arin and Kramer[2002]; Ahmed *et al.*[2007]; Mohamed[2008])에서는 산호의 가치를 평가함에 있어 100명 미만의 샘플을 분석하여 값을 해석하는 등 과대추정의 문제가 있을 것으로 판단된다. 또한 Fonseca[2007]와 Mohamed [2008]의 경우는 우편 및 이메일 조사를 실시하였는데 CVM 연구의 가이드라인으로 널리 활용되고 있는 NOAA 패널보고서의 CVM 연구 시 권고사항으로 제시된 일대일 개별면접이 반영되지 않았다. 설문조사에 대한 방법은 응답률과 신뢰성의 문제와 관련이 있기 때문에 신중할 필요가 있다.

¹⁾오스트레일리아 북동쪽 해안에 있는 매우 다양하고 아름다운 산호초 지역으로 유네스코 세계유산으로 지정되어 있다. 세계 최대 산호초 지대로, 400종의 산호초와 1,500종의 어류, 4,000종의 연체동물이 살고 있다(<https://en.unesco.org/>). (accessed 2018.03.22).

²⁾문섬등 주변해역생태계[제2호:해양수산부 고시 제2002-85호:02.11.05].

³⁾천연기념물 제442호(문화재청).

산호에 대한 가치를 평가한 국내연구는 가장 최근에 Park *et al.*[2018]에 의해 평가된 연구이외는 사례가 없다. Park *et al.*[2018]은 환경재를 평가하는데 널리 활용되고 있는 진술선호기법 중 CVM을 적용하여 제주 문섬 등 주변해역 생태계보호구역 내 산호군락지의 연간가치를 산정하였다. 본 연구는 Park *et al.*[2018]에서 단일속성을 평가하기 위하여 적용한 CVM과 달리 여러 가지 속성에 대하여 평가할 수 있는 CE를 적용하고자 한다. 이를 통해 국내 산호군락지 복원에 대한 공공의 선호와 함께 각 속성의 수준변화에 대한 가구의 한계지불의사액(Marginal Willingness to Pay, MWTP)을 산정한다. CE는 생태계 복원 프로젝트를 수행하고 관리하는 최선의 방법을 결정할 때, 특정 속성 변화에 대한 가치를 추정하며 그 결과는 정책결정에 영향을 줄 수 있다(Carlson[2015]). 이에 본 연구는 국내 산호군락지 복원에 대한 가치를 경제학적 방법론인 CE를 적용하여 평가하고 그 결과를 정책입안자들이 참고할 수 있는 기초 자료로 제공하고자 한다.

2. 연구의 대상 및 방법론

2.1 연구대상

산호군락지는 산소 및 먹이가 풍부하여 바다생물이 살기 좋은 환경적 조건을 제공하며, 이러한 이유로 전 세계 바다 생물의 약 1/4이 그 주변에 서식하고 있다. 국내의 경우, 전 해역에서 서식하고 있으며, 크게 돌같이 딱딱한 모양의 경산호와 화려하고 아름다운 색깔의 연산호로 구분된다. 현재 우리나라에는 경산호 보다는 연산호가 주로 서식하고 있으며, 국내 해역에서 발견된 산호 132종 중 약 92종(약 70%)이 제주도 서귀포 해역(문섬 주변)에 분포하고 있다. 특히, 이곳에 사는 32종의 산호 중 12종이 국제법으로 보호되고 있으며, 그 모습이 화려하고 개체수가 많아 세계 최고 수준의 연산호군락지로 주목받고 있다. 이에 정부는 지난 2002년 문섬 주변(범섬, 문섬, 섯섬)을 해양생태계 보호구역으로 지정하여 관리하고 있다.

2.2 연구방법론

CE에 기반이 되는 경제이론은 확률효용극대화 모형(random utility maximization model)(Shen[2009]; Aizaki *et al.*[2012])으로, 시장에서 거래가 이루어지지 않는 재화의 편익을 평가하는(Tarfasa and Brouwer[2013])진술선호기법 중 하나이다. 진술선호기법은 설문조사를 활용하는 방법이며, 설문조사 시 응답자는 제시된 몇 가지 대안에서 하나의 대안만을 선택할 수 있고, 이 대안에는 가격 속성(Yoo *et al.*[2008])과 평가대상과 관련된 몇 가지 속성이 포함된다. 수집된 데이터는 계량 경제학적 모형을 사용하여 분석하며, 결과적으로 각 속성 수준의 개선에 대한 MWTP 또는 경제적 가치를 얻을 수 있다. 많은 정책이 대상재화를 잃거나 얻는 것보다 속성 수준의 변화를 더 고려하기 때문에 다른 가치평가 방법보다 CE는 유용하다고 볼 수 있다(Kim *et al.*[2016]).

이와 같이 CE 연구는 속성수준의 개선에 대한 평가를 진행한다. 따라서 핵심이 속성에 대한 식별이 중요하며, 이를 위해 2단계의

과정을 거쳤다. 우선 산호는 군체가 모여 군락을 이루고, 이들이 조밀하게 덮혀 있을수록 우수한 군락지로서 생물다양성이 좋아지고 건강한 해양생태계에 기여하게 된다. 따라서 본 연구는 산호의 이러한 생태학적인 특성에 근거하여 속성을 선정하였고, 선정된 속성에 대하여 전문가 의견을 반영하여 최종 속성을 결정함에 있어 선행 연구(Korea Development Institute[2004]; Science & Technology Policy Institute[2005])에서 제시하는 선택실험법의 5개 원칙을 준수하여 결정하였다. 첫째, 속성은 서로 독립 또는 근접해야 한다. 둘째, 속성의 개수는 적은 수가 좋다. 셋째, 속성을 잘 이해할 수 있도록 시각적 도구로 설명 및 묘사되어야 한다. 넷째, 과학적으로 의미가 있어야 하며, 끝으로 사람들에게 의미가 있거나 이성과 관계되어야 한다. 이에 본 연구에서는 국내 산호군락지 복원에 대한 가치를 평가하기 위하여 가격속성을 포함하여 4가지 속성을 선택하였고 (Table 1), 이에 대한 기초통계량을 Table 2에 제시하였다. 즉, 서식지 당 군체 수, 우수군락지 수, 산호 밀집정도, 가격으로 이루어진 속성이며, 각 속성들을 살펴보면, ‘서식지 당 군체 수’는 군락은 이루지 못했지만, 소수종이 모여 사는 군체 개수를 의미한다. 다음으로 ‘우수 군락지 수’는 종 다양도, 밀집도, 개체 수, 생물량이 우수한 군락지의 개수를 나타낸다. 그리고 ‘서식 밀집정도’는 산호의 피도 (cover degree)를 의미한다. ‘가격’은 연산호군락지 복원을 위해 가구가 지불하고 있는 연간 소득세의 추가 부담분을 의미하는 속성

이다. 한편, 선행 연구(한국개발연구원[2004]; 과학기술정책연구원 [2005])에서는 CE연구의 지불수단에 대하여 CVM에서 흔히 사용되는 공공요금, 입장료, 세금, 재화 등을 사용한다고 언급하였다. 따라서 본 연구는 지불수단을 소득세로 결정하였으며, 이는 산호군락지를 복원하기 위해 국가의 재정이 투입되기 때문이다. 그리고 가격속성에 대한 범위와 수준을 결정하기 위하여 무작위로 선택된 30명에게 사전조사를 실시하였고, 1,000원, 3,000원, 6,000원, 10,000원으로 가격속성 값을 얻었다.

CE는 다른 요인에 의해 변함이 없는 모수 추정치를 산출하는 선택대안집합을 설계하기 위해 통계적 설계 이론을 이용한다(Yoo *et al.*[2008]). 이에 본 연구에서는 개별 속성의 분리를 위해 SPSS 12.0 프로그램을 통해 주효과 직교설계를 수행하였다. Lim *et al.*[2016]에 따르면, 이 방법은 현실에서 속성간 상관관계가 높은 것으로 알려져 있는 현시선호 확률효용 모형의 단점을 개선한다. 결과적으로 이를 활용하여 16개 선택대안집합을 도출한 뒤 임의표본추출을 통해 한 세트에 4개의 질문이 포함되도록 8개 선택대안을 배분한다. 즉, 각 선택대안은 대안 A와 B, 현재상태 유지로 구성된다. 따라서 여덟 개의 선택 세트를 만들어 두 개의 블록으로 그룹화 할 수 있고, 네 개의 선택 세트가 각 블록에 속한다. 면접관은 각 면담자를 두 블록 중 하나에 임의로 할당한다. 따라서 각 응답자에게 4가지 선택 세트를 제공하고 각 선택 세트 내에서 3가지 대안 중 하나를 선택

Table 1. Descriptions and levels of the four chosen attributes in the study

Attributes	Descriptions	Levels
Number of colonies per habitat	Number of colonies inhabited as a small number of species	Level 1: 0% Level 2: 5% Level 3: 20% Level 4: 40%
Number of excellent communities	Increase in the number of healthy coral communities including the species diversity, coral cover, the number of population, and marine life.	Level 1: 0% Level 2: 5% Level 3: 15% Level 4: 30%
Coral cover	Coral cover is the proportion of reef surface covered by coral. Coral cover is a good measure of general reef health.	Level 1: 0% Level 2: 5% Level 3: 15% Level 4: 30%
Price	Additional increase in yearly income tax per household (unit: Korean won)	Level 1: KRW 0 Level 2: KRW 1,000 Level 3: KRW 3,000 Level 4: KRW 6,000 Level 5: KRW 10,000

Table 2. Sample statistics of the four chosen attributes

Attributes	Mean	Standard deviation	Maximum value	Minimum value
Number of colonies per habitat	12.22	14.57	40	0
Number of excellent communities	10.05	11.39	30	0
Coral cover	9.67	11.34	30	0
Price	3,350.75	3341.48	10,000	0
Age	46.55	9.47	65	24
Income	479.81	599.14	18,000	70
Education	14.04	2.27	20	6
Gender	1.5	0.05	2	1

산호 주변에는 산소 및 먹이가 풍부하여 바다생물이 살기 좋아 전 세계 바다 생물의 약 1/4이 산호 주변에서 살고 있습니다. 산호는 크게 돌같이 딱딱한 모양의 **경산호**와 아름다운 색깔의 연산호로 구분되는데 우리나라에는 연산호가 주로 살고 있습니다. 우리나라 동해, 서해, 남해를 포함한 전 해역에 분포하고 있으며, 산호 132종 중 약 92종(약 70%)이 제주도 서귀포 해역에 서식하는데 주로 문섬 주변에 살고 있습니다. 또한 이곳에 사는 32종의 산호 중 12종이 **국제법으로 보호되고** 있고 그 모습이 화려하고 개체수가 많아 세계 최고 수준의 **연산호** 군락지로 주목받고 있습니다. 이에 정부는 지난 2002년 문섬 주변(범섬, 문섬, 샬섬)을 해양생태계 보호구역으로 지정하여 관리하고 있습니다.

최근 제주도에 서식하고 있는 산호는 해양개발사업 등으로 인해 훼손되고 있어서 훼손된 산호 군락지를 보전하기 위한 사업을 계획하고 있습니다. 이에 대해 귀하의 가구가 판단하는 가치에 대해 여쭙고자 합니다. 이제 4개의 질문 카드가 제시되는데, 각 카드는 ① 서식지당 **군체 수** ② **우수 군락지 수** ③ **서식 밀집 정도** ④ **제주 연산호 군락지 복원을 위한 귀하 가구의 연간 소득세 추가 부담액** 등 서로 다른 4가지 속성으로 구성되어 있습니다.

여기서 **군체**는 작은 세포와 같은 폴립이 모여서, 하나의 모양(나뭇가지모양, 부채모양, 나뭇잎 모양 등)을 이루었을 때를 의미합니다. 군체가 모이면 군락지가 되는데, 다양한 종류의 산호가 군락을 이루고 다양한 해양생물이 함께 살면 우수한 군락지가 됩니다. 한 군락지에 산호가 밀집되어 있는 것은 생태적으로 중요합니다.

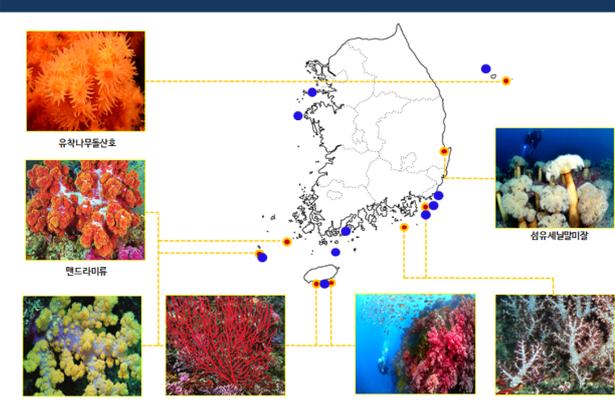
보기카드 1. 산호란 무엇인가?



- 산호는 동물이며, 작은 폴립이 모여 군체를 이루고, 군체가 모이면 군락지가 됨
- 산호는 다양한 바다생물의 터전이 되므로 해양생태계에 매우 중요한 역할을 함

출처: 해양환경관리공단 홈페이지, 구글이미지

보기카드 2. 국내 산호의 분포도



출처: 해양수산부, 해양과학기술원, 해양환경관리공단, 국립해양생물자원관, 인터넷자료

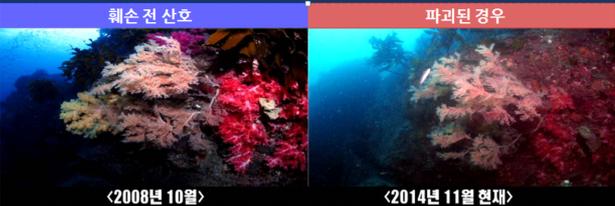
보기카드 3. 우리나라 산호 군락지 사진



우리나라에는 전 세계적으로 드문 연산호가 군락지를 이루고 있어 화려하고 아름다우며, 학술적 가치가 매우 높은 것으로 알려져 있음

출처: 문화재청, 인터넷자료, Undersea Travel Magazine

보기카드 4. 언론에 소개된 국내 훼손된 산호



국내 산호군락지는 해양개발, 관광, 채취, 폐어구 등으로 위협받고 있으며, 한 번 훼손되면 스스로 복원되는 것이 어려우므로, **훼손되기 전에 관리하여 보전하는 것이 중요함**

출처: MBC, 제주도당일보

Fig. 1. Key descriptions and illustrations provided in the survey.

하도록 요구했다.

설문조사는 2017년 9월 전국 1,000가구를 대상으로 설문조사 전문업체인 리처치프라이미의 주관으로 무작위 표본추출(Random

Sample)을 통해 실시하였으며, 이 때 설문대상 가구를 선정하기 위하여 각 지역 내 인구 구성비를 고려하여 연령별 비율에 맞게 표본수를 할당하였다. 설문조사 방법으로는 일대일 개별면접을 실시하였고, 이

방법은 전화 또는 우편으로 설문을 진행하는 방법보다 응답률이 높다. 또한 신뢰성 있는 응답자료 확보를 위하여 가구의 지출에 책임을 갖고 있는 만 20세 이상 65세 이하의 세대주 및 그 배우자로 한정하였다. 또한 Fig. 1과 같이 설문 목적과 내용 등에 대한 자세한 설명과 함께 사진 등 시각화된 자료를 제공하여 응답자의 이해를 돕도록 하였다. 한편 설문조사 전문기관의 과학적인 표본추출과 전화나 우편조사가 아닌 설문조사 숙련가들에 의한 일대일 면접조사에 근거한다면 통상 예비타당성조사나 타당서재조사에서 적용하고 있는 1,000가구가 아닌 이의 절반 수준인 500가구 정도만 설문조사를 하더라도 가구의 의견을 거의 정확하게 반영한다고 볼 수 있다(Korea Development Institute, 2012).

3. 추정모형

3.1 효용함수

유틸리티 함수는 선형 함수 형식을 갖는 것으로 가정하며(Lee *et al.* [2006]), 본 연구에서도 서식지 당 군체 수, 우수군락지 수, 서식밀집 정도, 가격 수준 등 각각 속성을 $l=1,2,3,4$ 일 때, X_l 이라 하고, 여기에는 현재상태에 대한 특화상수(Alternative-Specific Constant, ASC) ASC를 고려한다. Z_{jk} 를 대안 k 가장 선호한다고 선택한 응답자에 대한 효용이라 하면 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{jk} = W_{jk}(X_{jk}, T_j) + \epsilon_{jk} = ASC + \beta_1 X_{1,jk} + \beta_2 X_{2,jk} + \beta_3 X_{3,jk} + \beta_p X_{p,jk} + \epsilon_{jk} \quad (1)$$

여기서, W_{jk} 와 ϵ_{jk} 는 각각 효용함수의 확정적인 부분과 확률적인 부분이다. W_{jk} 는 현재의 선택대안과 가상의 선택대안들의 속성들(X_{jk})과 개별응답자들의 특성치들(T_j)의 함수이며, β 는 각 속성에 해당하는 계수이다.

단순화를 위해 jk 를 생략하고, 로이의 항등식을 식 (1)에 적용하고, MWTP를 추정할 수 있으며, $MWTP_{X_m}$ 계산식은 다음과 같다.

$$MWTP_{X_m} = -(\partial W / \partial X_m) / (\partial W / \partial X_p) = -\beta_m / \beta_p, \quad (\text{여기서 } m = 1, 2, 3) \quad (2)$$

3.2 다항로짓모형

다항로짓(multi-nomial logit, MNL)모형의 이론적 토대는 McFadden[1973]을 근거로 한다. MNL 모형은 관련 없는 대안으로부터의 독립성(independence of irrelevant alternatives, IIA)이 만족되어야한다고 가정한다.⁴⁾ 이 가정이 다소 제한적인 것으로 보이지만, 로그 우도 함수를 닫힌 형식(Closed form)으로 지정할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 가정이 충족되면 데이터를 쉽게 처리할 수 있다. 반면에 그렇지 않다면 IIA 가정을 필요로 하지 않는 다른 모델을 찾아야한다. J 는 응답자의 수, I_{jk} 는 더미변수라 하면, 응답자 j 가 선택한 대안은 k 와 그렇지 않은 경우 0으로 정의된다. MNL 모형에 대한 로그우도 함수(log-likelihood function)는 다음과 같다.

$$\ln L = \sum_{j=1}^J \ln \left[\frac{\prod_{k=1}^3 (\exp(W_{jk}))^{I_{jk}}}{\sum_{n=1}^3 \exp(W_{jn})} \right] \quad (3)$$

3.3 중첩로짓모형

중첩로짓(nested logit, NL)모형은 MNL모형과 달리 IIA 가정을 필요로 하지 않기 때문에 MNL모형의 좋은 대안이 될 수 있다. 선택에 직면한 응답자는 2단계에 걸쳐 대안을 선택했다고 추측할 수 있는데, 첫 번째 단계에서 응답자는 자신이 현재 상태 대안을 선택할지에 대한 여부를 결정한다. 만약 이 응답자가 현재상태 대안을 선택하지 않는다면, 두 번째 단계에서는 대안 A와 B중 하나를 선택하게 된다. 그리고 이러한 2단계에 걸친 의사결정과정은 IIA가정의 도입을 필요로 하지 않는다(McFadden[1978]). NL 모형에 대한 로그우도 함수(log-likelihood function)는 다음과 같다.

$$\ln L = \sum_{j=1}^J \ln \left[\frac{\prod_{k=1}^2 \left[\left(\sum_{m=1}^2 \exp(W_{jm}/\theta) \right)^{\theta-1} \exp(W_{jk}/\theta) \right]^{I_{jk}} [\exp(W_{j3}/\theta)]^{I_{j3}}}{\left(\sum_{m=1}^2 \exp(W_{jm}/\theta) \right)^{\theta} + \exp(W_{j3}/\theta)} \right] \quad (4)$$

식 (4)에서 θ 는 내포치(inclusive value)이며, $\theta=1$ 일 때, 식 (4)는 일반적인 MNL모형이 되어 IIA 가정을 만족해야 한다. 이것은 NL모형이 MNL모형을 포함하는 것을 의미한다. 따라서 $\theta=1$ 이라는 귀무가설을 검정해야 한다.

4. 결과 및 고찰

4.1 모형검정 및 추정결과

앞서 언급한 바와 같이 설문조사는 숙련된 면접관이 일대일로 개별면접을 실시하였다. 각 응답자로부터 4개의 응답 자료를 받고 결과적으로 4,000(1,000×4)개의 데이터 세트를 확보하였다. Table 3는 MNL 모형과 NL 모형을 모두 추정 한 결과이다. 모든 계수 추정치는 통계적으로 유의미하다. 가격을 제외한 모든 속성의 계수 추정치에는 양수 부호가 있다. 이는 속성이 응답자에게 가치가 있음을 나타낸다. 다른 속성의 부호와 달리 가격 변수의 계수에는 음의 부호가 있다. 이것은 가격이 높을수록 효용이 낮아진다는 것을 의미한다. 이는 가격이 효용에 부정적으로 기여한다는 점에서 상당히 합리적이다.

IIA 가정이 유효한지 여부를 확인하기 위해 t -검정과 우도비(likelihood ratio, LR) 검정을 수행했다. 귀무가설은 IIA 가정이 충족되고 MNL 모형이 정확하게 명시되었다(즉, $\theta=1$). CE 데이터를 분석하기 위한 MNL 모형의 적용은 IIA 가정의 위배에 취약하다. 그러나 NL 모형은 가정을 요구하지 않으며, LR 검정 결과 귀무가설 하에서 5.63으로 계산되며, $\chi_{0.05(1)}^2 = 3.841$ 므로, 귀무가설은 5%에서 기각된다. 또한 t 통계량은 귀무가설하에서 2.70으로 추정되

⁴⁾A라는 대안을 선택할 확률 대 B라는 대안을 선택할 확률의 비율은 다른 C라는 대안의 존재 여부에 영향을 받지 않는다(Hausman and McFadden, 1984).

Table 3. Estimation results of the multi-nomial logit and nested logit models

Variables ^a	Multi-nomial logit estimates ^c	Nested logit estimates ^c
ASC ^b	-0.8173 (-11.64) [#]	-0.6296 (-6.82) [#]
Number of colonies per habitat	0.0089 (4.98) [#]	0.0073 (4.66) [#]
Number of excellent communities	0.0090 (3.70) [#]	0.0075 (3.61) [#]
Coral Cover	0.0042 (2.02) [*]	0.0046 (3.01) [#]
Price (unit: KRW 1,000)	-0.1260 (-14.44) [#]	-0.0963 (-6.52) [#]
Inclusive value		0.6843 (5.86) [#]
Number of observations		4,000
Log-likelihood	-4,178.25	-4,175.44
Wald statistics ^d (<i>p</i> -values)	395.06 (0.000) [#]	92.86 (0.000) [#]

Notes: ^aThe variables are defined in Table 1. ^bASC refer to alternative-specific constants that represent dummies for the respondent's choosing status quo alternative. ^cand [#]indicate statistical significance at the 5% and 1% levels, respectively, and *t*-values are reported in parentheses beside the estimates. ^dThe null hypothesis is that all the parameters are zero and the corresponding *p*-values are reported in parentheses beside the statistics.

었으며, 유의수준 1%에서 통계적으로 유의했다. 두 가지 테스트 결과 MNL모형에 대한 IIA 가정이 만족되지 않음을 알 수 있다. 따라서, NL모형이 본 연구의 속성별 MWTP를 추정하는데 더 적절한 것으로 판단되며, 이후 이를 적용하여 결과 값을 제시한다.

식 (2)를 활용하여 NL모형으로부터 MWTP 값을 추정할 수 있다. 서식지당 군체 수가 1% 상승하고, 우수 군락지 수가 1% 늘어

나며, 서식 밀집도가 1% 상승하는데 가구당 연간 MWTP는 각각 76원, 78원, 48원으로 나타났으며 모두 유의수준 1%에서 통계적으로 유의했다. Table 4에는 NL모형의 추정결과와 속성별 MWTP에 대한 95% 신뢰구간을 제시하였다. 이를 위해 Krinsky and Robb[1986]가 제안한 몬테칼로 모의실험기법(Monte Carlo simulation technique)^o이 문헌에서 가장 많이 활용된다(Park *et al.*[2016]).

Table 4. Estimation results of the nested logit model

Variables	MWTP (per household per year) (unit: KRW)	
Variables	Estimates (<i>t</i> -value) ^a	95% confidence interval ^b
Number of colonies per habitat (1% increase)	76 (5.40) [#]	50 ~ 107
Number of excellent communities (1% increase)	78 (3.62) [#]	40 ~ 127
Coral cover (1% increase)	48 (3.03) [#]	17 ~ 84

Notes: ^aThe numbers in parentheses beside the coefficient estimates are *t*-values, computed from the analytic second derivatives of the log-likelihood; the symbol [#]indicates statistical significance at the 1% level; ^bThe confidence intervals are calculated by the use of the Monte Carlo simulation technique of Krinsky and Robb [1986] with 5,000 replications; the confidence intervals are calculated by the use of the Monte Carlo simulation technique of Krinsky and Robb [1986] with 5,000 replications.

Table 5. Definitions and sample statistics of the variables

Variables	Definitions	Mean	Standard deviation
Education	The respondent's education level over 15 years	0.45	0.50
Age	The respondent's age in years	46.55	9.47
Income	The respondent's household's monthly income before tax deduction (unit: Million KRW)	4.79	5.99

Table 6. Estimation results of the nested logit model with covariates

Variables	Coefficient eEstimates	<i>t</i> -values ^b
ASC ^a	-0.8976	-4.07 [#]
Number of colonies per habitat	0.0073	4.68 [#]
Number of excellent communities	0.0076	3.65 [#]
Coral cover	0.0046	2.30 [#]
Price (unit: KRW 1,000)	-0.0963	6.51 [#]
Education	-0.2065	-2.55 ^{**}
Age	0.0030	0.71
Income	-0.0148	-1.12
α	0.6845	5.86 [#]
Number of observations		4,000
Log-likelihood		-4169.32

Notes: ^aASC refer to alternative-specific constants that represent dummies for the respondent's choosing status quo alternative; ^bThe symbol [#] and ^{**} indicate statistical significance at the 1% and 5% levels, respectively.

4.2 공변량을 포함한 모형의 추정결과

Table 5에는 응답자의 사회경제적 특성을 제시하였다. 응답자의 평균 연령은 약 47세로 나타났고, 평균 소득수준은 약 480만원이었다. Table 6에는 공변량을 포함한 NL모형의 추정결과를 요약하였다. 교육수준이 높을수록 속성에 대하여 지불할 확률이 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 하지만, 연령과 소득은 유의하지 않은 것으로 나타났다.

5. 결 론

산호는 해양생태 및 인간의 삶에 긍정적인 영향을 미치고 있어, 그 가치를 높게 평가 받고 있으며 이를 보존 및 복원하기 위한 노력이 주요 산호군락지를 중심으로 꾸준히 이루어지고 있다. 특히, 국내 산호군락지는 전 세계적으로 보기 힘든 아름다운 연산호가 군락을 이루고 있어, 생태학적으로나 학술적으로 그 가치가 크게 인정받고 있다. 하지만 최근 일부 산호군락지가 훼손되어 이를 복원 및 보존하기 위한 정책에 대한 관심이 증가하고 있다. 이에 본 연구에서는 경제학적 기법을 적용하여 국내 산호군락지 복원에 대한 가치를 평가하고, 국민의 선호에 대하여 평가하고자 하였다.

이를 위해 속성별 가치 및 선호를 평가하는데 널리 활용되고 있는 CE를 적용하였으며, 전국 1,000가구를 대상으로 개별면접을 실시하였다. 분석을 위해 NL 모형을 적용하였고, 산호군락지 복원에 대해 '서식지 당 군체 수, 우수군락지 수, 산호 밀집정도를 나타내는 속성과 가격을 포함한 총 4개의 속성을 고려하였다. 산호군락지 복원에 대한 속성별 가치는 유의수준 1%에서 모두 통계적으로 유의하였다. 산호군락지의 서식지 당 군체 수가 1% 증가하는 것에 대한 가구당 연간 MWTP는 76원이었다. 또한 우수군락지와 서식 밀집정도가 1%씩 증가하는 것에 대한 가구당 연간 MWTP는 각각 78원, 48원으로 나타났다. 응답자는 우수군락지를 증가시키는데 가장 큰 선호를 나타냈다. 또한 공변량을 포함한 NL 모형의 추정결과 응답자의 교육수준이 높을수록 산호군락지 복원에 대하여 지불할 확률이 증가하였다. 즉, 고학력의 응답자일수록 산호군락지 복원에 대해 더욱 가치를 부여하는 것으로 나타났다.

우리나라에는 보존 및 복원해야 할 다양한 해양생물들이 존재한다. 정부는 해양생태계를 보존 및 복원하기 위하여 다양한 정부사업을 계획 및 시행하고 있으며, 이러한 사업에는 막대한 공공자금이 투입된다. 이러한 측면에서 본 연구는 시장에서 거래되지 않는 환경재에 대한 가치를 금전적으로 평가하여 이에 대한 정량적인 정보를 제공하였다. 이 결과는 산호 및 해양생물 복원과 관련된 공공사업을 실시할 때, 긍정적 자료로 활용가능 할 것으로 기대된다.

현재 NOAA에서는 경제학적 기법을 적용하여 산호에 대한 가치를 매년 평가하여 산호 보존 및 해양생태계 서비스를 위한 관리 프로그램을 운영하는데 당위성을 확보하고 있다. 하지만 국내에서는 산호뿐만 아니라 해양생물 한 종을 보존 및 복원, 관리를 위한 지속적인 투자가 미흡한 편이다. 따라서 해양생물 및 해양생태계와 관

련된 가치평가 연구를 통해 공공의 의지와 선호를 확인하여 정책 수행의 당위성을 확보할 필요가 있을 것으로 생각된다.

향후 연구주제로, 산호의 서비스적 기능(레크리에이션 기능 향상, 어종의 증가, 어획량 증가)에 대한 속성별 가치를 평가할 필요가 있을 것으로 판단된다. 국내에서 이루어진 기존 연구사례는 산호에 대한 비시장적 가치를 단일속성으로 평가하였다. 본 연구에서 산호 복원의 다양한 측면에서 속성별로 국민의 선호와 속성별로 가치를 평가하였다. 국외 여러 연구들을 살펴보면 산호에 대한 다양한 가치(시장 가치와 비시장가치)를 평가하고, 이를 종합하여 산호에 대한 총경제적 가치를 평가한다. 향후 국내에서도 산호를 대상으로 시장가치 평가에 대한 연구, 산호와 관련된 다양한 측면에서의 평가 등 관련 연구의 지속적인 수행을 통해 산호의 가치에 대한 규명을 기대한다.

References

- [1] Arin, T. and Kramer, R. A., 2002, Divers' Willingness to Pay to Visit Marine Sanctuaries: an Exploratory Study. *Ocean & Coastal Management*, 45(2-3), 171-183.
- [2] Ahmed, M., Umali, G. M., Chong, C. K., Rull, M. F., and Garcia, M. C., 2007, Valuing Recreational and Conservation Benefits of Coral Reefs - The case of Bolinao, Philippines. *Ocean & Coastal Management*, 50(1-2), 103-118.
- [3] Aizaki, H., Sawada, M., Sato, K., and Kikkawa, T., 2012, A Noncompensatory Choice Experiment Analysis of Japanese Consumers' Purchase Preferences for Beef. *Appl. Econ. Lett.* 19, 439-444.
- [4] Brander, L.M., Rehdanz, K., Tol, R.S. and Van Beukering, P.J., 2012, The Economic Impact of Ocean Acidification on Coral Reefs. *Climate Change Econ.* 3(01), 1250002.
- [5] Cacciapaglia, C., and Woesik, R., 2015, Reef?coral Refugia in a Rapidly Changing Ocean. *Glob. Change Biol.* 21(6), 2272-2282.
- [6] Carlson, N., 2015, Preferences for Coral Reef and Fishery Management in Okinawa, Japan. *J. Environ. Resour. Econ. Colby*, 2(1), 90.
- [7] Cultural Heritage Administration, 2017, JeJu Soft Coral Community.
- [8] Fonseca, C. E., 2009, The Value of Fijian Coral Reefs by Non-users: a Contingent Valuation Study to Investigate Willingness-to-pay for Conservation, Understand Scale/Magnitude of Reef Problems and Provide tools for Practitioners (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- [9] Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2016, 2016 Coral Bleaching Event on the Great Barrier Reef.
- [10] Kim, H.J, Lim, S.Y and Yoo S.H., 2016, The Non-Market Benefits of Expanding Organic Waste-to-Energy Facilities: A Choice Experiment Study, *Environ. Policy*, 24(4), 103-119.
- [11] Korean Federation for Environmental Movements, The World's Largest Natural Monument(soft coral communities in Jeju) is Damaged Seriously, <http://kfem.or.kr/?p=173179>(accessed

- 2018.03.22.). Korea Development Institute, 2004. Research on Value of Cultural and Scientific Facilities.
- [12] Korea Development Institute, 2012. Detail Knack for Feasibility Analysis of BTL.
- [13] Lee, J.S., Yoo, S.H. and Kwak, S.J., 2006, Consumers' Preferences for the Attributes of Post PC: Results of a Contingent Ranking Study. *Appl. Econ.* 38, 2327-2334.
- [14] McFadden, D., 1973, Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. In: Zarembka P(ed), *Frontiers in Econometrics*. Academic Press, New York.
- [15] McFadden, D., 1978, Modeling the Choice of Residential Location. In: Karlquist A, Lundquist L, Snikars F, Weibull JW(eds), *Spatial Interaction Theory and Planning Models*. Sterdam, North-Holland.
- [16] Mohamed, M. (2008), Economic valuation of coral reefs: a case study of the costs and benefits of improved management of Dhigali Haa, a marine protected area in Baa Atoll, Maldives.
- [17] Ministry of Environment, 2005, The Culture of Protective Species of Anthozoans and Rehabilitation.
- [18] Ministry of Oceans and Fisheries, 2013, A Planning Study on the Research and Development of the Marine Ecosystem Restoration.
- [19] Ocean today, Restoring Coral Reefs, <https://oceanoday.noaa.gov/restoringcoralreefs/>(accessed 2018.03.18).
- [20] Park, S.Y., Lim, S.Y. and Yoo, S.H., 2016, The Economic Value of the National Meteorological Service in the Korean Household Sector: A Contingent Valuation Study. *Sustainability*, 8(9), 834.
- [21] Park, S.Y., Lee, C.S., Kim, M.S and Jo, I.Y., 2018, The Conservation Value of Coral Communities in Moonseom Ecosystem Protected Area, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.* 24(1), 101-111.
- [22] Reef Resilienc Network, Value of Reefs, <http://www.reefresilience.org/coral-reefs/reefs-and-resilience/value-of-reefs/>(accessed 2018.03.22.)
- [23] Shen, J., 2009, A Choice Experiment Approach in Evaluating public Transportation Projects. *Appl Econ Lett*, 16, 557-561.
- [24] Science & Technology Policy Institute, 2005. Valuation of Eco-friendly Technology Innovation.
- [25] Tarfasa, S. and Brouwer, R., 2013, Estimation of the Public Benefits of Urban Water Supply Improvements in Ethiopia : A Choice Experiment, *Appl. Econ.* 45, 1099-1108.
- [26] Weijerman, M., Gove, J.M., Williams, I.D., Walsh, W.J., Minton, D. and Polovina, J.J., 2018, Evaluating Management Strategies to Optimise Coral Reef Ecosystem Services. *J. Appl. Ecol.* <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13105>.
- [27] Yoo S.H., Kwak S.J. and Lee J.S., 2008, Using a Choice Experiment to Measure the Environmental Costs of Air Pollution Impacts in Seoul. *J. Environ. Manag.* 86, 308-318.

Received 16 April 2018

1st Revised 21 May 2018, 2nd Revised 29 June 2018

Accepted 13 July 2018