

복합형 인공어초의 개발 및 구조 성능 평가

고훈범, 김희동*
인하공업전문대학 건축과

Development of hybrid artificial reef and basic structural performance tests

Hune-Bum Ko, Hee-Dong Kim*

Department of Architect, Inha Technical College

요약 본 연구의 목적은 기존의 콘크리트형 및 강재형 인공어초가 가지고 있는 제작, 설치 및 운용상의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 형태의 복합형 인공어초를 개발하고 이에 대한 기본적인 구조 성능을 정적가력 실험을 통하여 평가하는데 있다. 이를 위해 기존에 콘크리트형 및 강재형 인공어초의 장단점을 문헌적으로 평가하고 두 인공어초가 가지고 있는 장점은 최대한 유지하면서 각 인공어초의 문제점을 효율적으로 극복할 수 있는 새로운 형태의 복합형 인공어초를 개발하여 대안으로 제안하였다. 또한 제안된 복합형 인공어초의 제작, 설치시 장점을 현실적으로 평가하기 위해 단위 모듈에 대한 제작 및 설치를 수행하여 제안된 복합형 인공어초의 현장 설치 용이성 및 목표한 장점의 확보 가능성을 확인하였다. 또한 제작, 설치된 단위 모듈을 대상으로 인공어초의 기본적인 구조 성능 평가를 위하여 정적가력실험을 실시하였다. 이상의 연구를 통하여 개발된 복합형 인공어초가 제작, 조립의 용이성을 확보하면서 적절한 구조적 성능이 발현됨을 확인하였다.

Abstract The purpose of this study is to develop a new type of hybrid artificial reef that can solve the problems of construction, installation and operation of existing concrete type and steel type artificial reef, and to evaluate basic structural performance through static loading test. For this purpose, we evaluated the strengths and weaknesses of concrete type and steel type artificial reef in literature, and developed a new type of hybrid artificial reef which can effectively overcome the problems of each artificial reefs while maintaining the advantages of two artificial reefs as an alternative respectively. In order to evaluate the merits of the proposed hybrid artificial reef, it was confirmed that the possibility of securing the convenience of the proposed hybrid artificial reef in the field and the possibility of securing the desired advantages were confirmed. Also, the static loading test was performed to evaluate the basic structural performance of the artificial reef. Through the above study, it was confirmed that the developed hybrid artificial reef exhibited proper structural performance while securing easiness of making and assemble. (mm) can be predicted to have a low value up to 60% of the strength of cylinders without reinforcement.

Keywords : Hybrid, artificial reef, unit module, structural performance, structural test

1. 서론

어 안정적인 수산자원 보호와 배양이 가능하게 하는데 중요한 역할을 하고 있다[1].

1.1 인공어초 현황

인공어초는 각종 해양 생물의 생활 및 산란장소로 이용되는 물론, 어린 물고기들의 성육장으로 이용될 수 있

이러한 인공어초는 자연과 동화되어 영구적으로 사용 가능해야 하며, 해양 환경을 오염시키지 않는 친환경적 재료로 제작 되어야한다. 또한 구조적으로 안정되어 장

*Corresponding Author : Hee-Dong Kim(Inha Technical College)

Tel: +82-32-870-2251 email: drkimhd@naver.com

Received June 21, 2018

Accepted September 7, 2018

Revised (1st July 31, 2018, 2nd August 22, 2018, 3rd August 30, 2018)

Published September 30, 2018

기간 조류에 의한 이동 등에 따른 파괴가 일어나지 않아야 한다.

인공어초는 2000년 이전까지는 콘크리트 구조물을 사용하다가, 2000년 이후부터는 세라믹이나 강재 등 다양한 재료를 활용하여 시설구조물을 만들어 설치하고 있다. 물론 현재도 콘크리트가 인공어초의 주재료로 사용되고 있다[2].

콘크리트 어초는 기본적으로 강알칼리 용출문제로 해조류의 조기 부착 효율이 낮고, 해양환경에서 강도감소 영향 및 해수에 의한 침식 등으로 내구성이 낮은 단점을 가지고 있다. 이러한 이유로 인공어초시설사업집행 및 관리규정에 의하면 인공어초 사업시 어초의 설계 및 제작기준에 “어초제작에 사용하는 재료는 해양환경오염을 유발하지 않는 친환경소재를 사용하여야 한다”라고 명시하고 있으며, 이에 대응하기 위하여 콘크리트 외에 강재와 세라믹 같은 재료들이 어초 재질로 사용되고 있다[3]. 그러나 강재와 세라믹 등의 재료들은 콘크리트에 비하여 가격이 비싼 단점을 가지고 있다.

최근 이러한 단점을 극복하고자 굴폐각을 이용하거나, 콘크리트에 공극률을 높인 포러스 콘크리트, 건설 폐기물을 재활용한 재생골재 콘크리트, 석유 추출과정에서 발생하는 유험를 사용한 유험콘크리트 등 다양한 해결책을 내 놓고 있으나 현재까지는 만족할 만한 성과를 내놓고 있지 못한 실정이다[4-8].

그리고 형상적으로 현재 국내에서는 70개 이상의 많은 형태의 어초가 개발되어 있으며 이러한 어초의 대부분은 현재 국내의 바다에 설치, 운영되고 있다[9].

그런데 이러한 어초의 상당부분이 구조가 복잡하고 일체형으로 구성되어 제작이 쉽지 않고 가장 많은 수를 차지하고 있는 콘크리트를 이용한 경우에는 거푸집제작에 많은 시간과 노력이 소요되며, 무게 또한 만만치 않아 운반과 이동에 고가의 장비가 필요하여 적지 않은 비용이 소요되고 있는 실정이다.

1.2 신형상 친환경 인공어초 필요성

기존에 개발된 일반 인공어초 중 현재 가장 많이 사용하는 콘크리트 어초는 4각 어초이다. 4각 어초가 가장 많이 사용되는 이유는 제작이 간단하고 비용이 저렴하며, 운반도 타 콘크리트 어초에 비하여 비교적 간단하다. 또한 해상 투하 후 군집구성이 쉽게 이루어진다는 장점을 가지고 있다.

하지만 콘크리트 인공어초가 가지고 있는 기본적인 단점으로 인하여 운반비 절감을 위해 가능한 투하 지점 근처에서 제작이 요구되며, 이를 위한 일정 규모 이상의 적절한 작업 공간이 요구되어진다. 또한 콘크리트 현장 작업으로 일손이 많이 필요하며 재료의 운반량이 많고 콘크리트 타설 및 양생, 거푸집 해체 등 제작 과정이 복잡하고 양생 등이 필요하여 제작 시간이 많이 소용된다. 또한 군집을 만들기 위해서 많은 양을 동시 제작해야 하는 번거로움을 가지고 있다.

강재어초는 콘크리트 어초의 단점인 제작공정의 복잡함과 군집형 어초 제작 어려움, 콘크리트 재료에 의한 바다오염 등을 방지할 수 있는 대안으로 개발되었다. 강재어초는 제작 및 조립이 간단하고 비교적 경량이면서 대형어초를 만들 수 있는 큰 장점을 가지고 있다.

강재 인공어초는 조립이 간단하고 콘크리트에 비해서 체적이 큰 인공어초 제작이 가능하다는 장점을 가지고 있지만 전 부재를 강재로 조립할 경우 제작 단가가 비싸지며 부재의 조립을 위해 현장용접 작업을 피하기 어렵다는 문제점이 있다. 따라서 기존의 인공어초가 가지고 있는 단점을 해소하면서 친환경적 특성을 좀 더 강화할 수 있는 인공어초 개발이 필요하게 된다.

2. 복합형 인공어초 개발

2.1 시험 모델 개발

본 연구에서는 기존의 콘크리트 어초와 강재 어초의 장점은 극대화 하면서 경제적이고, 현장에서 손쉽게 조립이 가능한 복합형 인공어초 개발을 목표로 하여 새로운 인공어초 연구에 착수하였다.

제안하고자 한 인공어초 시험모델은 스페이스프레임(space frame)과 공장제작 콘크리트(Precast Concrete)를 결합하는 형태로 구성하였다. 스페이스 프레임은 경량이며 강성이 커 외부의 하중에 저항해야 하는 구조체로 적당하며, 구 형태의 조인트를 통하여 현장에서 손쉬운 결합이 가능하며, 단위 모듈의 결합을 통하여 다양한 형태를 창출할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 스페이스프레임은 전량 공장에서 제작 관리되며, 현장에서 모듈 조립을 위한 용접작업도 없으므로 품질관리가 매우 용이하다.

프리캐스트 콘크리트는 현장에서 이루어지는 철근 제

작, 거푸집제작 및 탈형, 콘크리트 타설 등의 작업이 필요 없으므로 작업공정이 빠르며 품질관리가 용이한 장점을 가지고 있다.

시험모델에서는 이러한 장점을 극대화 할 수 있도록 스페이스프레임은 어초의 구조형태를 결정하는 역할을, 프리캐스트 콘크리트부재는 어초에 중량을 부과하는 역할과 공간을 구획하는 역할 및 해조류의 부착성능을 향상시키는 역할을 할 수 있도록 하였다.

Fig. 1은 신형상 어초 개발을 위한 첫 번째 모델로서 스페이스프레임에 독립형의 콘크리트 부재를 연결하는 방법으로 가장 간단하며 저렴한 방법으로 인공어초를 제작할 수 있다. 하지만 중량이 가벼워서 유속이 빠른 곳에서는 전도 또는 이동의 위험이 있으며, 단위시험체당 콘크리트 부재가 4개가 소요되어 다량의 콘크리트 부재가 필요하다.

두 번째 개선 모델은 스페이스프레임에 판형의 콘크리트 부재를 연결하는 방법으로 첫 번째 모델에서 문제가 되었던 콘크리트 부재를 단위 모듈당 1개의 콘크리트 부재로 구성하였으며 적절한 중량을 확보하여 유속이 빠른 곳에서도 적용이 가능할 수 있도록 하였다 (Fig. 2 참조). 다만, 구조적으로는 안정된 어초구성이 가능하나 어류에 대한 위집효과는 미약할 것으로 우려되며 패조류나 해조류의 서식환경을 제공하기에도 다소 어려움이 있으리라 판단된다.

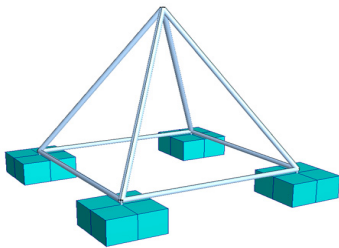


Fig. 1. Model 1 hybrid artificial reef

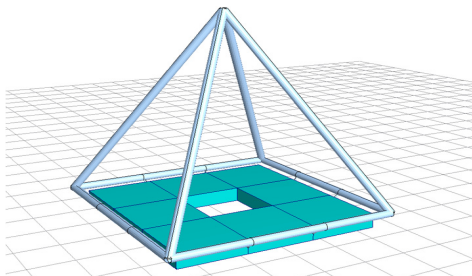


Fig. 2. Model 2 hybrid artificial reef

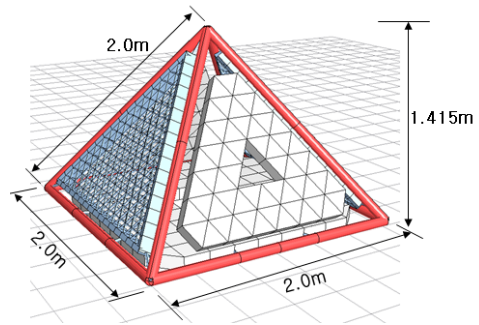


Fig. 3. Model 3 hybrid artificial reef

세 번째 개선된 모델은 스페이스프레임에 사각형과 삼각형의 콘크리트 부재와 삼각형의 철망부재를 설치하는 복합형 모델을 제안하였다(Fig. 3 참조). 하나의 단위 모듈만으로도 인공어초로 사용 가능하도록 사면에 삼각형 형태의 PC 콘크리트 및 철망으로 구성된 칸막이를 설치하여 어류의 생활공간을 구성하였으며, PC 콘크리트를 측면에도 추가하여 단위 모듈의 중량을 높여 유속이 빠른 경우(조수간만의 차가 심한 곳이나 태풍의 영향권에 있는 곳 등)에도 전도나 이동이 쉽게 일어나지 않도록 하였다. 또한 두 번째 개선 모델에서 문제가 되었던 어류 이외의 서식 어려움을 해결하기 위해 모든 면에서 해초류나 패류의 서식이 가능하도록 하였다. 그리고 철망으로 구성된 칸막이인 경우 철망 내에 수초, 재활용 재료, 어류의 먹이 등 필요에 따라 다양한 물질을 집어넣을 수 있는 장점으로 가지고 있다.

개선된 인공어초는 구조체를 구성하는 스페이스 프레임에 PC 콘크리트 및 철망부재를 설치하기 위한 방법으로 용접 대신 현장에서 조립이 용이하도록 연결철물을 볼트로 체결하는 방법을 선택하였다(Fig. 4 참조). 이를 통하여 현장에서도 간단한 공구로 인공 어초의 조립이 가능하도록 하였다.

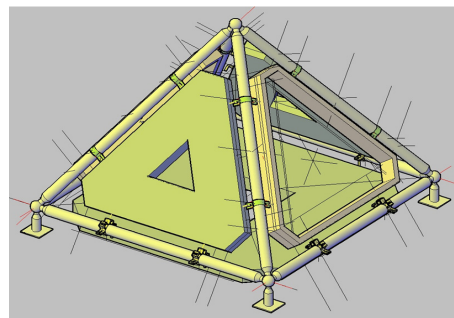


Fig. 4. Bolt connection of hybrid artificial reef units

2.2 시험 모델 제작 및 조립

2.1에서 개선 과정을 통하여 최종 결정된 복합형 인공어초의 실제 조립 용이성과 기본적인 구조성능 평가를 위하여 단위 모듈 실험체를 제작, 조립하였다.

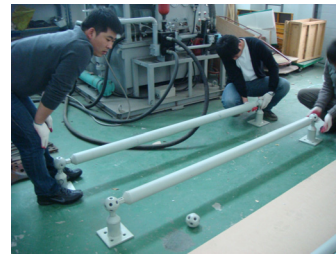
단위 모듈 실험체 제작은 스페이스프레임, 철망부재 및 고정장치, 콘크리트 판으로 나누어져 3곳의 공장에서 이루어 졌다. 실험체의 치수는 Fig. 3과 같으며, 제작에 사용된 스페이스 프레임은 일반적으로 가장 사용이 많이 되는 강종 및 치수를 적용하였다.

스페이스 프레임의 연결구(볼)은 SM45C 강종이 적용되었으며, 부재는 STK400 강종이 적용되었다. 주 부재는 ϕ -76.3×2.8 강관이 사용되었으며, 각 단위 unit은 제작 공장에서 제작이 되어 운송 되었으며, 실험체의 조립은 실험동에서 수행되었다.

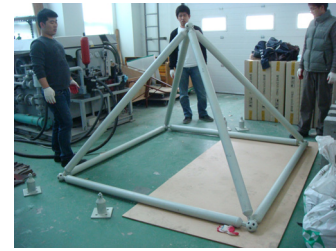
Fig. 5는 제안된 인공어초의 조립상태를 보여주고 있다. 스페이스프레임을 이루는 강관부재를 양쪽에서 연결구에 체결하는데 별도의 도구 없이도 현장에서 쉽게 조립할 수 있었다. 본 시험모델에서는 수평부재 4개, 경사부재 4개를 모두 같은 크기로 제작을 하여 조립시 수평 및 경사부재에 상관없이 조립이 가능하도록 하였다. 철망부재와 스페이스프레임의 연결 역시 큰 무리 없이 인력에 의해 설치가 가능하였다. 다만, 삼각형 콘크리트 부재와 스페이스프레임의 연결의 경우에는 콘크리트 부재의 중량 관계로 크레인을 사용하여 설치를 진행하였다. 현장에서는 이를 위한 별도의 소형 이동식 양중 장비가 필요할 것으로 판단된다.

전체적으로 제작과정은 큰 무리 없이 진행되었으며 숙련도가 낮은 인력에 의해서도 조립 작업이 원활하게 진행 가능하였다. 다만, 조립 단계에서 파악된 몇 가지 사항들 (스페이스프레임과 콘크리트 및 철망을 연결하는 고정장치 개선 및 고정장치 연결 볼트의 직경(10mm) 조정 등)은 추후 모듈 개선에 반영하여 현장 조립의 효율성을 높일 수 있도록 하였다.

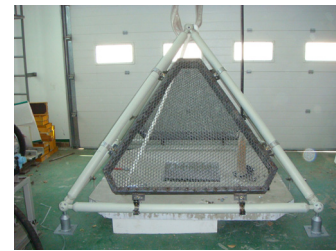
전체적으로 완성된 인공어초 시험모델은 안정적인 구조를 가지고 있으며 어류의 위집효과, 해조류나 패류의 서식환경에 매우 적합한 형태라고 생각된다. 경제적인 측면에서는 시험모델 한 개의 생산단가는 높지만 대량생산이 이루어진다면 가격 면에서도 충분한 경쟁력을 가질 수 있다고 판단된다. 또한 집합구성도 가능하므로 어떠한 조건에도 인공어초 구성이 가능하리라 예상된다.



(a) prepare to assemble



(b) assembling of steel frames



(c) assembling of steel grille



(d) assembling of concrete unit



(e) Unit module after assembling

Fig. 5. Assembling procedure of unit module

3. 인공어초 구조성능 평가

3.1 가력 및 계측 계획

제작된 복합형 인공어초 단위 모듈 실험체의 기본적인 구조 성능을 평가하기 위해 정적 가력실험을 계획하였다. 현 단계의 연구에서는 새로운 형상의 복합형 인공어초 시스템의 제안 및 실 제작 과정을 통하여 문제점을 파악하고 실용화 가능성을 평가하는 것이 주목적이므로 가력실험은 제안된 복합 어초의 단위 모듈의 하중 저항 성능을 실험적으로 평가하는 수준에서 진행이 되었다. 추후 모듈의 실용화를 위해 필요한 구조성능 평가를 위한 단위 및 군집 모듈에 대한 실험은 별도로 진행 예정이다.

가력실험을 위한 실험체는 2장에서 제작, 조립을 위해 적용된 단위 모듈을 활용하였으며, 실험체 하부에 고정 지점을 설치하여 실험체를 실험실 바닥에 장착한 후 실험체 상부에 액츄에이터를 이용하여 정적가력을 실시하였다(Fig. 6 참조).



Fig. 6. Test set up



Fig. 7. Loading point detail

기본적으로 복합형 인공 어초의 외부 프레임은 스페이스 프레임의 형태를 가지고 있으므로 향후 현장 설치

시에 주요 하중들이 절점을 통하여 가력된다고 가정하였으며, 대형 어초군을 형성하기 위해 각 unit을 연결할 경우에도 결국 주요 하중은 기본적으로 절점에 작용될 것으로 판단하여 가력 방식을 결정하였다. 그리고 가력 절점은 스페이스프레임의 불형 절점을 고려하여 별도의 가력 지점을 가공(Fig. 7 참조)하여 가력 절점에 편심에 의한 영향이 발생하지 않도록 하였다. 실험체에 발생하는 수직변위는 가력점에서 발생하는 수직변위를 측정하여 산정하였으며, 가력에 따른 스페이스 프레임의 각 부재의 변형률을 측정하기 위해 인장(B로 표기) 및 압축부재(C로 표기) 중앙부에 와이어스트레인게이지를 부착하여 변위를 측정하였으며 정면 좌측부터 시계방향으로 번호를 부여하였다.

3.2 가력 결과

복합형 인공어초 모듈의 가력 실험은 경사 압축 부재의 좌굴에 의한 내력 저하로 최대하중(577.8 kN)이 결정되었다(Fig. 8, 9 참조). 가력 중반에 연결구지지부에 변형이 발생하면서 하중이 지연되는 현상이 발생하였으나 일정 변형 발생 이후 구조체가 다시 안정을 찾으면서 내력 발현이 지속되었다.

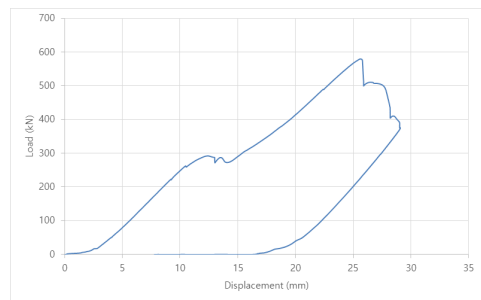


Fig. 8. Load-displacement relationship

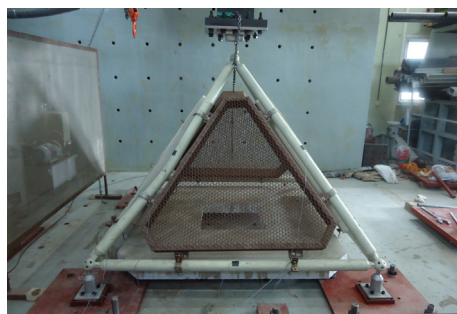


Fig. 9. Failure mode of specimen

이러한 하중 지연 현상은 단위 모듈 자체적으로 구성 이 된 경우 또는 단위 모듈이 연결된 복합 구조물이 되는 경우에는 별도의 지지부가 존재하지 않으므로 실제 수중 환경에서는 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

최대하중 도달 이후 가력 종료 시까지 압축좌굴이 발생한 대각 압축부재 이외에 다른 부위에서 파단 또는 연결부의 박리 등은 발생하지 않았으며, 최종 파괴는 압축 대각부재의 국부좌굴에 따른 내력 저하로 결정되었다.

스페이스 프레임 부재에 부착되었던 스트레인게이지의 결과(Fig. 10, 11)에서도 최대 내력 도달시까지 단위 부재들이 적정하게 하중에 저항하고 있음을 확인 할 수 있었으며, 이론적으로 예상할 수 있는 하중 분포를 따르고 있음을 볼 수 있다. 특히 압축부재의 변형률(Fig. 10)을 보면 강재의 항복변형률(1146.3×10^{-6})을 초과하여 국부좌굴이 발생한 것을 볼 수 있다. 따라서 사용하중 조건에서는 초기 국부좌굴의 발생 없이 적절한 하중 저항능력을 발휘할 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서 제안된 복합형 인공어초의 경우 고정하중에 대한 저항성능 이외에도 추가적인 외력에 대한 저항성능이 있음을 확인하였다.

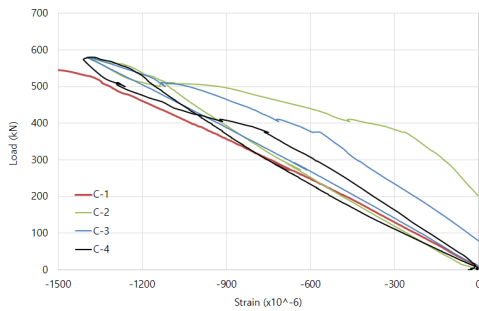


Fig. 10. Load-strain relationship (compression members)

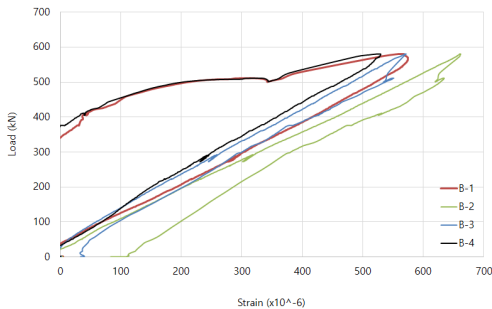


Fig. 11. Load-strain relationship (tension members)

4. 결론

이번 연구의 결과를 간단히 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기존에 인공어초의 문제점들인 제작 및 설치의 난이성을 해결하면서 어초에 요구되는 성능을 활용할 수 있는 복합형 인공어초를 제안하였다.
- 2) 제안된 복합형 인공어초의 단위 모듈 제작 및 설치 시연 결과 큰 무리 없이 소규모의 인력으로 조립 및 설치가 가능함이 확인 되었다. 다만, 중량물인 콘크리트 모듈의 조립을 위해서는 소형 양중장비가 필요하였다.
- 3) 제안된 모듈의 하중 저항능력을 평가하기 위해 수행된 정적하중 가력실험에서 단위 모듈은 최대하중 577.8 kN으로 나타났으며, 외부 하중에 적절하게 저항하면서 요구되는 성능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 금번 연구는 단위 모듈 제안에 국한되어 있으므로 추후 모듈을 활용한 집단형 어초 형성에 대한 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] Y. J. Kwon, "The present situation and approach methods for improvement of artificial reef", *Magazine of the Korea concrete institute*, Vol.14, No.6, pp.72-79, November, 2002.
- [2] J.H. Kim, S.K. Kang, C.G. Kim, Y.J. Kwon, M.H. Kim, "The present condition of domestic artificial reefs", *Magazine of the Korea concrete institute*, Vol.14, 2, pp.61-69, March, 2002.
- [3] Ministry of Oceans and Fisheries, Implementation and management regulation of artificial fish reef facility business, pp.1-7, Ministry of Oceans and Fisheries, 2013.
- [4] Kangneong Univ., "Research report : Development of artificial reef using oyster shell", pp.1-32, Kangneong Univ., February, 2002.
- [5] S.H. Choi, M.Y. Kim, E.I. Yang, "An experimental study on the development of functional porous concrete for artificial reef", *2006 Autumn proceeding of Korea concrete institute*, pp.869-872, November, 2006.
- [6] C.H. Hong, M.H. Kim, G.S. Woo, S.H. Ko, "Optimal mix design model of recycled aggregate concrete for artificial fishing reefs", *Journal of ocean engineering and technology*, Vol. 18. No. 1, pp.53-62, 2004.
UCI: <http://uci.or.kr/G704-000698.2004.18.1.004>
- [7] C.H. Hong, S.P. Ryu, S.B. Park, S.C. Kim, G.H. Kim, "An experimental study on the application of sulfur

concrete to artificial fishing reefs”, pp.2192-2195, 2006 Annual proceeding of Korea society of civil engineering, October, 2006.

- [8] C.H. Hong, S.C. Kim, D.Y. Jung, Y.G. Lee, “Development of environment friendly artificial fishing reefs using sulfur concrete”, pp.3623-3626, 2007 Annual proceeding of Korea society of civil engineering, October, 2007.
- [9] Korea fisheries resources agency, Categorization of artificial reefs [internet], Korea fisheries resources agency, Available From : http://www.fira.or.kr/fira/fira_030404.jsp (accessed May, 15, 2018)

고 훈 범(Hune-Bum Ko)

[중신회원]



- 1992년 3월 : Kyoto Univ. 대학원 건축학과 (공학석사)
- 2007년 3월 : Kyoto Univ. 대학원 도시환경공학과 (공학박사)
- 1992년 10월 ~ 1998년 2월 : 금호건설기술연구소 주임연구원
- 2012년 1월 ~ 2012년 12월 : Ghent Univ. 초빙학자
- 1998년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 건축과 교수

<관심분야>

건축시공, 건축재료

김 희 동(Hee-Dong Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 중앙대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 중앙대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2006년 8월 ~ 2012년 2월 : 현대제철주식회사 차장
- 2012년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 건축과 부교수

<관심분야>

건설구조용 강재, 건축 합성구조, 건축 강구조