

해조류 이식형 인공어초의 수리적 안정성에 관한 실험적 검토

신범식^{1*}, 정현준², 김규한²

¹관동대학교 미래융합학과, ²관동대학교 토목공학과

Experimental study on new artificial reef for hydraulic stability

Bum-Shick Shin^{1*}, Hyun-Joon Chung² and Kyu-Han Kim²

¹Department of Future Convergence Technology, Kwandong University

²Department of Civil Engineering, Kwandong University

요약 우리나라 연안생태계는 백화현상(갯녹음)에 의한 해조류의 감소와 어패류 등 어업자원의 감소로 인해 연안역의 황폐화에 직면해 있다 새로운 인공어초의 새로운 유형의 안정성을 평가하기 위해 본 연구에서는 2차원 단면수조를 이용하여 새롭게 개발된 인공어초의 설치수심에 따른 재현파고, 주기, 흐름 등 외력을 변화시켜 해조류 이식형 어초의 안정 조건이 되는 한계치를 구하고, 설계외력(파랑, 흐름 등)의 안정성에 대한 검토를 수행하였다. 본 연구 결과는 새로운 인공어초의 설계 및 실행에 시공하기 위해 구조물의 안정성을 사전에 검토할 수 있는 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract In Korea, quantitative growth rate of artificial reef construction is supposed to reach the peak point therefore, new approach is needed to the point of artificial reefs business. Functional reefs like shellfish reefs, recreational reefs, seaweed reefs as well as fish reefs are beneficial alternatives. This study conducted hydraulic testing to assess the stability of new types of artificial reefs (ARs) constructed to promote the growth of shellfish and seaweed. The results of this study revealed that some dimensionless design parameters affected the stability of new types of artificial reef under various wave and water depth conditions in the fixed bed condition. The findings also highlight the importance of hydraulic experiments in solving problems that have emerged in the design and construction of artificial reefs.

Key Words : Artificial Reef, Hydraulic model test, Similarity Law, Wave, Water depth

1. 서론

우리나라 연안생태계는 백화현상(갯녹음)에 의한 해조류의 감소와 어패류 등 어업자원의 감소로 인해 연안역의 황폐화에 직면해 있다[1]. 이와 같은 연안 생태계의 변화를 극복하기 위해 해조류를 섭식하는 전복, 소라, 성게 등과 같은 조식동물과 어류들의 산란장 및 서식장으로 활용하기 위해 바다속에 인공어초를 투입하여 새로운 서식지를 조성하는 기술들이 개발되고 있다[2]. 인공어초의 사용 연수는 일반적으로 30년 정도이며 어초는 그 기간

동안에 기능을 유지할 수 있도록 설계되어야한다. 설계의 내용은 주로 어초 침설시의 착저 충격력에 대한 내구성, 설치 후 파랑이나, 조류에 대한 안정성, 세굴 및 매물에 대한 검토가 중요하다. 어초의 안정성 중 유체력에 의한 활동 및 전도는 모리스식을 사용하여 이론적으로 검토하며, 직방향력과 연직방향의 양력을 합성한 유체력에 대해서 안정계산을 하고, 만약 불안정한 경우에는 자중 및 부재강도를 재검토하고 있으나, 최근에는 수리실험 및 현장 조사를 통해 흐름장과 파랑장의 환경에서 이루어져 왔으며, 이러한 결과를 바탕으로 인공어초의 안정성 평가에

본 연구의 자료 분석은 지역혁신센터와 한국수산자원관리공단의 연구비 지원을 받아 수행된 연구결과임을 밝히고 이에 사의를 표합니다.

*Corresponding Author : Bum-Shick Shin(Kwandong Univ.)

Tel: +82-33-643-3436 email: sbs114@kd.ac.kr

Received December 16, 2013

Revised January 8, 2014

Accepted January 9, 2014

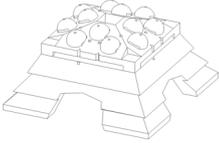
대한 연구가 진행되고 있다[3]. 본 연구에서는 2차원 단면수조를 이용하여 새롭게 개발된 인공어초의 설치수심에 따른 파고, 주기, 흐름 등 외력을 변화시켜 패조류형 어초의 안정 조건이 되는 한계치를 구하고, 설계외력(파랑, 흐름 등)의 안정성에 대한 검토를 수행하였다.

2. 신형인공어초

새롭게 개발된 신형인공어초(이식형 바이오 해중림초)는 해조를 이용한 이산화탄소 저감 방안책, 친환경적인 다공질 해중림초로 이용을 목적으로 개발되었다. 어초의 형상은 사다리꼴로 조류나 파도에 대한 안전성을 극대화하고, 어초의 상단부에 반구형 다공질 바이오 유니트(공극률 20% 이상)를 이용하여 다공질로서 해조류 착생 및 서식이 유리하며, 종사를 직접하거나, 별도의 종사줄이나 종묘를 할 수 있도록 종사 흡과 고정 흡을 설치하여 어초 상단에 설치할 수 있다.

해조류 이식형으로 다공질 바이오 유니트를 분리하여 다른 어초나 서식량이 적은 어초에 이식이 가능하다. 아울러, 특수 제작한 다공질 콘크리트 3.84m³ 사용하여 어초 표면적을 36.1m² 까지 극대화 시킨 우수한 어초로써, 어초내부에 유형생물이 서식할 수 있는 공간이 있어 유형생물 또한 서식이 가능하다.

[Table 1] New artificial reef

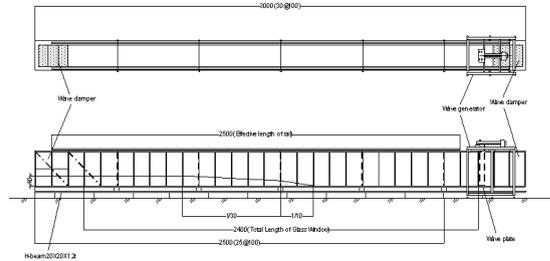
Design	Specification	
	Specification(m)	wide 3.1×3.1
		height 1.6
	Volume(m ³)	3.84
	Weight(ton)	8.1(unit)
	Surface area (m ²)	36.1
	Material	porous concrete
	Porosity	20%(±3%)

3. 수리모형실험

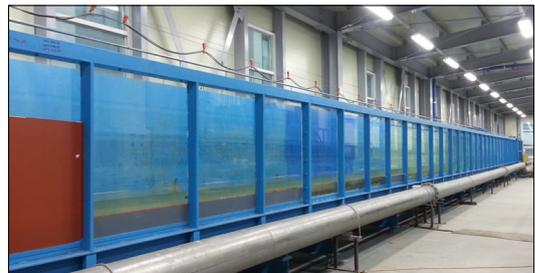
3.1 실험모형 및 실험장비

본 실험에 사용된 2차원 수로(two-dimensional flume)는 폭(B) 1.0m, 높이(H) 1.5m, 길이(L) 45m로 양면이 강화유리로 제작되어 실험단면 뿐만 아니라 입사파랑의 전반적인 경향에 대하여 관측할 수 있도록 설계되었다[Fig 1].

실험에 사용된 실험수로는 주기와 파고를 연속적으로 변화시킬 수 있게 설치되어 있는 전기 서보 피스톤식 조파기로서 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있도록 설계되었다[Fig 2]. 본 조파기는 조파판 전면에 용량식 파고계가 부착되어 있어 파고계에서 계측된 자료를 바탕으로 반사파 흡수식 제어가 가능하고, 수로 양쪽 끝 부분에는 여러 겹의 다공성 물질로 구성된 소파장치가 설치되어 있다. 스펙트럼 함수에 의한 불규칙파와 주어진 파고와 주기에 대응하는 규칙파를 조파할 수 있으며, Goda의 입반사분리법에 기초한 반사파제어 시스템이 내장되어 있다. 단면수조는 파고계와 파압계, 유속계 등을 연결하여 동시에 16채널의 자료를 얻을 수 있다. 본 수리모형실험에서 사용된 실험수로의 제원 및 조파기의 특성은 Table 1과 같다.



[Fig. 1] Concept of 2-dimensional wave flume



[Fig. 2] 2-Dimensional Wave Flume

[Table 2] Wave Flume and Wave Generator

		specification
Wave Flume		40m(L)×1.5m(B)×0.7m(H)
Wave Generator	Type	Piston
	Driving Sytem	Electronic
	Max Wave Period	0.1~3.0sec
	Max Wave Height	0.3m

3.2 주요영향인자

실험역에 인공어초가 설치될 경우, 어초가 설치된 사면상에 도달하면 입사파랑과 수심에 의한 영향으로 천수, 굴절 등에 의해 흐름이 발생함에 따라 어초의 형상에 따라 축류, 와류 등이 발생하게 된다[4]. 따라서, 인공어초의 안정성을 검토할 경우에는, 안정성에 미치는 영향인자로서 해저경사면상의 흐름특성을 파악하여 활동과 전도 특성을 파악하여야한다. 즉, 어초의 활동, 전도는 이러한 흐름에 의해서 야기된다고 판단된다. 우선 어초가 설치된 사면상에서 최대수립자속도의 입사파 특성 및 어초특성(해저경사, 사면의 조도, 공극률 등)에 의한 변화를 분명히 해준다. 여기서 말하는 어초 사면상의 최대수립자속도 (V_{max})는 어초 설치지점에서의 수립자속도 분포의 최대를 나타내는 것이고, 이 V_{max} 의 무차원량 V_{max}/\sqrt{gH} 는 차원해석에 의해 다음과 같이 다양한 무차원량에 의해 좌우된다고 생각된다. 그리고 최대수립자속도 V_{max} 는 본 연구에서 대상으로 하고 있는 어초 주변의 흐름 발생 메카니즘과 어초의 안정성을 검토하는데 이용하였다.

$$\frac{V_{max}}{\sqrt{gH}} = f(H/h, \tan\theta / \sqrt{H/L} (= \xi), \quad (1)$$

$$(h/L, H/L, \theta, e)$$

여기서, ξ 는 Battjets(1974)가 제안한 Surf similarity parameter이고 H는 입사파고, L은 파장, g는 중력가속도, h는 설치수심이다[5]. 본 실험에서는 다른 힘보다는 중력 성분이 탁월하고 점성의 영향은 무시할 수 있으므로 Froude 상사법칙을 사용하였다.

3.3 실험내용

3.3.1 실험조건

원형과 모형에서 흐름이 완전상사를 이룬다는 것은 실질적으로 불가능하다 할 수 있으며, 실제의 수리현상에서 하나 혹은 몇 개의 성분력이 작용하지 않거나 혹은 무시할 정도로 작은 경우가 대부분이며, 주로 지배하는 힘 하나만을 고려하여도 충분한 것이 보통이다. 유체가 받는 외력으로는 압력, 중력, 점성력, 표면장력, 탄성력 등이 있으며, 유체에 작용하는 주요 외력이 중력인 경우에는 Froude 상사법칙이 적용되며, 점성력이 흐름을 지배하는 경우에는 Reynold 상사법칙이 적용된다.

본 실험과 같이 자유수면을 갖는 파랑실험에서는 중력이 유체의 운동을 지배하게 된다. 따라서, 모형과 원형사이의 상사관계는 Froude 상사율에 의해 지배되며, 제반인

자는 Froude 상사율에 의해 수심, 해저경사, 모형제작 영역, 실험수조의 크기 등을 종합적으로 고려하여 연직 및 수평방향의 축척을 1/36로 결정하였다. 단, 실험에 사용된 모래의 경우, 해역의 입경을 정확히 상사할 수 없으며, 본 검토의 목적이 침식(세굴), 퇴적을 검토하는 경우가 아니므로, 유사한 입경의 모래를 사용하였다. 실험에 사용되는 어초모형은 합성플라스틱을 이용하여 제작하였으며, 중량 조절을 위해 납 성분을 추가로 혼합하였다. 이때 추가로 혼합된 성분이 모형의 한쪽 부분으로 치우쳐 무게중심이 이동하지 않도록 주의하였으며, Table 3에 어초의 제원 및 형상에 대해 나타내었다.

[Table 3] Model specification

	Prototype		Model	
	Size(m) (B*H*L)	Weight (t/ea)	Size(cm) (B*H*L)	Weight (g/ea)
	3.1x3.1 x1.6	8.1	8.5x8.5 x4.5	173 ~ 174

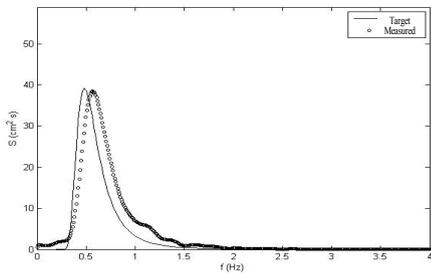
3.3.2 파랑조건 및 검증

본 실험에서 적용한 입사파랑 조건은 2차원 조파수조의 조파특성을 고려하여 Table 4와 같이 설정하였으며, 파랑의 불규칙성을 고려하여 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 이용하여 불규칙파 실험을 수행하였다. 어초 모형의 설치지점에서의 수심을 현지 수심 5~15m에 해당되는 13.89~41.67cm로 상사하였다. 입사파의 경우 기후변화로 외해에서 입사하는 파고가 점점 증가하는 경향을 고려하여 파고 5~8m, 주기 2~8sec를 선정하였으며, 100파 이상 조파하여 구조물의 전도나 활동을 관찰하였다. 디지털 캠코더와 카메라를 이용한 화상해석법을 이용하고, 파랑이 내습하는 동안 목측으로 파랑에 의한 어초의 움직임을 실시간 관찰하였다.

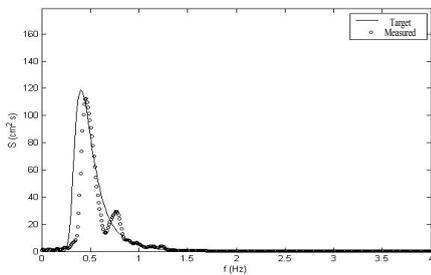
Fig. 3과 Fig. 4의 경우, 실험조건 가운데 대표적인 Case에 해당되는 파랑스펙트럼 해석결과를 나타낸 것으로, 입사파주기의 피크치와 실험치와는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다[6,7]. 따라서 이들 입사파조건을 실험시 입력 스펙트럼으로 각각의 파고와 주기를 변화시켜 조파기 입력함수로 사용하여 실험을 수행하였다.

[Table 4] Cases of hydraulic model test

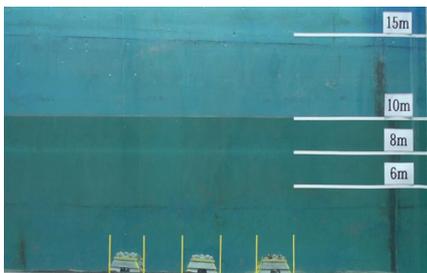
Cases	Water depth(D)		Wave Height(H)		Wave period(T)	
	Prototype(m)	Model(cm)	Prototype(m)	Model(cm)	Prototype(sec)	Model(sec)
Case 01	5.00	13.89	2.00	5.56	7.00	1.17
Case 02	5.00	13.89	2.50	6.94	9.00	1.50
Case 03	6.00	16.67	3.00	8.33	9.00	1.50
Case 04	6.00	16.67	3.00	8.33	11.00	1.83
Case 05	8.00	22.22	4.00	11.11	9.00	1.50
Case 06	8.00	22.22	4.00	11.11	11.00	1.83
Case 07	10.00	27.78	4.00	11.11	11.00	1.83
Case 08	10.00	27.78	4.00 </td <td>11.11</td> <td>13.00</td> <td>2.17</td>	11.11	13.00	2.17
Case 09	10.00	27.78	5.00	13.89	11.00	1.83
Case 10	10.00	27.78	5.00	13.89	13.00	2.17
Case 11	15.00	41.67	5.00	13.89	11.00	1.83
Case 12	15.00	41.67	5.00	13.89	13.00	2.17
Case 13	15.00	41.67	5.00	13.89	15.00	2.50
Case 14	15.00	41.67	8.00	22.22	11.00	1.83



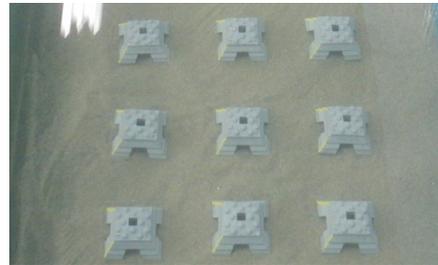
[Fig. 3] An example of spectrum analysis (H= 13.89cm)



[Fig. 4] An example of spectrum analysis (H= 19.44cm)



[Fig. 5] Installation of artificial reef(side view)



[Fig. 6] Installation of artificial reef(plane view)

4. 실험결과

4.1 수리모형실험에 의한 어초의 안정성검토

새롭게 개발된 인공어초의 안정성을 검토하기 위해 시설대상해역의 특성(설치수심, 파고, 주기)을 고려하여 실험파에 대한 어초의 안정성을 검토하였다. 실험역에서 인공어초의 최종 피해는 일반적으로 구조물이 제자리를 이탈하거나 파괴되는 현상으로 나타난다. 그러나, 일반적으로 수리모형실험에서의 구조물 안정성을 검토할 때에는 파괴는 고려하지 않고 단지 구조물의 거동으로 안정성을 평가한다. 따라서, 본 실험실에서는 파고 및 주기조건에 따른 구조물의 거동을 분석하기 위해 조파전과 후의 변화정도를 고화질 비디오로 촬영된 영상분석 자료를 이용하여 대상 어초의 안정성에 대한 평가를 시도하였다. 구조물의 안정성은 동일한 중량의 구조물이라 하더라도 사면의 조건(경사, 지반특성) 정도에 따라 변하며, 그 기초가 되는 저면의 안정성에 따라 큰 영향을 받으므로, 설치 위치에 대해서는 해저면의 모래구간을 길이 2m, 중앙입경 $D_{50}=0.16\text{mm}$ 의 모래를 5cm두께로 도포하여 현지조

건과 유사한 상태에서 실험을 수행하였다.

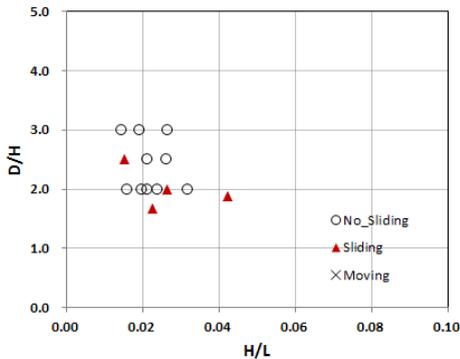
4.2 설치수심(D)과 내습파랑(H)에 대한 어초의 안정성 검토

하상을 모래로 재현한 15개의 실험안 중 Case8(수심: 10m 파고: 4m 주기: 13.0s), Case9(수심: 10m 파고: 5m 주기: 11.0s), Case10(수심: 10m 파고: 5m 주기: 13.0s), Case14(수심: 15m 파고: 8m 주기: 11.0s)에서 어초가 파랑의 진행방향으로 이동하는 현상이 발생하였다.

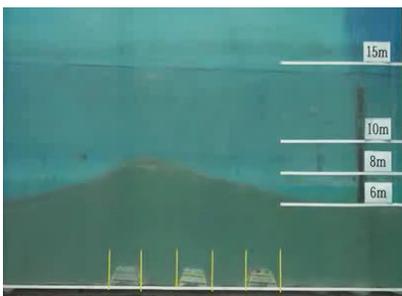
실험조건 Case14 (수심: 15m 파고: 8m 주기: 11.0s)에서 설치수심과 내습파랑의 비율(D/H)이 2.0범위에서 어초의 거동이 발생 되었으며, 설치수심과 내습파랑의 비율(D/H)이 3.0범위에서 안정을 확보하고 있는 것으로 판단 된다.

4.3 내습파랑(H)과 파장(L)에 대한 어초의 안정성 검토

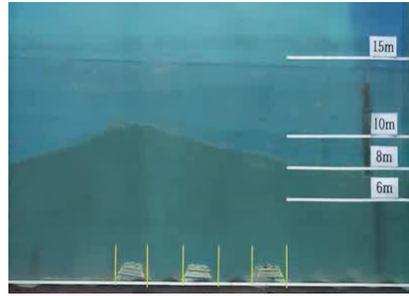
실험결과, 설치수심에 대한 내습파랑의 비율(D/H)이 1.9~3.1, 파형경사(H/L)가 0.016~0.024범위에서 안전성을 확보하였고, 그 외 4개의 실험 안에서 미세거동을 보이고 있는 것으로 나타났다.



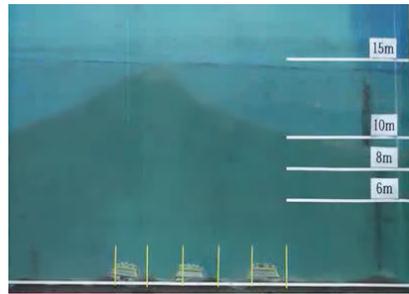
[Fig. 7] Experiment results



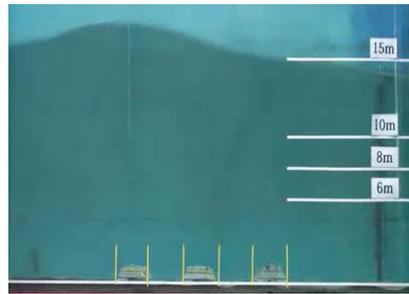
[Fig. 8] Scene of experiment (D=6.0m, $H_{1/3}$ =3.0m, $T_{1/3}$ =11.0sec)



[Fig. 9] Scene of experiment (D=8.0m, $H_{1/3}$ =4.0m, $T_{1/3}$ =11.0sec)



[Fig. 10] Scene of experiment (D=10.0m, $H_{1/3}$ =5.0m, $T_{1/3}$ =11.0sec)



[Fig. 11] Scene of experiment (D=15.0m, $H_{1/3}$ =5.0m, $T_{1/3}$ =11.0sec)



[Fig. 12] Scene of experiment(plan view) (D=10.0m, $H_{1/3}$ =4.0m, $T_{1/3}$ =9.0sec)

5. 결론

내습파랑에 대한 인공어초의 안정성 검토를 수행한 결과, 새롭게 개발된 인공어초의 사용목적에 따른 설치 대상수심인 15m 이내에서는 실험파랑(파고 및 주기)에 대해 전도, 활동을 포함한 구조물이 거동은 발생하지 않았다. 단, 검토대상파랑의 이 수심에 비해 급격히 증가하는 경우에서 불규칙파의 최대파랑에서 거동이 발생하고 있으나, 이후 추가적인 거동은 재현되지 않았다.

아울러, 실험대상 파랑 중 주기가 긴 12sec에 대해서는 파랑이 내습하는 방향(1열)에 설치된 어초의 하단에서 생성되는 사련의 형상에 의해 일부 기울어짐이 발생하였으나, 이러한 현상은 구조물의 특성(형태, 중량)에 의한 기울어짐이라기 보다는 긴 주기의 파랑 내습에 따른 전면 세굴에 의한 영향이며, 실험실에서 발생한 사련의 Scale Effect에 의한 것이라고 판단된다. 이외에 전도 및 활동 등의 거동은 관측되지 않았다. 따라서, 급회 검토된 인공어초는 설치수심에 따른 외력조건(파랑) 뿐만 아니라, 각각의 배열형식에 충분히 안정성을 확보하고 있는 것으로 판단된다. 본 검토에서는 파랑에 의한 안정성을 검토하였으나, 향후 어초 주변의 매물 및 세굴 등을 종합 분석하여 해저지형변화에 미치는 영향도 검토할 필요가 있다고 판단된다.

References

- [1] Sung-Bae Park et al., "Experimental Study on Development of Artificial Fishing Reefs Using Environment-Friendly Sulfur Concrete", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 21, No.3, pp.58-64, 2007
- [2] Jung-Woo Lee, "Development of underwater ecological park using artificial reef", Journal of Underwater Science & Technology, Vol.6, No.1, pp.17-21, 2005
- [3] Nam-Hyung Kim, Artificial reef for marine structure, Journal of fisheries Vol 30, pp.43-47, 1995
- [4] Cheong-Ro Ryu and Hyeon-Ju Kim, "A Study on the Characteristics of Wave Forces on Artificial Reefs", Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol.27, No.5, pp. 605-612, 1994
- [5] Battjets, J.A. (1974). "Surf Similarity", Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., pp 466-480, ASCE
- [6] Horikawa, K (1979). Coastal Engineering, University of Tokyo Press.
- [7] Goda, Y. (1985). Random Sea and Design of Marine Structures, pp 323, University of Tokyo Press

신 범 식(Bum-Shick Shin)

[정회원]



- 2002년 2월 : 관동대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 관동대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2012년 2월 : 첨단해양공간개발연구소 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 관동대학교 미래융합학과 조교수

<관심분야>
토목공학, 해안공학

정 현 준(Hyun-Joon Chung)

[정회원]



- 2014년 2월 : 관동대학교 토목공학과 (공학석사) 졸업예정

<관심분야>
토목공학, 해안공학

김 규 한(Kyu-Han Kim)

[정회원]



- 1900년 2월 : 명지대학교 토목공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 명지대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1990년 4월 ~ 1993년 3월 : 국립 OSAKA대학 대학원 토목공학과(공학박사)
- 2014년 1월 ~ 현재 : 관동대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
토목공학, 해안공학