

울돌목 조류발전의 연안물리적 관점에서의 고찰

강석구*, 염기대, 이광수, 박진순

Coastal-physical oceanographic aspects in relation to the tidal current power generation in the Uldolmok

Sok Kuh Kang, Ki-Dai Yum, Kwang Soo Lee, and Jin Soon Park

Abstract The pilot tidal current power plant is to be constructed at the Uldolmok between Chindo and Haenam, during next year, and extensive coastal engineering research works have been carried out. In this paper we describes some observation results of the tide and tidal current, as well as modeling work in order to investigate the tide and tidal current regime change in relation to the tidal current power plant (TCCP) construction. The special modeling skill in order to consider the turbine operation in the TCCP is developed and applied to the estimation for the flow regime change by the simple layout of the tidal current power plant.

Key words Tidal current power generation(조류발전), Uldolmok narrow channel(울돌목 협수로), Energy dissipation(에너지 감쇄), 조석특성(Tidal characteristics), 조위변화(Tidal variation), ADCP(Acoustic Doppler Current profiler)

* 한국해양연구원, 연안개발연구본부
 ■ E-mail : skkang@kordi.re.kr ■ Tel : (031)400-6313 ■ Fax : (031)408-5823

1. 서론

전라남도 진도와 해남사이에 위치한 울돌목은 조류유속이 매우 강하여, 한국해양연구원에서는 이 해역에서 조류발전 가능성을 염두에 두고 제반 역학적 특성을 조사함과 아울러 조류 발전에 따른 조석, 조류 특성 변화를 평가하기 위하여 수치모델링 연구 등을 수행하여 왔다.

본 논문에서는 울돌목에서 그간 수행된 조석, 조류관측 결과 및 조류발전소 가동에 따른 수리특성 변화 예측을 위한 수치모델을 연구 결과를 소개하며, 수로에서 최대 가능 조류발전량 산정과 관련된 문제를 검토한다.

2. 현장조사 및 결과

2.1 울돌목 장단기 조석관측 및 결과

울돌목에서의 장기 조석 특성 및 수치모델의 경계조건 취득을 위하여 단기(1개월) 관측 (T1, T2, T4, T5) 및 분석을 실시하였다. 장기조석 관측은 울돌목 최협수로 시험조류발전시설 설치위치 인근해역(T3)에서 1년 장기조사를 실시하여 각종 구조물 설치시 활용되는 조위면도 등 작성하기 위하여 실시하였으며 조위관측기를 이용한 10분 간격을 실시하였다. 조사기간은 2003년 8월 13일 이후 약 1년간 관측(Fig. 2)을 실시하여 성공

적으로 자료를 획득하였다. 1차로 관측자료를 동계와 하계로 구분하여 분석한 결과, M2분조의 하계와 추동계의 진폭크기는 107.2cm, 110.5cm로서 하계가 작은 특성을 보였는데 이는 기존에 알려진 남서해역의 조석계절 변화 특성(Kang et al., 1995)을 반영하는 것으로 판단된다. 수로경계에서 수집된 단기 관측자료는 울돌목 초정밀 수치모델의 경계자료 획득에 활용되었으며, 장기 자료는 제반 구조물 설계고 산정에 활용될 예정이다.

2.2 울돌목 조류관측 및 결과

울돌목 최협수로내 하(추)계 정밀조류 특성 파악 및 모델 검증자료 확보를 위하여 2003년 9월 이후 1개월간 관측하였다. 조사방법은 울돌목 최협수로 지점(진동에서 100m 지점)에서 ADCP를 이용한 조류관측을 실시하였으며, 계류후 약 1개월간 관측을 실시하였다 관측지점은 Fig. 1에 A1 지점이다. 관측기

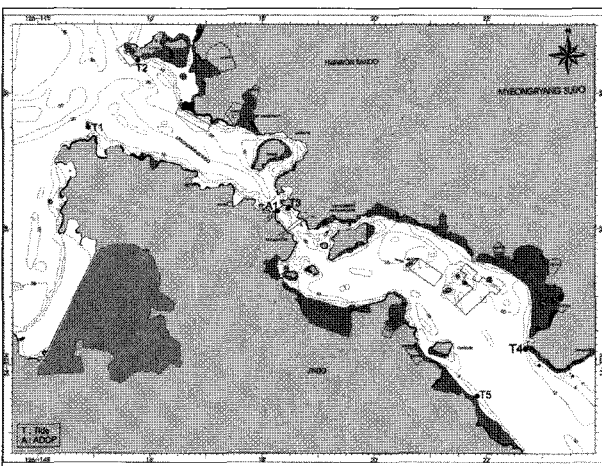


Fig. 1 Observation location of tide and tidal current (ADCP)(A1).

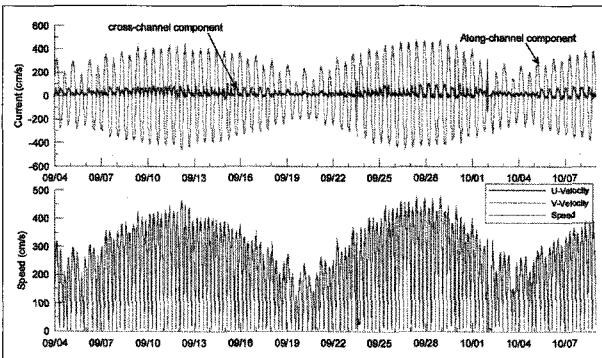


Fig. 2 Along and cross-channel component of depth-averaged current(upper) and temporal variation of current speed(lower).

간은 9월 5일 이후 1개월간 관측을 실시하였다.

2003년 9월 4일부터 10월 8일까지 진도측 협수로에서 2분 간격으로 연직 23개 층에서 1m 간격으로 관측을 실시하였다. 유효 관측 층은 모두 18개 층으로 바닥 3m에서 20m까지 조류 정보 획득하였다. 바닥으로부터 20m층에서 최대 5.35m/s (11.7노트)로서 2002년 동계 관측 최대치보다 작으며, 이러한 특성은 공간적인 유속차이와 계절적인 유속차이에 기인하는 것으로 보인다.

관측기간중 수심평균 성분을 분류하여 Fig.2에 제시하였다. V성분이 수로방향 성분이며 U성분은 수로측 방향 성분이다. 유속(Speed)의 시간 변화를 제시하였다. 대조시 최대 유속이 대략 4.0~4.5m/s로서 대략 8에서 9노트 정도이다. 수심평균치의 1개월 평균유속은 236cm/s로서 약 4.7노트이다. 바닥으로부터 14m에서 20m까지의 상부 7개 층에서의 유속의 시간 변화를 검토한 결과, 아래층으로부터, 평균유속은 262, 263, 261, 252, 233, 203, 186cm/s로서 평균적인 최대유속은 5.2 노트(263cm/s)로서 바닥에서 15m 평균해면하 7m 정도 수심에서 나타난다.

3. 울돌목 정밀해수유동 모델 수립 · 검증 및 적용

3.1 정밀해수유동 모델 수립

울돌목 인근 15km×(1~2)km 해역을 대상으로 1단계 2차원 조석·조류모델을 수립한 바 있다. 본 연구에 사용된 모델의 적용성은 Kang et al.(1998)에 상세히 기술되어 있다. 그러나, 시범조류발전소의 위치선정을 위하여 상세한 와류특성 재현 필요성이 제기되었으며, 이를 위해 초정밀(최소격자 20m) 가변 격자망 시스템(Fig. 3)을 이용한 격자망 구성하여 시범조류관측기 설치지점의 상세한 조류특성 예측하였다.

모델 검증을 위해 2002년 동계, 2003년 하추계시 관측된 ADCP관측 결과를 모델 검증자료로 활용하였다.

3.2 모델 적용

기존 연구를 통해 50m 격자의 경우, 낙조시의 경우 해상도 문제로 최협수로 인근의 조류 패턴중 역류의 강도가 부적절하

계 구분되어 20m 수준 해상도의 모델 수립 필요성 제기되었다.

3.2.1 모델검증 및 현상태 재현

전반적인 유동패턴 성공적으로 재현하였으며 관측치(ADCP)와 비교결과 계산치가 관측치를 매우 양호하게 재현됨을 확인하였다(Fig. 4). 현상태 실험에서 최협수로를 통과하는 유량변화를 산출하였으며, 순간 최대유량은 창, 낙조시 각각 25,000 CMS, 30,000 CMS에 달하는 것으로 나타났다. 이는 최대치는 양자강 유출수의 평균유량과 대략 비슷하다. 낙조시 진도측에 형성되는 상세한 와류특성 와류 성공적으로 재현 낙조시 진도대교 남측 진도측 연안에서 형성되는 와류 성공적으로 재현하였다(Fig. 5). 장기재현 결과를 바탕으로 모델 영역에서 조류,

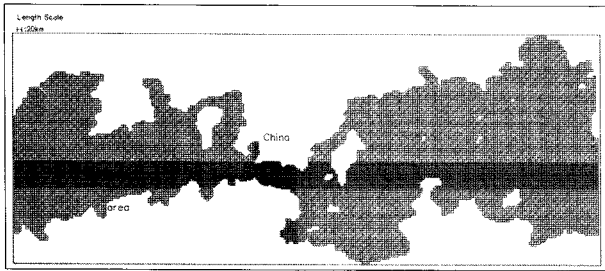


Fig. 3 Ultra fine grid system of the numerical model.

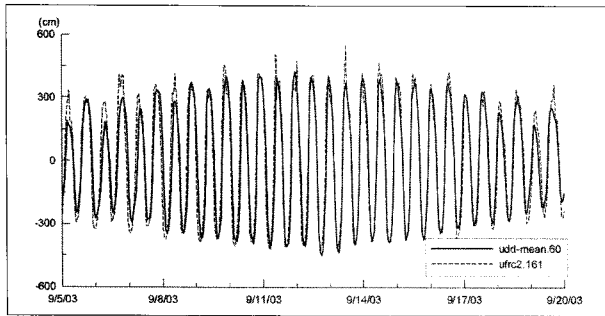


Fig. 4 Result of validation using the depth-averaged ADCP current data measured during September, 2003(solid: measured, dotted: computed).

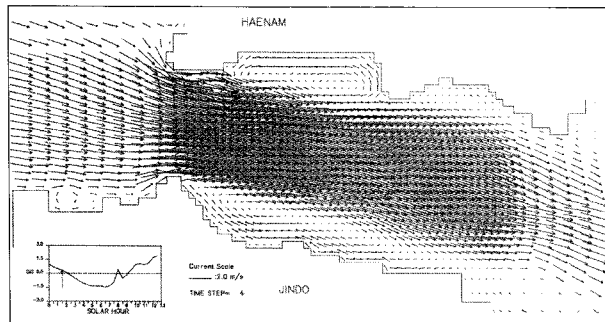


Fig. 5 Computed ebb current field around the narrowest channel in the Uldolmok.

조석 정보 산출 및 시범조류발전기 설치지점(진도대교 남측 약 40-50m 지점)에서의 조류발전 관련 정보 산출하였다.

3.2.2 진도측에서의 와류 특성 제거를 위한 매립실험

낙조시에 진도대교 교각 우측에 형성되는 대규모 와류의 존재 및 규모는 현장조사 등을 통해 확인된 바 있으며, 이러한 와류는 터빈 배치에 비효율성 야기한다. 와류생성으로 인한 비효율성 제거와 조류발전시 필요부지 확보를 위하여 부분 매립조건(Fig. 6)에서 유동특성을 검토한 결과, 지형변화로 와류가 소멸됨(Fig. 7)을 확인하였다. 따라서 매립은 조류특성 및 부지확보라는 측면에서 긍정적인 것으로 생각된다.

3.2.3 터빈 Array 설치에 따른 유동, 유량 특성 변화

터빈 가동시 발전량은 유량, 터빈을 경계로 한 수두차 등의

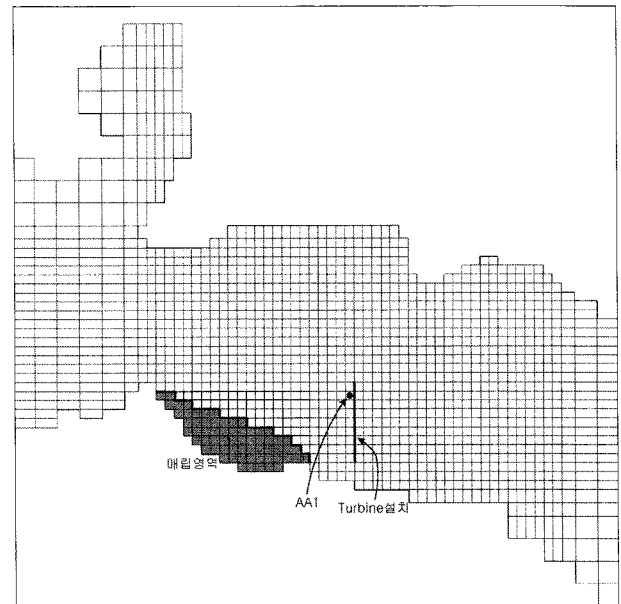


Fig. 6 Reclamation area for multi-purpose and location of the simple turbine array.

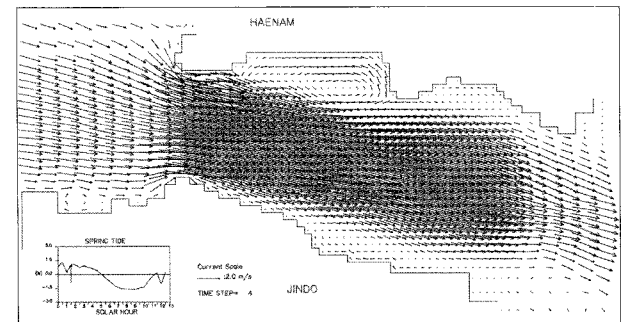


Fig. 7 Computed ebb current after reclamation.

함수이다. 발전소 가동에 따른 유동특성 변화는 이러한 관계식이 명확히 산정되었을 때 가능하다. 현 단계에서 수로 내에 설치된 조류발전소(Fig. 6)의 터빈위치 참조)에서 빠져나가는 에너지가 해저마찰로 빠져나간다고 전제하여 실험을 실시하고 있다. 이 경우 에너지 dissipation rate는 마찰계수의 크기에 비례하기 때문에 마찰계수를 증대시키는 조건에서 실험을 실시하였다. 마찰 즉 터빈설치에 따른 유동, 유량 특성변화는 0.0026를 기본으로 하여 38, 40, 100배 증대 조건에 대하여 실시하였다.

기본조건과 마찰계수 증대한 조건에서 터빈을 통과하는 유량의 변화에 대한 계산결과는 Fig. 8와 같다. 마찰계수가 증가함에 따라, 최협수로 단면과 터빈 Array 단면에서의 통과 유량이 감소하는 특성이 나타난다. 터빈 Array 단면 1개점(Fig. 7의 AA1)에서 마찰계수가 증대됨에 따라 유속감소 특성이 뚜렷하다(Fig. 9).

터빈설치와 마찰에 의한 에너지 감쇄를 비교하기 위하여 터빈설치 단면 양방향 20개 격자에서 감쇄를 산정한 결과, 마찰계수를 100배 증가시킨 경우, 주석주기평균 에너지 감쇄는 약 16,300kW이며, 최대 감쇄격자점(AA1)에서 조석주기평균 에너지 감쇄는 약 1,650Kw이다. 현상태 조건에서 24Kw임을 감

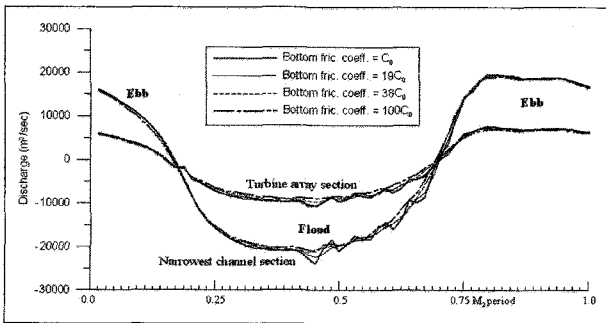


Fig. 8 Discharge change through the narrowest channel and turbine Array section due to turbine operation.

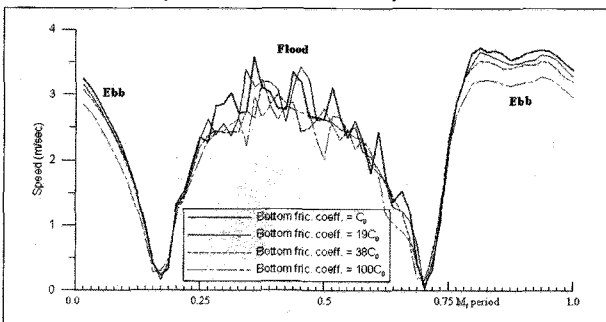


Fig. 9 Current speed change at one point (AA1) of the turbine Array section by turbine operation.

안하면 AA1격자에서 Turbine 설치로 인한 Power 추출은 약 조석주기 평균 1,626Kw에 해당한다.

조류발전소에 따른 유량변화와 그에 따른 해수유속, 수위의 변화는 유동환경과 관련하여 매우 중요한 요소이다. 따라서 이에 대한 평가를 위하여 3개의 터빈 Array가 배치될 경우, 유속특성 변화를 검토하였다. Fig. 10과 같은 3개의 터빈 배치조건에서 실험을 실시하였다. 터빈을 가동하기전의 유속장은 Fig. 11과 같고, 100C₀ 조건을 부여한 경우 계산된 창조류 해수유동장은 Fig. 12와 같다. 터빈을 통과한 후의 터빈 하류부에서의 흐름장의 크기가 크게 약화된 것을 알 수 있다. 아울러 좀더 엄밀히 비교하면, 분리되어 제시된 그림 상으로 명확히 구분되지는 않으나, 발전소 가동시 터빈 상류부에서도 흐름이 약화된 것을 알 수 있다. 이 같은 특성이 터빈 주위 특정해역에만 국한된 것인지 아니지는 현재의 결과로 명확치 않으나 발전소 가동시 수로를 통한 유입 해수량 자체가 변할 수 있다는 가능성을 시사

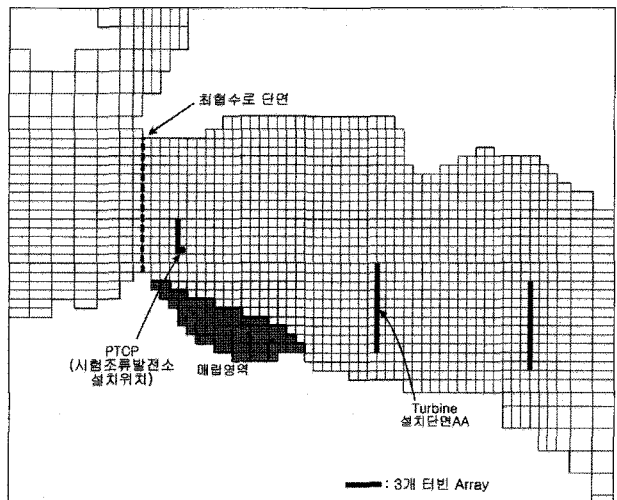


Fig. 10 Scheme of three turbine arrays for the tidal current power plant in the Uldolmok.

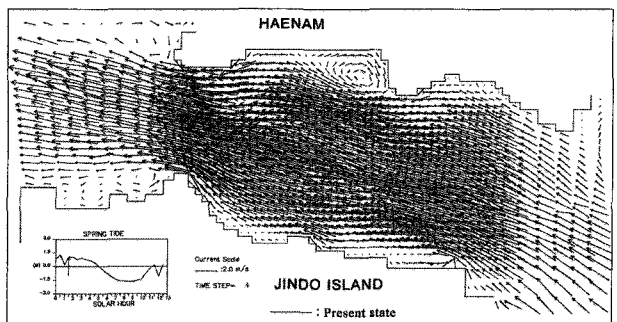


Fig. 11 Computed flood current field in the uidolmok, with tidal current power plant not operated.

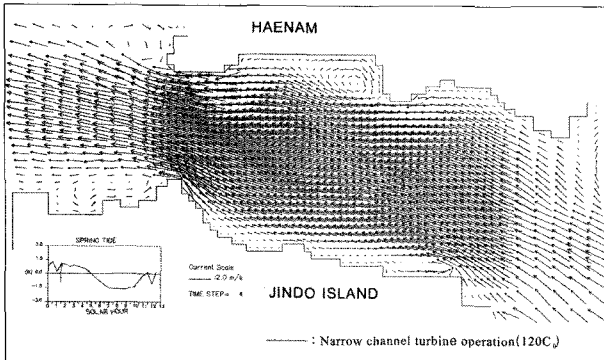


Fig. 12 Computed flood current field in the Uldolmok, with tidal current power plant being operated under the turbine friction condition of $100C_0$.

해 준다.

수로를 통과하는 유량이 변하는 정도와 발전소 가동에 따른 유입유량이 모델 경계에서 변하느냐의 여부는 매우 중요하게 평가되고 예측되어야 하는 요소이다. 이 같은 특성에 대한 엄밀한 평가를 위해서는 격자간격의 적절성, 모델 영역의 적절성 등 제반요소에 대한 재검토와 이를 바탕으로 한 정밀하게 고안된 실험을 통해 체계적인 연구가 가능할 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구를 통해 울돌목에서의 조석, 조류 특성을 고찰하고 조류발전 터빈이 가동될 경우, 유동환경 변화를 예측하였다. 이를 통해 울돌목과 같은 협수로에서 조류발전과 관련하여 수치모델은 제반 수리환경 변화를 사전 예측하는 데 중요한 연구수단이 될 수 있음을 보였다.

앞으로 수치모델 등의 기법 혹은 이론적인 분석방법을 이용하여 연구해야 할 사항은 울돌목을 포함한 특정수로나 해역에서 발전가능 용량의 특성에 대한 정보이다. 울돌목과 같은 수로에서 추출 가능한 최대 발전 용량 평가는, 해양물리적 관점에서 볼 때, 단순히 현재의 동력학적 흐름에너지 플럭스(Kinetic energy flux)를 모두 전력량으로 평가하는 방법으로 산정될 수 없다. 즉 발전을 위한 터빈수가 1, 2개일 때보다 보다 많은 터빈이 설치될 때 발전량이 많아질 것이나, 더 나아가 수로의 흐름을 저해할 정도로 무한히 많은 터빈을 설치할 경우는 흐름이 거의 차단될 정도에 이르러 발전량이 극히 적어질 것이다. 따라서 특정수의 터빈을 공간적으로 배치하는 조건에서 발전량

이 최대가 될 것이며, 이는 복합적인 요인에 의해 결정된다. 따라서 향후 실용적인 측면에서 가능 발전용량의 특성을 평가하기 위해서는 이러한 점을 염두에 두고 보다 면밀한 검토가 필요하다. 특정해역에 조류발전소를 건설할 때, 최적의 발전은 단순히 최대 발전량에 대한 정보뿐만 아니라, 실제 특정조건에서 유동환경이 어떻게 변할 것인가에 대한 사전 예측도 매우 중요하다. 전기를 생산하는 입장에서 최대 발전량과 경제성에 근거한 적정 발전량을 의도할지라도 유량의 감소 등 유동 환경 변화가 클 경우, 이러한 환경적인 요인이 발전소 건설업무를 결정하는 데, 더욱 중요할 수도 있을 것이기 때문이다.

본 연구는 해양수산부의 “조력, 조류에너지 실용화 기술개발”(PM29800) 연구사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

Nomenclature

CMS : m^3/s

Kw : 10^3 watt

subscrip

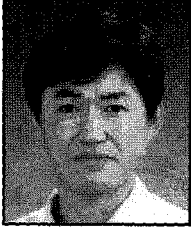
ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler

TCPP : Tidal current power plant

References

1. Kang SK, Chung JR, Lee SR. Seasonal variability of the M2 tide in the adjacent sea to Korea. *Continental Shelf Research* 1995;15:1087-1113.
2. Kang SK, Lee SR, Lie HJ. Fine grid tidal modeling of the Yellow and East China Seas. *Continental Shelf Research* 1998;18:739-772.

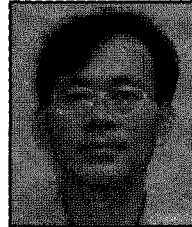
박진순



1989년 인하대학교 해양학과 이학사
1991년 인하대학교 해양학과 이학석사
2002년 인하대학교 해양학과 박사과정수료

현재 한국해양연구원 연안개발연구본부 기술원
(E-mail : jpark@kordi.re.kr)

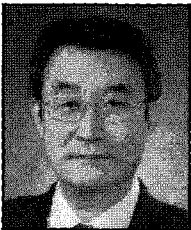
강석구



1983년 서울대학교 자연과학대학 해양학과 이학사
1991년 네덜란드 델프트국제수리환경연구소(IHE)
Computational Hydraulic과 이학석사
1995년 서울대학교 자연과학대학 해양학과 이학박사

현재 한국해양연구원 연안공학연구본부 책임연구원
(E-mail : skkang@kordi.re.kr)

염기대



1972년 서울대학교 공과대학 토목공학 공학사
1980년 파리 11대 해양퇴적역학 DEA
1980년 Ecole Nationale de travaux publique
d'Etat(ENTPE) DI
1983년 파리 11대 해양공학 공학박사

현재 한국해양연구원 원장
(E-mail : kdyum@kordi.re.kr)

이광수



1977년 서울대학교 토목공학과 공학사
1985년 네덜란드 델프트국제수리연구소 해안수리학과
공학석사

1998년 영국 리버풀대학교 토목공학과 공학박사

현재 한국해양연구원 연안개발연구본부 본부장
(책임연구원)
(E-mail : kslee@kordi.re.kr)