

울돌목 시험조류발전소의 기초 시공 사례

*권 오정¹⁾, 오 명학²⁾, 박 진순³⁾, 이 광수⁴⁾

A Case Study on the Foundation Work of Uldolmok Tidal Current Power Plant

*Ohjung Kwon, Myounghak Oh, Kwangsoo Lee, Jinsoon Park

Abstract : Uldolmok tidal current power plant was constructed on May 2009 at Jindo Gun in Korea. However it had much trouble in installing structure due to the extremely fast tidal current velocity(max. 5.5m/sec) and the jacket type plant structure. Therefore in this paper, The characteristics of tidal current and sea bed topography at Uldolmok tidal current plant site are investigated, and the detailed foundation work process of the plant is described.

Key words : Uldolmok tidal current power plant(울돌목 조류발전소), Foundation work(기초시공), Jacket type structure(재킷 형식 구조물)

1. 서론

최근 선진국을 중심으로 해양에너지 자원 확보를 위한 기술개발 경쟁이 가속화되고 있으며, 이 중 조류(tidal current) 에너지 및 조류발전용 수차에 관한 연구가 영국, 미국, 캐나다 및 노르웨이 등에서 활발히 수행되고 있다(해양수산부 2006).

그럼에도 불구하고 아직 본격적인 대규모 상업발전이 실현되지 못하고 있다. 이는 우선 조류발전이 가능한 기본 전제조건인 빠른 해수의 흐름이 나타나는 해역이 전 세계적으로 제한되어 있고, 현재까지 수차발전기를 포함하는 조류발전시스템의 실용화 기술이 확보되지 못한 것이 주된 원인이다.

우리나라는 다행히 서·남해안에 지형적인 특성으로 약 1,000MW 정도의 조류에너지가 부존되어 있는 것으로 추정되고, 경제성 확보를 전제로 개발가능한 에너지는 약 500MW 정도인 것으로 예상되는 등 조류발전 적지가 많이 분포하는 것으로 조사되었다. 이에 한국해양연구원에서는 국토해양부 국가연구개발사업 중 우리나라 조류발전 최적지인 울돌목을 대상으로 한 “조류에너지 실용화 기술개발”을 2001년부터 수행 중에 있다. 조류에너지를 개발하기 위한 실용화 연구의 일환으로 조류발전시스템에 대한 실내실험과 수치실험을 실시하였으며, 소규모 조류발전 실험장치를 울돌목에 설치하여 현장실험을 실시한 바 있다. 이와 같은 연구결과를 토대로 울돌목에 조류발전소 건설을 추진한 결과, 지난 2009년 5월 1,000kW급 시험조류발전소가 준공(Fig. 1 참조)되어 현재 현



Fig. 1 울돌목 시험조류발전소 전경

장실증실험이 진행 중이다. 그러나 준공되기까지

- 1) 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부
E-mail : kwjung@kordi.re.kr
Tel : (031)400-7703 Fax : (031)408-5823
- 2) 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부
E-mail : omyhak@kordi.re.kr
Tel : (031)400-7817 Fax : (031)408-5823
- 3) 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부
E-mail : jpark@kordi.re.kr
Tel : (031)400-7805 Fax : (031)408-5823
- 4) 한국해양연구원 연안개발·에너지연구부
E-mail : kslee@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6323 Fax : (031)408-5823

울돌목의 빠른 유속(수심평균 최대 5.5m/sec) 및 Jacket 형식 구조물의 특성으로 인해 울돌목 시험 조류발전소 건설 당시 시험발전소 구조물을 설치하는데 많은 어려움이 있었다. 이에 본 연구에서는 시험조류발전소 주변의 지반 및 해역특성과 기초 시공 사례에 대해 살펴보기로 한다.

2. 시험조류발전소 주변 지반 및 해역특성

2.1 지반특성

조사지역에 대한 지층의 분포상태 및 층후를 파악하고 암석의 물리적, 역학적 특성을 파악하여 경제적이고 안전한 설계 및 시공이 이루어 질수 있도록 지반공학적 자료를 획득하기 위하여 Fig. 2의 조사위치에서 지반조사를 실시하였다.

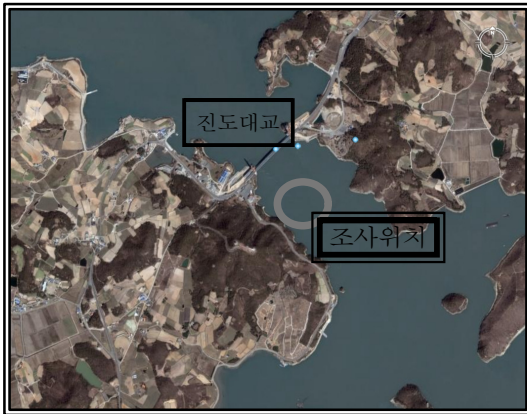


Fig. 2 시험조류발전소 주변 지반조사위치도

울돌목의 지질특성은 백악기의 분류산성암층으로 하부의 산성분류암질응회암 상부로 장석반암과 석영반암이 분포하며, 제4기의 층적층이 이를 부정합으로 피복하면서 주변 해안지대에 광역적으로 분포하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 1 시험조류발전소 해역 지질 계통표

| 지질 계통표 | |
|-------------|-------------------------|
| 지질시대 | 층 서 |
| 제4기 | 층 적 층(Qa) |
| ~~~ 부정합 ~~~ | |
| 분 류 산성암층 | 반암(kpd) |
| ~~~ 부정합 ~~~ | |
| 분 류 산성암층 | 석영 반암(kap) |
| | 장 석 반 암(kfp) |
| | 산성분류암질응회암 |
| ~~~ 부정합 ~~~ | |
| 분 류 녹암층 | 반 암(kp) 반암질 응회암(ktp) |

시추조사는 Fig. 3에 나타낸바와 같이 Fig. 2의

조사위치 중 해상의 2공에서(BH-1, BH-2) 표준관 입시험 및 지반시추(NX)를 실시하였고, 조사 결과로 구한 시추주상도 및 지층평면도를 각각 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다.

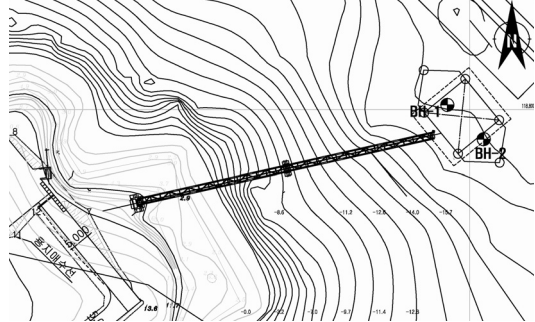


Fig. 3 시추조사 위치도

| 심도 Depth m | 층 후 Thick- ness m | 주 상 도 Column no Section | SAMPLE LENGTH (TCR % RGD %) | 지층 명 Description | 표준 관 입 시험 SPT 치수 치수 치수 | 시료 채취 방법 Sample No Method | 표준 관 입 시험 Standard Penetration Test N 치수 치수 치수 |
|------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---|---|--|--|
| 0.0 | 0.3 | | | 퇴적층: 0.0~0.3m 퇴적암 입도분포가 불량한 자갈(GP), 회사, 모회사, 모회사, 모회사 | HWR | S-1 | 0.5 |
| 1.4 | 1.1 | | | 퇴적층: 0.3~1.4m 연암층 기반암의 최상부의 퇴적암층, 퇴적암층의 상부에 실트질 모암으로 분해됨, 담암 면, 매우 조밀함 | MWR | | |
| 3.0 | 1.6 | | 53/0 | 연암층 퇴적층: 1.4~3.0m 기반암의 최상부의 퇴적암층, 퇴적암층 내지 실트질, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사 | HWR | | |
| 5.6 | 2.0 | | 72/0 | 연암층 3도의 물리군 + random (1) 60~75도 (2) 15~20도 (3) random 퇴적층: 3.0~5.0m 기반암의 최상부의 퇴적암층, 퇴적암층의 상부에 실트질 모암으로 분해됨, 담암 면, 매우 조밀함 | MWR | | |
| 8.0 | 3.0 | | 100/14 | 연암층 퇴적층: 5.0~8.0m 기반암의 최상부의 퇴적암층, 퇴적암층 내지 실트질, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사 | SWR | | |
| 9.1 | 1.2 | | 100/43 | 연암층 3도의 물리군 + random (1) 60~75도 (2) 15~20도 (3) 80~90도 (4) random 퇴적층: 8.0~9.2m 기반암의 최상부의 퇴적암층, 퇴적암층 내지 실트질, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사 | | | |
| 10 | | | | 연암층 3도의 물리군 + random (1) 60~75도 (2) 15~20도 (3) 80~90도 (4) random 퇴적층: 8.0~9.2m 기반암의 최상부의 퇴적암층, 퇴적암층 내지 실트질, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사 | | | |
| 15 | | | | 연암층 3도의 물리군 + random (1) 60~75도 (2) 15~20도 (3) 80~90도 (4) random 퇴적층: 8.0~9.2m 기반암의 최상부의 퇴적암층, 퇴적암층 내지 실트질, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사, 모회사 | | | |

Fig. 4 시험조류발전소 주변 시추주상도(BH-2)

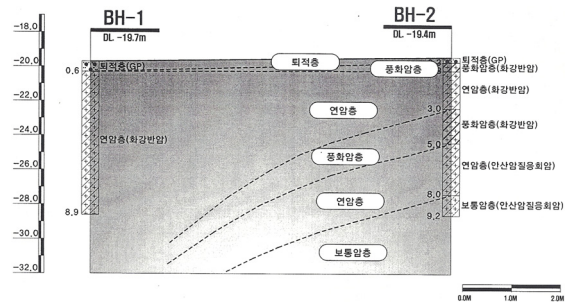


Fig. 5 시험조류발전소 주변 지층평면도

시추조사 결과를 살펴보면, 조사부지에 분포되어 있는 지층은 입도분포가 불량한 자갈(GP)로 이루어진 퇴적층이 상부에 약 0.3 ~ 0.6m 정도 분포하고 그 하부로 풍화암층이 약 1.1~2.0m의 두께로 분포하고 있는 것을 확인하였다. 또한 그 하

부로는 1.6~8.3m의 두께인 연암층과 1.2m 두께인 보통암층이 분포하는 것으로 조사되었다.

여기서 매우 심한 균열을 가진 절리군이 BH-2를 기준으로 심도(-) 1.4~3.0m에서 2지점, 5.0~8.0m까지 3지점이 분포하는 것으로 판정되었다. 비록 심도(-) 8.0m 이하의 보통암층에서도 절리군이 발견되었지만, 보통암의 특성 상 안정성에 영향은 없을 것으로 판단된다.

따라서 jacket 구조물의 기초가 절리군이 발견된 연암층까지만 근입될 경우 구조물의 안정성에 심각한 영향을 미칠 우려가 있기 때문에, 보통암층 혹은 기초가 절리군이 없는 연암층까지 기초가 근입하도록 구조물을 설계하였다.

Table 2 지층별 시추조사 결과 요약표

| 지층 | USCS | 두께(m) | N-값 (TCR/RQD) |
|-------|------|---------|------------------|
| 퇴적토층 | GP | 0.3~0.6 | - |
| 풍화암층 | - | 1.1~2.0 | 50/5 |
| 연 암 층 | - | 1.6~8.3 | (44~100/0~14) |
| 보통암층 | - | 1.2 | (100/43) |

2.2 해역특성

전라남도 해남군 우수영과 진도군 녹진 사이에 위치한 울돌목은 명량수도의 중간지점에 위치하며 지형적으로 허리가 좁은 형태로서, 해양특성을 살펴보면 대조차는 약 3m 정도로 크지 않으나, 창조와 낙조시 수도의 양단에서 발생하는 약 2m의 수위차로 인해 협수로에서 수심평균 최대 5.5m/sec의 강한 유속이 발생한다. 또한 울돌목 수로는 유속이 빠르고 해협의 폭이 약 500m 정도로 좁아서 발전 구조물의 설치 및 발전효율이 극대화될 수 있는 조건을 갖춘 지역으로 국내에서 조류발전의 최적지로 고려되고 있다.

Fig. 6에 나타낸 바와 같이 울돌목의 수심 및 해저지형은 대상지역의 남동쪽 끝단에 최대 45m 이상의 깊은 골이 발달되어 있고, 이 지역을 제외한 대부분 지역에서는 최대 20~25m 정도 수심의 깊은 골이 울돌목 수로를 따라 길게 발달되어 있다. 진도쪽 진도대교 남단 해역은 해안선에서 15m까지 급한 경사와 함께 깊어지다가, 15~18m 사이는 매우 완만한 해저지형으로 조류발전소 건설시 구조물 설치 등의 시공에 유리한 조건인 것으로 판단되었다.

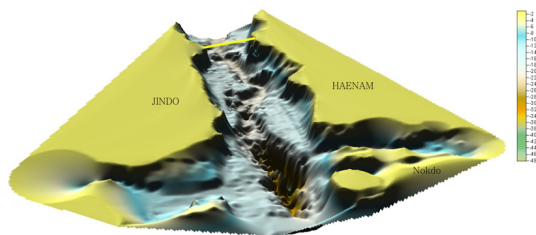


Fig. 6 울돌목 해저지형

이러한 지반 및 해역특성을 바탕으로 jacket 구조물이 해상에 설치될 때 구조물의 안정성을 위

해 보통암층 또는 절리군이 없는 연암층까지 8m 정도의 깊이로 RCD 천공을 실시한 후 pile을 삽입하고 콘크리트를 타설하는 기초 시공 방법을 제안하였다.

3. 시험조류발전소 조류발전 구조물

울돌목 시험조류발전소의 발전시설 지지구조물은 Jacket 형식으로 결정하였다. Jacket식의 경우 플랫폼이 고정되어 있어 발전작업 및 유지관리 시 우수한 작업조건을 가지고 있으며, 설치 및 작업비용 측면에서 경제성도 높은 것으로 조사되었다(이광수 등, 2005; 해양수산부 2006).

Jacket식은 낮은 수심에 설치될 경우에는 강재가 많이 필요하지 않기 때문에 재료비가 절감되고, 강구조체의 제작이 수월하고 빠르다는 장점이 있다. 또한 파랑, 조류 등에 저항할 수 있는 적절한 원형 단면을 가진 부재로 이루어져 시공성이 우수하다.

Fig. 7은 울돌목 시험조류발전소의 Jacket 구조물 단면도를 나타낸 것이다. 시험조류발전소의 크기는 가로, 세로 및 높이가 각각 16m, 36m, 50m이고, jacket의 중량은 약 1,000톤 정도이다. 기초 시공을 위해 DL(-) 17.00m부터 DL(-) 25.00m까지의 8m 부분이 RCD 천공 이후 지반에 삽입되도록 제작하였다.

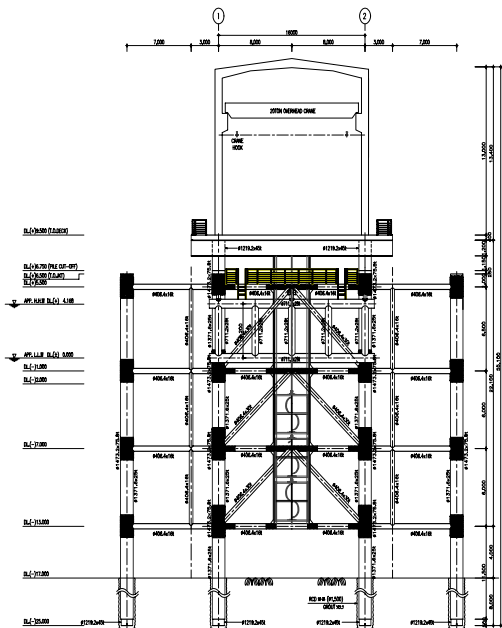


Fig. 7 시험조류발전소 jacket 구조물 단면도

4. 울돌목 시험조류발전소 기초 시공

울돌목 시험조류발전소는 육상에서 jacket 구조물을 제작한 후 현장의 빠른 조류속 하에서도 jacket을 신속하게 설치함과 동시에 안정성을 확보하기 위하여 Fig. 8과 같이 해상에 jacket을 거치하고, 이후 해상에서 jacket leg 내부를 굴착하여



Fig. 8 울돌목 시험조류발전소 기초 시공 전경

파일을 설치하는 기초시공방법을 적용하였다(박종화 등, 2008).

육상 시공에서의 안정성확보를 위해 jacket 설치 후 데크 프레임에 가설치하고, 상부에 900ton의 콘크리트 블록을 재하하였다. 또한, jacket의 상부에 데크 프레임을 상재한 일괄식 lifting 공법으로 신속하고 정확하게 자켓구조물 설치하였고, 데크 프레임과 말뚝의 간섭을 피하기 위하여 데크 프레임을 약 50도 회전하고 간섭부위를 가절단하였으며, 중량물 확보방안으로 콘크리트 슬라브를 타설하여 설치하는 방법을 적용하였다.

육상조립이 완료된 jacket 구조물은 2.5 m/sec 이하의 조류속이 이어지는 2008년 5월의 소조기 때 해상에 거치하였다.

설치 중 안정성을 확보하기 위하여 거치 후 빠른 시간 내에 중량물을 재하하여 수평력에 대하여 구조물의 활동(sliding) 및 전도(overtuning)에 대한 안정성을 확보하도록 하였다. 이후 지반특성 및 해역특성 조사결과를 바탕으로 기초를 보통암층 또는 절리군이 없는 연암층까지 근입하기 위하여, jacket leg 강관의 안쪽에서 8m 깊이로 RCD 천공을 실시하여 기초 pile을 삽입한 후 콘크리트를 타설하여 기초공사를 완료하였다. jacket 구조물 설치가 완료된 후 상부하우스 및 잠교 설치, 육상발전소 건축, 헬리콥 터빈 및 기전설비 설치 등의 후속공정을 수행하여 2009년 5월에 울돌목 시험조류발전소가 완공되었다.

5. 결론 및 제언

2009년 5월에 준공된 울돌목 시험조류발전소는 jacket 형식의 구조물로 현재 다양한 조건에서의 현장실증시험이 진행 중이다. Jacket 형식의 시험발전 구조물을 설치하기 위해 주변 지역의 지반 및 해역특성을 분석하여, 이를 토대로 시험조류발전소 구조물의 안정성을 위해 보통암층 또는

절리군이 없는 연암층까지 8m 정도의 깊이로 RCD 천공을 실시한 후 pile을 삽입하고 콘크리트를 타설하는 방법을 적용하여 기초를 시공하였다. 향후 jacket 형식 이외의 부유식 등 다양한 구조형식에 대한 연구를 수행할 예정이며 이때 각 구조형식 별 지반과 구조물의 상호작용에 대한 보다 정밀한 조사가 요구된다. 또한 기초 시공에 많은 어려움을 겪은 울돌목 현장과 같이 빠른 유속조건을 가진 해상 현장에서의 보다 신속하고 정밀한 기초시공방법의 개발이 필요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 조류에너지 실용화 기술 개발사업(PM54840)의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 박종화, 이상민, 박구용, 이정환, 김성욱, 구상철, 정원영, 천종우, 이광수, 염기대, 강석구, 박진순, 오명학, 2008, “울돌목 시험조류발전소 자켓 설치”, 현대건설 기술세미나 2008 논문집, pp.311-331
- [2] 산업자원부, 에너지관리공단, 2007, 산-재생에너지 RD&D 전략 2030 [해양]
- [3] 이광수, 염기대, 박진순, 강석구, 박우선, 한상훈, 정공일, 박정우, 2005, “울돌목 조류에너지 개발현황과 전망”, 한국신재생에너지학회 춘계학술대회 논문집, pp. 512-515
- [4] 한국해양연구원, 2008, 울돌목 시험조류발전소 설치지점 지반조사보고서
- [5] 해양수산부, 2002, 해양에너지 실용화 기술개발(II): 조력·조류에너지
- [6] 해양수산부, 2006, 조력·조류에너지 실용화 기술 개발(1단계) 보고서