

연안항로내 해저케이블 매설을 위한 적정 굴착단면의 산정

김희재* · 이동현* · 이중우†

*한국해양대학교 대학원, † 한국해양대학교 건설공학과 교수,

Evaluation of Optimal Dredging Section Area for Burying Submarine Cable across the Coastal Waterways

요 약 : 최근 해양에너지플랜트 및 도서지역을 연결시키기 위한 해저 파이프라인 및 통신, 전력 케이블 매설공사가 빈번하게 이루어지고 있다. 특히, 연안항로를 가로지르는 해저케이블 매설공사에는 준설장비를 동원하여 해저부를 굴착하고 케이블을 부설한 후 상단을 덮어 보호하는 일련의 작업과정이 행해지며 이 과정에서 해저저질의 상태, 준설심도, 조류 또는 연안류의 흐름강도, 수심, 통항선박 등 다양한 조건에 따라 단면의 굴착심도 및 폭이 결정되며, 작업의 순서 또는 방법에 따라 여굴의 정도도 변하게 된다. 본 연구에서는 우리나라 서해안 실제해역에서 연안 도서를 연결하는 전력, 통신망의 개통을 위한 해저케이블 부설과 관련한 굴착단면의 실태를 실제 현장여건과 관련해서 적정단면과 준설물량의 산정을 다루어 해저환경변화에 대처하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 이를 위하여 대상해역에서 주요설계 지점에 따른 해저부 굴착단면의 평가와 적정단면을 검토하였으며, 이 단면에 따른 준설 적정물량을 산정하여 작업공정에 활용할 수 있도록 하였다.

핵심용어 : 해저케이블, 준설심도, 해저저질, 굴착단면, 준설물량

1. 서 론

우리나라에서 외국인에 의해 부설된 1884년 덴마크가 부산~나가사키, 영국이 거문도~상해의 해저케이블이 있으나 광복 이후 국내 최초의 해저케이블은 1980년 개통된 한일간 해저동축케이블 부설로 부산의 송정과 일본의 하마다간 153km구간이고 현재까지 한일간에 운용 중에 있다. 그 후 1990년 4월 최초의 해저광케이블이 제주~고흥 144km구간에 건설되었으며, 그 해에 한국과 홍콩, 일본을 연결하는 국제해저 광케이블망에 연결한 이후 인천~영종도 외 서해 도서, 울릉도~삼척의 개통되어 운영되고 있으며 최근 계속해서 한반도 주위 섬을 연결하기 위한 케이블 부설공사가 이어지고 있다. 한편, 해저케이블은 해저에 부설되기 때문에 트롤선 등 어업활동이 활발한 지역에서는 선박의 닻이나 어구 등에 의해 케이블이 손상되기 쉽고 강한 흐름이나 파랑의 작용으로 해저면과의 마찰 등으로도 케이블이 손상되므로 이를 막기 위하여 일반적으로 철선으로 보강한 외장 케이블을 사용한다. 해저케이블은 부설지역에 따라 천해용과 심해용으로 나뉘는데 천해용은 해안부터 수심 약 500m 지역에까지 펼쳐진 비교적 경사가 완만한 대륙붕 지역에 설치되는 케이블로 외장 케이블이 사용되며, 심해용은 어업활동이 활발하지 못하고 자연현상에 의한 피해가 비교적 적은 심해에

설치되므로 무외장 케이블을 사용할 수도 있다.

본 연구에서는 도서지역에 배전전력공급을 위한 연안항로상의 해저케이블 부설 루트 굴착시 강한 흐름을 고려한 해저부 굴착 최적 단면의 평가와 적정 준설물량의 산정을 시도하였다.

2. 대상해역의 실태

충남 서천 유부도 농어촌 진화사업관련 해저케이블 건설공사 사업에서 전북 군산시 소룡동 장산도와 충남 서천군 유부도간의 해저부 굴착을 시도하였다가 대상해역이 금강하구의 군산 내항과 외항의 항로상에 위치하고 있어서 군산외항측 항로 구간의 시점을 선박통항을 고려하여 금강하구 방향으로 이동하여 해저케이블 부설 루트가 변경되어 주변 저질실측 및 유동 자료를 참조하여 적정 단면과 준설량을 분석하였다.

2.1 대상지역의 위치

전북 군산시 소룡동 장산도~충남 서천군 유부도사이로, 북쪽으로는 안흥항이 위치하고 있고, 남쪽으로는 새만금 방조제가 위치하고 있다. 대상해역은 남서쪽으로 서해와 연결되고 그 밖의 방향은 육지와 접한 광활한 지대이며, 남북으로 4~5km, 동서로 약 30km길게 뻗어 있는 지역이다.

금강하구는 2개의 주 수로를 제외하고는 간사지가 넓게 발달되어 있어 간척이 용이하며, 실제로 군산 외항과 국가산업 단

† 교신저자 (중심회원), jwlee@kmu.ac.kr 051)410-4461

* 정희원, jumpu119@naver.com, fasbb406@naver.com 051)410-4981

지는 대규모 간척사업에 의해 조성된 지역이다.



Fig. 1 Location map for the dredging area

2.2 대상해역특성

대상해역은 북동쪽에는 장항읍과 금강하구둑, 동쪽으로는 군산시가 위치하고 있으며, 서쪽으로는 남방파제 및 북방파제 등에 의해 차폐되어 있고 서쪽 일부만 외해로 열려있는 반폐쇄성 내만 형태의 수로에 해당한다. 이 해역은 반일주조가 우세하면서 평균조차는 277cm이지만, 대조시에 603.4cm의 큰 조차를 나타낸다. 금강수문의 작동시에는 수로부를 따라 창조류가 70~100cm/s를 기록하여 항로매물에 영향을 미치고 있다. 또한, 금강수문을 개방하여 방류하는 경우가 매일 발생하고 있으며, 2013년도 1월~4월의 ‘금강수문방류량 관리자료’와 이를 근거로 계산한 ‘금강수문방류량 계산자료를 활용하여 방류시 단면평균유속을 계산하면,

$$\text{평균방류유량 } \bar{Q} = [1\text{월 } 2800(\text{m}^3/\text{s}) + 2\text{월 } 2300(\text{m}^3/\text{s}) + 3\text{월 } 2100(\text{m}^3/\text{s})] / 3 = 2400(\text{m}^3/\text{s}) \text{ (Fig. 2 참조)}$$

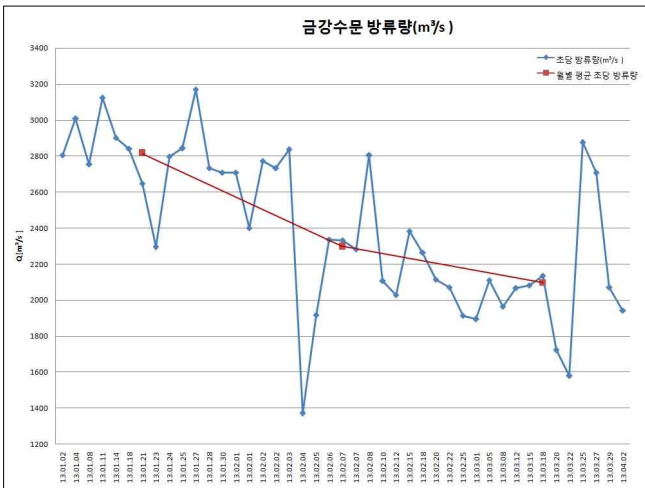


Fig. 2 Discharge from the Geumgang sluice gate (2013.1.2.~4.2)

사업지구내 평균 통수단면적 $\bar{A} = 5800\text{m}^2$
 \therefore 추정평균유속 $\bar{V} = \bar{Q} / \bar{A} \approx 0.4\text{m/s}$

최강 낙조시의 흐름을 0.40m/s를 증가시켜 1.60m/s가 되고, 최강창조류의 경우 그만큼 줄어들어 0.80m/s가 되어 금강수문의 방류시에 준설단면의 퇴적현상은 낙조시에 가세되는 것을 알 수 있다. 그러나, 수문으로부터 방류에 따른 유속의 증가 부분은 대체로 하루 2시간~5시간동안 간헐적으로 지속된다.

퇴적물이동계산에 사용된 부유사초기농도 값은 국립수산과학원에서 제시한 월별 10년간의 평균부유사 농도 자료를 통하여 그 평균값을 적용하였는데 북방파제 동측 끝단에서 북측 도류제와 유부도를 잇는 넓은 범위에 걸쳐 1~7cm/yr의 퇴적 양상을 나타내고 있으며, 북측 도류제 일부 구간 및 북방파제 인근에서 7cm/yr 이상의 퇴적양상을 나타내었다.

3. 해저케이블 루트 변경에 따른 적정단면 해석

3.1 해저케이블루트와 해저단면

기존루트는 군산외항에 출입하는 선박통항에 제약을 가져오거나 선박운항시 매설 케이블의 안정성에 위험요소에 해당하므로 최단거리의 계획루트를 변경하여 준설단면을 재구성하고 대상루트의 조류 및 방류유량에 따른 흐름과 매물을 고려한 해저케이블 매설부의 굴착단면과 적정 준설량을 산정하고자 하였다. 계획루트대비 변경루트에 대한 평면 및 단면배치도는 Fig.3과 Fig.4와 같다. 대상해역의 군산항부근 일부해역은 항로 준설이 일부 진행되었거나 시행할 예정이다.



Fig. 3 Altered submarine cable route and location

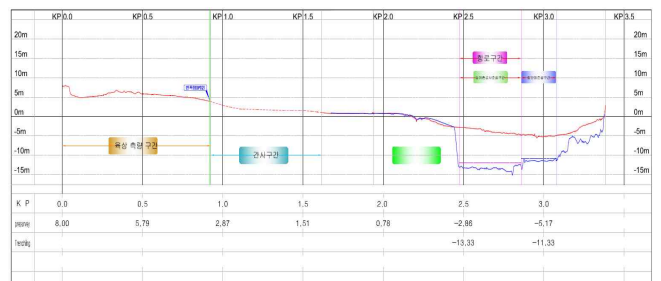


Fig. 4 Section plan for the altered submarine cable route

3.2 적정 굴착단면의 결정

준설한 경사면은 토질조건, 준설방법에 따라 차이는 있으나 준설시 경사면을 규정할 필요가 있으며 준설 후에도 시간의 경과에 따라 준설두께, 준설깊이, 파랑, 흐름, 해저지형 및 지질 등에 의해 자연안전경사 상태가 된다. 일반적으로 고려하고 있는 준설경사면은 항만 및 어항설계기준(2005)을 따르며 준설구역이 기존 구조물에 인접한 경우에는 준설로 인한 인접구조물의 원호활동 등에 대한 안전도를 검토하여야 한다. 해저의 경우 저질이 완전히 고결화 되어있지 않아 해당경사면이 안정되지 못하는데 BS(British Standard) Code에서 지침으로 나타난 준설사면경사는 흐름이 있는 물속에서 정적인 상태에서 경사와 차이가 많음을 지적하고 있고 Fine sand의 경우 안전에 필요한 경사각은 더 15°(정적인상태)와 5°(흐름상태)로 더 작아지는 것을 알 수 있다. 한편, Gerwick(2007)는 해양 사질토에 대한 표준관입시험결과와 경사면 안정경사에 대한 상관관계를 제시한 바 모래지반이 대상해역과 같이 very loose to loose인 경우 필요한 안정경사는 1:4로 하였다. 미육군공병단 USACE(1988)은 콜롬비아 강에서 하저사면 굴착 후 재퇴적에 의한 일반적 사면 안정 경사를 1:3으로 제시하였다.

3.3 굴착단면의 안정성 해석

굴착단면도 안정성 해석은 제시된 굴착단면도의 안정성을 알아보기 위해 일단계로 파랑 및 조류에 의한 물의 흐름 영향을 고려하지 않고 정적인 조건에서 수치해석과 실내실험을 수행하였다. 실험결과 계획 설계굴착경사 1:2는 매우 불안정한 경사면으로 특히 본 현장과 같이 흐름의 방향이 해저굴착 루트에 대해 가로지르는 직교방향인 경우 경사면 붕괴 및 매물현상은 더욱더 가속화될 수 있으므로 BS Code에서도 유동환경에서는 1:3.73 (slope 15°)를 권장하고 있고 대상수역의 조류의 유동조건이 큰 해역에 해당하므로 해저굴착 사면경사 1:4를 반영토록 하였다 (RIIT, 2013).

4. 준설토량의 산정

각국의 항만설계 지침에서 사용한 준설단면에 대해 토질, 준설심도, 사면, 유속 등을 고려하여 준설토량을 산정하였는데 기 시공설계에서는 케이블 매설깊이를 여굴두께, 시공오차, 여유두께 등을 반영하여 4m로 계획한바 여굴은 반영이 되었으나 여유폭은 미흡한 상태이고, 그레브의 시공하한인 2.5m를 하단 굴착폭으로 하고, 굴착사면을 1:2로 계획한 바 사면유지가 불가능한 상태로 나타났다. 따라서, 사면의 활동해석과 사례분석 및 기준을 참조하여 slope 1:3과 1:4를 계산하여 현장여건과 지침의 한계를 반영한 1:4를 안정면으로 설계에 반영하였다.

- 1) 사면경사를 1:3 으로 하였을 때 준설토량 : 98,405.67(m³)
- 2) 사면경사를 1:4 로 하였을 때 준설토량 : 127,013.29(m³)

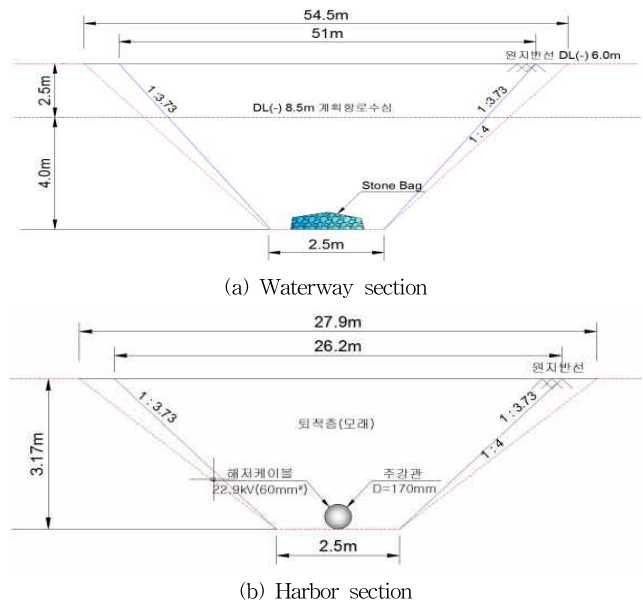


Fig. 5 Final section plans for calculation of dredging volume

5. 결 론

파랑 및 조류의 영향과 금강수문에서 방류로 인한 유속이 가세된 경우에는 기존 설계굴착경사 1:2는 매우 불안정한 경사면이며, 특히 본 현장과 같이 흐름의 방향이 해저굴착 루트에 대해 가로지르는 직교방향인 경우 경사면 붕괴 및 매물현상은 더욱더 가속화될 수 있으므로 굴착사면은 1:3 이상으로 완만한 경사를 적용할 필요가 있다. 정적인 상태에서의 실내수조실험에서 1:2의 경사면 상단이 유실되었고, 파랑 및 조류의 영향을 고려한다면 설계 준설굴착 경사 1:2는 매우 불안정한 상태라는 것을 알 수 있으며 수치계산에서도 안전율이 1.0 부근으로 나와 설계굴착경사 1:2는 매우 불안정한 경사면이다. 따라서, 대상수역의 조류의 유동조건이 큰 해역에 해당하므로 해저굴착 사면경사 1:4를 적용하여 준설량 127,013.29(m³)을 도출하였다.

감사의 글

본 과제는 해양수산부의 지원으로 수행한 해양에너지 전문인력 양성사업의 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] 군산지방해양수산청(2004), 금강하구 수리현상변화 조사 보고서.
- [2] 이종우(2007), 준설 및 매립공학, 한국해양대학교.
- [3] 해양수산부 (2005), 항만 및 어항설계기준, 상권.
- [4] Gerwick, B.C. (2007), Construction of Marine and Offshore Structures, Third Edition, CRC Press, pp.840
- [5] RIIT(2013), 해저부 굴착에 따른 기술자문보고서, 한구해양대학교
- [6] USACE(1988), Unpublished data from draft reports: Planning and Engineering Divisions.