

토질변화에 따른 Pump 준설능력 산정 Evaluation of Dredging Capability of Pump Dredger based on Soil Conditions

박홍신¹⁾, Hongshin Park, 유영인²⁾, Youngin You, 김하영³⁾, Hayoung Kim

- 1) 삼성물산 건설부문 광양항 준설현장 소장, P.M, Gwangyang Port Dredging Project, Samsung Engineering & Construction
- 2) 삼성물산 건설부문 광양항 준설현장 대리, Assistant, Gwangyang Port Dredging Project, Samsung Engineering & Construction
- 3) 삼성물산 건설부문 토목사업본부 항만팀 과장, Manager, Port Management Team, Civil Works Division, Samsung Engineering & Construction

SYNOPSIS : The Productivity of pump dredger varies very much depend on soil conditions is one of the main factors affecting construction period. Therefore the accurate evaluation of dredging capability of pump dredger considering soil conditions is a main task in dredging projects. After assessing the results of pump dredging on several Gwangyang port projects, some data of Japan standard for pump dredger are similar to those of actual results and a pump dredging capability table is prepared for future evaluation purposes.

Key words : Pump dredger capability, Conversion table based on engine capability, N-value

1. 서론

최근 수출입 증가에 따른 항만 확장준설과 항로 확보를 위한 유효수심 유지사업, 대규모 임해 공업단지의 조성, 주변 환경개선 등을 위한 대규모 준설사업 등이 증가하고 있다. 그러나 현장의 다양한 토질조건이 반영된 준설 설계기준이 마련되어 있지 않다.

현재 국내 준설 설계기준은 한국 농지개발 연구소에서 발행한 "방조제 단면의 해사축조방법 및 끝 물막이 공법연구"에서 제시된 전동환산(q)표를 적용하여 산정하고 있다. 그러나 이 전동환산표는 기본가정이 점토와 가는모래의 N 치를 기준으로 하고 있으며, 굵은모래, 경질점토, 자갈섞인 모래 등 토질조건이 감안되어 있지 않다. 이로 인하여 공사수행 도중에 단위시간당 준설량 q 값 산정의 어려움이 따르며, 특수토질 발생할 경우 설계변경에 따른 시간과 부대비용이 낭비되는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 다양한 토질조건을 객관적으로 반영할 수 있는 기준을 마련하는 것이 필요하다.

일본의 경우 12,000HP 준설선의 준설능력 기준은 토질별로 세분화 되어있다. 또한 이 기준을 참고로 일본 선진업체인 PENTA OCEAN은 토질조사를 반드시 사전에 시행하고 수십년간 시험을 통하여 자체 보유한 토질자료와 비교하여 가장 근접한 토질의 시험치를 실제 준설 작업량으로 산정하고 있다. 네델란드의 BALLAST HAM DREDGING도 토질자료와 토질 시험치를 근거로 실제 준설 작업량을 산정하고 있다.

본 논문에서는 일본의 기준과 광양항의 실제준설 실적치 그리고 설계기준의 3가지 데이터를 비교 검토하였다. 이를 통하여 토질의 변화에 부합하도록 준설 설계 기준을 개선하는데 기여하고자 한다.

2. 국내 준설설계기준 및 문제점

현행 정부 표준품셈(건설연구원, 2004)은 한국 농지개발 연구소에서 발행한 “방조제 단면의 해사 축조 방법 및 끝물막이 공법연구”에서 제시된 전동환산(q)표를 적용하여 산정하고 있다. 이는 모래층과 1,000HP급 디젤엔진을 기준으로 하고 있으며, 12,000HP 준설선에 적용시에는 환산하여 사용하고 있다. 표준품셈의 전동환산표에서는 점토질과 모래질로 구분하고 있지만 거리가 3.5km까지만 다루고 있다. 그 이상의 거리, 토질에 대해서는 모래질 실트의 경우 실적치를 참조하여 현장여건별로 별도 계상할 수 있다고 되어 있으나 참고 하기에는 미흡한 실정이다. 한국농지개발연구소 전동환산표는 12,000HP급의 경우 6.5km까지는 실적치 도표로 설정되어 있고 그 이상은 추정치로 선을 연장하는 것으로 되어 있다.

토질여건이 가장 중요한 사항임에도 정부 표준품셈을 참고로 모래 또는 점토의 기준만으로 준설능력을 산정하는 것은 특수한 토질의 경우 적용하기가 어렵다. 현재는 설계변경을 통해 현실적으로 반영하고자 하지만 지반 조사 자료를 근거로 설계하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다.

3. 광양항 지층 분포 및 준설 실적치 조사/분석

3.1 광양항의 지층분포

광양항은 여수반도 동부에 위치하며, 동으로 남해군 북으로 내륙과 연결되어 있다. 행정구역상 광양시, 여수시 및 경남 하동, 남해군으로 둘러싸인 동서 25km 남북 10km의 만으로 평균수심 20m인 특정 해



그림1. 광양항 개발 계획도

역에서 4개 향로로 구성된다(그림1).

향로구역의 수심은 DL(-)6.0m~(-)7.0m로서 계획수심은 전체 DL(-)16.0m를 위해 준설중에 있다. 특히 광양항은 타 지역에 비해 다양한 토질이 분포하는 지역으로서 준설공사시 각별한 주의가 필요하다. 광양항에서의 향로 준설은 다양한 토층으로 인하여 현행 준설 설계기준을 적용하는데 어려움이 많다. 광양항3단계의 대표적인 토질을 그림2에 나타낸다.

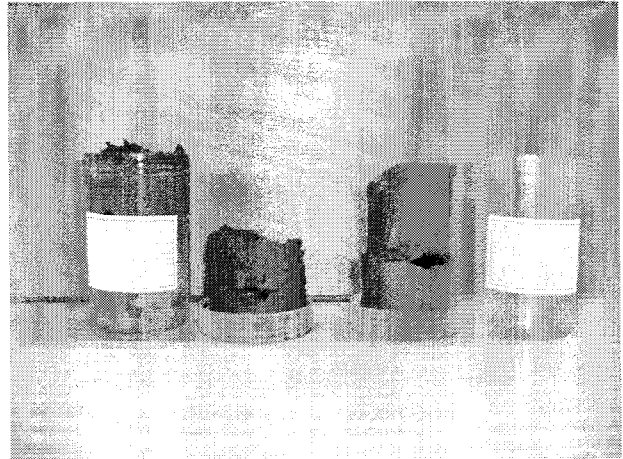


그림2. 광양항3단계 토질(왼쪽:점토, 오른쪽:경질점토)

광양항1,3단계토질조사보고서(광양항3단계준설 현장,2004)와 광양항2,3단계 토질조사 시험 및 설계적용 방안검토 보고서(해양수산부, 2002)에 따르면 광양항3단계는 점토층이 최상층부에 분포하며, 과거 수어천 인근지역으로부터 유수 등에 의해 운반, 퇴적되어 형성된 지층으로 DL(-)13.0~(-)14.0m까지 형성되어 있다. 토성은 실트 섞인 점토로 구성되어 있으며, Rod자중에 의해 관입될 정도로 매우 연약(very soft)하다. 암회석을 띠고 습윤 내지 포화정도의 함수상태를 보인다.



그림3. 경질점토 ClayBall현상

모래층 및 모래자갈층은 하천이 유입되는 인근지역에 분포하고 있으며 0.5m~2.5m두께로 확인되었다. 실트와 세립질·조립질 모래자갈이 혼재되어 있으며 담청색-갈색-암갈색을 띤다. 이층에 대한 표준관입시험결과 N치가 13/30~50/30로 조밀-매우 조밀한 상대밀도를 보이고 있고 습윤상태이다. 모래 및 모래자갈층준설작업시 준설효율이 상당히(약 이토의 30%수준) 저하되며 배사관 마모가 심하여 수시로 배사관을 보수하여야 한다.

경질점토층은 과거 인근 지역으로부터 유수들에 의해 운반, 퇴적되어 형성된 지층이며, 광양항1단계에서 광양항3-1단계 전면까지 주로 수심DL(-)14.0m부근에 1.0m~3.0m층후로 고루 분포한다. 토성은 실트 섞인 점토로 구성되어 있다. 점성이 매우 강하며, 표준관입 시험결과 N치 6/30~40/30으로 보통견고(Medium Stiff) ~ 고결(Hard)로 나타났다. 대부분 보통견고(Medium Stiff)한 Consistency를 보이며, 연녹색 내지 황갈색을 띠고 습윤정도(자연함수비 40%이하) 함수상태를 보인다. 이같은 토질은 Pump 준설시 ClayBall(그림3) 현상이 생겨서 준설능력이 현저히(약 이토의 30%수준) 떨어지며, 무리한 준설시 배사관이 막혀 준설이 불가능하게 되는 경우도 발생한다. 또한 점성이 강한 경질점토가 부착될 경우 이를 제거하기 위해 3~4회/일 Cutter를 들어 올리며, 이때의 Loss Time이 3~4시간/회 소요되기 때문에 준설능력이 이토 준설에 비해 약 30~40%로 저하된다.

3.2 광양항 준설공사 설계기준 운용

일반조건의 향로준설 공사에서는 농업진흥개발공사의 전동환산 계수를 기준으로 하고 거리가 한계거리를 초과할 경우 같은 기율기로 연장하였다. 효율 E값은 품셈의 양호한 조건 E=1.32를 적용하였다.

경질점토 구간, 기존향로 구간 등의 특수조건 향로준설 공사에서는 다음과 같이 설계기준을 운용하였다. 경질점토 구간에서는 작업의 난이도를 고려하여 Grab준설선을 투입후 1차 굴착하였으며, Pump준설

선으로 마무리 굴착과 투기를 하였다. 기존항로 구간에서는 항해선박과의 간섭을 고려하여 효율 E=0.72를 적용하였다. 거리가 작업능력 보다 큰 경우에는 이론상 6.5km 이상인 경우는 Boosting Pump를 사용하는 것으로 되어 있으나 거리가 8km 경우 전동환산표의 기울기를 적용하여 연장하였다.

표1. 광양항 준설 실작업량 검토표

NO.	구분	토질	물량(m ³)	실 작업량(m ³ /hr) 비교				작업여건		분석내용	비 고
				20,000HP	12,000HP	설계기준	일본기준	실제여건	설계기준		
1-1	광양항 3-1차 기초준설	이토/점토	2,002,934	1,872	1,404	1,723	1,425	보통	양호 E=1.32	일본 기준(E=1.32)과 유사하며, 실작업은 20,000HP사용.	L=5.5km (9BLOCK)
1-2	광양항 3-1차 기초준설	모래질자갈	294,835	523	392	1,185	383 조사기준	보통	양호 E=1.32	일본 기준(E=1.32)과 유사하며, 실작업은 20,000HP사용.	L=5.5km (9BLOCK)
1-3	광양항 3-1차 항로준설	이토	3,123,149	2,104	1,578	1,579	1,070	양호	양호 E=1.32	국내 기준과 유사하며, 실작업은 20,000HP사용.	L=6.5km (6BLOCK)
1-4	광양항 3-1차 항로준설	경질점토	44,700	600	450	1,432	480 짐성토	나쁨	양호 E=1.32	일본 기준(E=1)과 유사하며, 작업방해요소 적으나 토괴고딧음(h=2m). 실작업은 20,000HP사용.	L=6.5km (6BLOCK) 경질점토Test준설
1-5	광양항 1단계 항로준설	이토/점토	822,292	827	620	684	180	나쁨	약간나쁨 E=0.72	국내 기준과 유사(90%수준) 실작업은 20,000HP사용.	L=8.0km (묘도A2 BLOCK)
1-6	광양항 1단계 항로준설	이토	200,820		560	684	180	나쁨	약간나쁨 E=0.72	국내 기준과 유사(80%수준) 실작업은 12,000HP사용.	L=8.0km (묘도A2 BLOCK)
1-7	광양항 1단계 항로준설	경질점토	34,520		262	615	작업불가	약간나쁨	약간나쁨 E=0.72	국내 설계기준의 40%수준.	L=8.0km (묘도A1 BLOCK)
1-8	광양항 2단계 항로준설	경질점토	44,765	365	274	546	작업불가	약간나쁨	약간나쁨 E=0.72	국내 설계기준의 50%수준. 실작업량은 20,000HP급사용.	L=9.0km (묘도A1 BLOCK)
1-9	광양항 3단계 항로준설	이토	813,013		1,562	1,723	1,425	양호	양호 E=1.32	국내 기준과 일본 기준의 중간값 실작업은 12,000HP급사용.	L=5.5km (3단계투기장)

3.3 실작업량과 설계량의 비교검토

광양항 항로 구간에 대한 준설 실적치를 표-1에 나타낸다. 여기에서 L은 배송거리를 나타낸다.6BLOCK 및 묘도A1,A2BLOCK는 준설토 투기장을 의미한다. 20,000HP 펌프준설선을 사용한 실적은 비교를 위해 엔진비율 75%를 고려하여 12,000HP 펌프준설선으로 환산하였다. 실 작업량(m³/hr)은 실제 수행한 공사의 작업일보를 참고하여 작업일보상의 토질별 작업량(m³)과 장비가동시간(hr)을 통하여 산정하였다. 여기에서 준설장비는 20,000HP와 12,000HP중 준설여건에 따른 경제성을 고려하여 교대로 투입하였다.

표1의 결과는 실제로 장비, 토질 변수이외에 작업여건(굴착두께, 투기장여건, 작업간섭, 민원 등)에 따라 실적치의 변화가 크므로 실제 여건을 합리적으로 반영하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다. 국내 정부 표준품셈(건설연구원, 2004) 기준은 효율“E”값 적용시 주관적인 요소가 많아서 실제 여건을 세분화하여 적정기준“E” 값을 마련하여 객관적으로 적용하는 것이 토질문제 못지않게 중요하다. 참고로 설계기준과 실제 연건을 비교하여 도표에 명시하였고 같은 장소 비슷한 여건 하에서 투기거리가5km이상일 경우는 일반적으로 대형 준설선(20,000HP급)을 사용하는 것이 12,000HP급 보다는 생산성이 향상되는 것을 알 수 있다.

3.4 실적업량을 기초로한 준설능력

광양항 지층은 보통 이토와 점토가 혼재하고 있다. 이 경우 배송거리가 8km까지도 12,000HP급 이상의 Pump선으로 준설이 가능하다. 광양항에서 적용한 방식은 전동환산 계수를 기준하여 기울기를 연장한 값을 사용하였다. 모래층은 현재 국내 설계기준인 전동환산 계수 사용이 일반적이지만 운송거리가 6.5km이상일 경우는 운송능력이 현저히 떨어질 것으로 예상된다. 경질점토, 자갈섞인 모래층은 12,000HP급 이상의 준설선으로 8km까지는 준설, 투기가 가능하므로 광양항 설계기준인 Grab 굴착과 Pump 준설을 적용하는 방법 또는 실적치를 반영하는 것이 적합한 것으로 판단되었다.

실제 준설 시행시는 설계에서 고려하지 못한 투기장 여건(침강대기시간 등), 유지준설의 경우의 효율 저하, 수로고시에 따른 효율저하 등으로 인해 실적자료는 현행 설계기준보다는 일본기준과 유사한 점이 많았다. 다양한 토질조건이 반영된 준설능력을 그림4에 나타낸다. 그림4에는 각 토질에 대한 일본 기준을 실선으로 표시하였으며, 광양항의 준설 실적업량을 검토한 표1을 근거로 배송거리에 대한 단위시간당 준설능력을 점선으로 표시하였다. 광양항의 준설 능력은 배송거리에 대하여 일본기준의 준설능력을 같은 기울기로 연장한 추정선상에 있는 것을 알 수 있다.

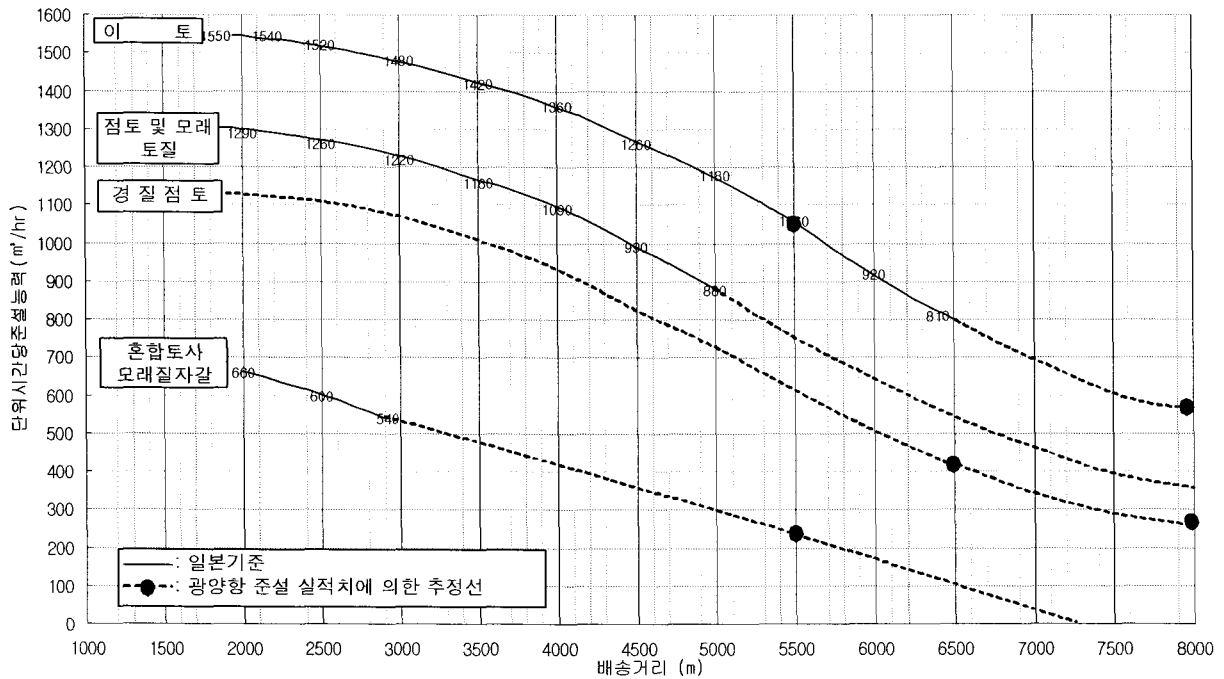


그림4. 광양항 준설 실적치를 기초로한 준설능력 (12,000HP기준)

4. 결론

국내 준설 설계기준의 문제점을 지적하고 이를 개선하기위한 합리적인 방안을 연구하였다. 본 논문에서는 광양항 항로 구간의 실적 준설 자료를 바탕으로 토질 조건별 배송거리에 대한 준설능력 기준표를 작성하였다. 실적자료는 현행 설계기준보다는 일본기준과 유사한 점이 많았다. 또한 배송거리에 대하여 일본기준의 준설능력을 같은 기울기로 연장한 추정선상에 광양항의 실적치가 합치하는 것을 알 수 있었다. 향후 보다 많은 실적자료를 축적한다면 토질 변화여건에 따른 다양성을 반영한 준설 설계기준을 마련하는데 도움이 되리라 생각된다.

참 고 문 헌

- 건설연구원(2004).“건설공사 표준품셈”, pp443-445
- 해양수산부(2002).“광양항2,3단계 토질조사 시험 및 설계적용 방안검토 보고서”, pp21-25
- 해양수산부(2004).“광양항3단계 항로준설공사 설계서”
- 광양항3단계준설현장(2004, 2005).“광양항1,3단계 토질조사 보고서”