

모래지반의 준설시 준설효율 검토

Studies on Effects of Dredging Works in non-cohesive Soils

양태선¹⁾, Tae-Seon Yang, 박홍신²⁾, Hong-Shin Park, 민경호³⁾, Kyoung-Ho Min, 이충호⁴⁾, Choong-Ho Lee

¹⁾김포대학 건설정보과 부교수, Associate Professor, Dept. of Construction Information, Kimpo College

²⁾삼성물산 건설부문 부산항 준설현장 차장, Deputy Manager, Busan Port Dredging Project, Samsung E & C

³⁾한진중공업 항만설계팀 부장, Manager, Port Project Team, Hanjin Heavy Industries & Construction

⁴⁾알지오 이엔씨 대표이사. CEO, R-geo E&C Co., Ltd.

SYNOPSIS : The evaluation of dredging works of pump dredger considering soil conditions is a main idea in calculating construction costs in non-cohesive soil layers. For using pump dredger, on effects of pump dredger equipment, some data of overseas code for pump dredger are different to those of results and a pump dredging capability table in the field of costs. In this study, considerations of sandy soils are described for application of construction works.

Keywords : Sandy soil, Pump dredger, Construction costs

1. 서 론

현장에서 현장의 다양한 토질조건(모래, 흙의 점성등)이 반영된 준설공법의 평가와 설계기준을 적용한 공법기준이 확립되어 있지 않다. 한국 농지개발 연구소에서 발행한 "방조제 단면의 해사축조방법 및 끝물막이 공법연구"의 전동환산(q)표를 적용한 전동환산표는 기본가정이 점토와 가는모래의 N치를 기준으로 하고 있으며, 굵은모래, 경질점토, 자갈섞인 모래 등 토질조건이 감안되어 있지 않다. 이로 인하여 공사수행 도중에 단위시간당 준설량 q값 산정의 어려움이 따르며, 모래층이 발생하면 설계변경에 따른 시간과 부대비용이 낭비되는 문제가 발생하며 작업여건에 따른 작업효율을 고려하지 않고 있으므로 토질조건과 작업효율을 고려한 실적치의 적용이 필요하다.

국내의 현장에 비하여 일본은 12,000HP 준설선의 준설능력 기준은 토질별로 세분화 되어있다. 또한 이 기준을 참고로 일본의 오양건설은 사전 토질조사후 기존의 토질자료와 비교하여 가장 근접한 토질의 시험치를 실제 준설 작업량으로 산정하고 있다. 네델란드에서도 토질자료와 토질 시험치를 근거로 실제 준설 작업량을 산정하고 있다. 본 논문에서는 일본의 기준과 당진항, 인천항, 광양항의 실적치, 실내시험 시험 결과를 비교 검토하고 토질별 준설능력에 맞는 모래준설시의 고려사항을 살펴보았다.

2. 모래 준설시 고려사항

2.1 준설 토질에 따른 영향

N=10 이하에 많이 형성되는 점토성이 강한 토질이 노출 될시는 육상 배토장에 CLAY BALL 형태 즉 구형 및 타원구 등이 배토장에 쌓이면 그때 준설 능력은 20%~50%이상 능력이 저하되며 특히 단단히 다져진 점토 일때는 굴착이 불가능 한 경우도 있으며 또한 준설선 커타부위에 점토가 늘어붙어 수시로 제거하여야 하므로 휴지 및 송수시간이 과다하여 준설능력이 상당히 저하된다.

N=10 이하의 모래층을 준설하는 경우 작업여건 변화로 인한 배사관 길이를 길게 하면 작업효율이 저하되는데 국내 품셈 기준의 12,000HP의 배송거리(실적치 적용범위, 모래등, 4.2~4.8km)를 초과하는 경

우 배사관내 준설토의 침전으로 인하여 작업효율이 저하되기도 한다.

또한, 인천과 같이 조수간만 차이가 큰 지역에서 사리물때시 유속의 영향으로 준설선 대기시간이 발생하기도 한다. 즉, 사리물때시 심한유속의 영향으로 해상관 고정양카 끌리는 상태에서 고무조인트가 휘고 배사관내 침전으로 인한 관내압 상승으로 고무 슬리브와 배사관이 파손되며, 준설선의 래더 스윙이 불가능하여 작업대기시간이 발생한다. 배사관내 모래등이 침전하여 배사관내 압력이 상승할 때 무리한 작업진행으로 장비고장 대기시간이 증가할 수 있으며, 자갈섞인 모래등의 토질로 인한 배사관내 마모현상이 급속히 진행되어 파공이 발생하므로 배사관 수리 및 교체시간이 증가된다.

2.2 커터 직경에 따른 영향

커터직경 대비한 효율저하 요인에 대하여 준설토질이 N=0~2 까지의 아주 연약한 점토에서는 커터직경 대비 준설토고로 인한 효율저하 요인이 적용될수 있지만 비중이 무거운 모래와 점토덩어리가 다량으로 발생하여 부유토가 많지않고 함니율은 많아 펌프 준설선(12,000HP)의 적정 배송거리를 넘어서고 오히려 높은 함니율에 따른 유속이 극도로 떨어지면서 배사관내 준설토의 침전으로 이어져 유속의 감소와 침전을 막기위하여 RPM 상승하게 되어 관내압 상승으로 슬리브 파손과 무리한 펌프의 가동으로 고장이 자주발생하는 현상이 나타나며 높은 함니율에 따른 침전속도가 빨라 1~2시간 작업하면 유속감소와 침전으로 이어져 송수를 하게 됨으로 송수시간 증대되어 작업효율이 저하되는 요인이 된다.

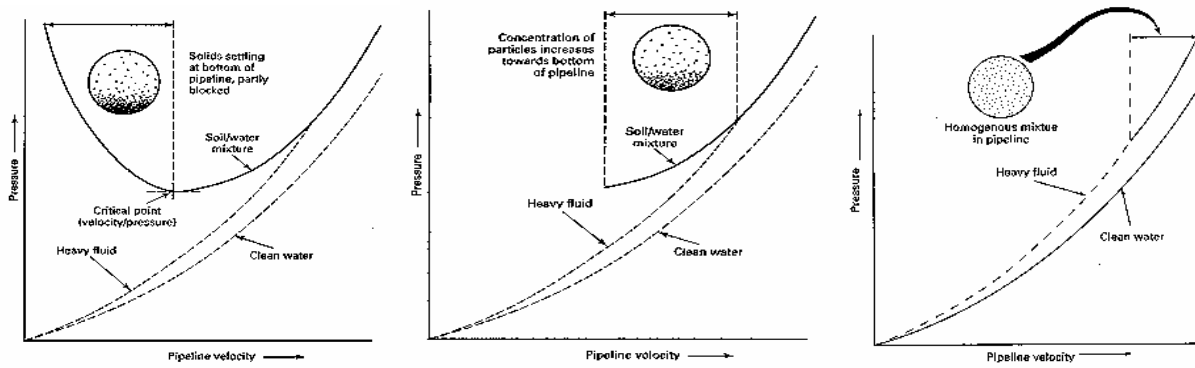
그러므로, 토질 감안시 커터 직경대비한 준설깊이에 따른 효율저하 요인을 적용하는 것은 현장의 실정 감안시 적정하지 않는것으로 판단되며 오히려 준설깊이 대비하여 커터직경이 크다면 함수율이 증가되어 유속의 흐름에 도움이 되고 함니율 감소로 준설토의 배송에 효율이 증대될 것이다.

그러므로, 예를 들어 커터 직경 3.0m일 때 준설두께가 2.0m이면 이론적 준설의 효율은 66% 선으로 떨어진다. 왜냐하면 똑같은 기관마력으로 작업하면 33.3%의 기본적인 물이 배송되어 함니율이 저하될 수 있을 것이다. 그러나, 모래입자보다 현저히 입자의 크기가 작은 점토의 경우 함니율은 감소할 수 있으나 모래입자의 경우 배사관내 흐름에 관계된 함니율은 크게 감소하지 않으며 그로 인한 준설효율 저하는 크지 않으나 이러한 작업효율은 준설능력에만 국한되는 것은 아니고 굴삭능력 등 여러 가지 조건에도 관계가 있다.

2.3 모래 준설시 배사관내 흐름의 침전 발생

준설된 흙과 물의 혼합물을 배송관을 이용하여 배송할 때, 효율적인 배송은 공사 비용과 작업 기간과 관련되므로 매우 중요하다. 준설현장에서 배송효율을 높이기 위해서는 각 배송조건에서 배송 소모동력과 배송 생산량에 대한 분석이 필요하다. 그러나 흙의 종류, 해상 조건, 동원된 준설장비 등이 준설 현장마다 동일하지 않기 때문에 어려움이 있다. 흙과 물 혼합물의 배송에 대해 Matousek(1997), Lee 등(2003) 등이 연구하고 있으나, 국내 준설 현장에서는 준설토의 종류에 따라 개략적으로 제시된 기준과 현장 시운전 경험으로 배송속도와 농도를 결정하고 있다.

아래 그림은 배사관내에서 물이나 비중이 큰 기름만의 흐름이거나 물과 흙이 혼합된 흐름에 대하여 압력(배송압)이 증가하는 경우 배사관내 흐름속도를 나타내고 있다. (a)의 경우 물과 물+흙 혼합수의 흐름을 나타내고 있으며 동일한 배사관내 흐름속도에 대하여 물+흙 혼합수가 더 큰 압력을 필요로 한다는 것을 나타내고 있다. (b)의 경우 물과 비중이 큰 유체의 흐름을 나타내고 있으며 동일한 배사관내 흐름속도에 대하여 비중이 큰 유체가 더 큰 압력을 필요로 한다는 것을 나타내고 있다. (a)와 (b)는 입자가 존재하는 흙이 있으므로 흐름에 대하여 침전이 발생하는 것을 볼 수 있다. 그러나, (c)의 경우 입자가 없는 물과 비중이 큰 유체의 흐름을 나타내고 있으며 흐름내에 침전이 발생하지 않는 균질한 흐름을 나타내고 있으며 동일한 배사관내 흐름속도에 대하여 비중이 큰 유체가 더 큰 압력을 필요로 한다는 것을 알 수 있다. 특히, 아래 그림은 수평 배사관에서 발생하는 마찰손실을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 입자가 작더라도 배사관내의 흐름저항(마찰손실)이 발생한다는 사실을 알 수 있다. 마찬가지로 이유로 배사관으로 모래 배송시 흐름에 저항이 발생하고 압력이 필요하게 되고 비중이 큰 입자의 흐름이 되어 배사관내에 침전이 발생할 수 있다.



(a) Segregated distribution of sediment

(b) Non-uniform distribution of sediment

(c) Uniform distribution of sediment

그림 1 배사관내 재료(물, 기름, 흙)에 따른 흐름특성

이러한 배사관내 흐름속도 특성 시험 연구결과에서 살펴본 바와 같이 순수한 유체의 흐름의 경우에는 침전이 발생하지 않으나 입자가 포함된 물+흙 혼합수의 흐름에서는 침전이 발생한다는 사실을 실험을 통하여 확인되었다.

펌프준설시 펌프의 성능에서 볼때 토질의 종류에 따라 성능에 영향을 미친다고는 볼수없지만 점토, 모래, 자갈등 비중이 무겁고 입자가 클수록 함니율은 많지만 작업효율은 떨어진다. 왜냐하면 일반적으로 액체의 흐름중에 고체덩어리가 혼합되어 고체덩어리 간에 마찰과 파이프내 벽면마찰등이 증대하여 양정이 저하되고 유속이 몹시 떨어져 엔진의 회전을 올리거나 부족할 경우 마력이 큰장비로 대체하기도 한다. 작업환경으로 생각하면 유속이 떨어지면 침전으로 이어지게 되므로 송수시간을 늘이고 준설토의 흡입량을 줄여 적절한 유속유지하게 됨으로 송수시간의 증가와 흡입량이 줄어들어서 작업효율이 감소된다.

국내에서도 배송시험루프를 이용하여 주문진 모래를 이용하여 배송시험하고, 배송에 미치는 영향을 분석하였으며, 흙-물 혼합물의 배송관내 흐름 메카니즘에 대한 이론과 시험에 대한 연구를 수행한 바 있다. 특히, 동 연구에서는 실제 배사관보다 축소된 배사관을 이용하였지만 배송속도 2.5 m/s 이하에서는 흐름 영역을 고려 할 때, 배송관내 침전 현상이 발생할 가능성이 있게 된다고 보고하였으며 이에 대한 사항은 현장 시공시 고려되어야 한다.

2.4 준설능력의 산정

준설된 흙과 물실제 준설을 시행할 때 설계에서 고려하지 못한 효율이 저하되는 요인이 저하된다. 작업여건, 준설조건, 투기장 여건이 있는데 모래나 점토등과 같이 다양한 토질조건을 반영한 준설능력을 검토하기에는 어려운 점이 있으나 여러 가지 효율의 저하요인을 고려하여 OO항 산단에서 준설공사중 20,000HP, 12,000HP 준설선의 준설능력을 계산하였다.

군산산단 1-5공구에서 각 항목에 대한 효율을 구하여 준설능력을 계산하며

- ① 평균 N치 =16.74이하, 모래질실트의 경우 : 효율 0.85
- ② 준설구역 준설두께가 약 6.0~11.0m이면 평균 8.5m이므로: 효율0.98
- ③ 준설선의 효율 : 0.8
- ④ 준설선의 장비상태 효율 : 영종호 : 0.95, P-16 : 0.9
- ⑤ 기상 효율 : 외해로 너울이 있는 편이므로 0.85
- ⑥ 준설구역면적은 160만m² : 0.98
- ⑦ 송토거리 : 3,800m : 0.95
- ⑧ 운전사의 숙련도 : 0.9
- ⑨ 굴착수심 3.0m~(-)19.0m로서 평균 11.5m : 0.95
- ⑩ 지반의 단면형성은 평탄하므로 : 1.0
- ⑪ 기타 : 0.9

㉔ 20,000HP급 준설선(영중호) 준설능력 추산

$$\text{준설능력} = \text{기본 최대능력} \times ① \times ② \times ③ \times ④ \times ⑤ \times ⑥ \times ⑦ \times ⑧ \times ⑨ \times ⑩ \times ⑪$$

$$= 4,500\text{m}^3/\text{hr} \times 0.85 \times 0.98 \times 0.8 \times 0.95 \times 0.85 \times 0.98 \times 0.95 \times 0.9 \times 0.95 \times 1.0 \times 0.9$$

$$= 1,735\text{m}^3/\text{hr}$$

㉕ 12,000HP급 준설선(P-16)준설능력추산

$$\text{준설능력} = \text{기본 최대능력} \times ① \times ② \times ③ \times ④ \times ⑤ \times ⑥ \times ⑦ \times ⑧ \times ⑨ \times ⑩ \times ⑪$$

$$= 3220 \times 0.85 \times 0.98 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.85 \times 0.98 \times 0.95 \times 0.9 \times 0.95 \times 1.0 \times 0.9 = 1,176\text{m}^3/\text{hr}$$

그러므로, 20,000 HP, 12,000 HP 준설선의 준설능력의 판단기준을 살펴본 결과 다양한 효율저하를 고려하더라도 20,000 HP 준설선이 12,000 HP 준설선보다 준설능력이 뛰어난 것을 알 수 있다. 그리고, 준설선 관련 효율, 굴착수심 이외에도 준설능력에 영향을 미치는 것은 토질에 따른 작업여건이 있으며 외국에서는 실적치를 많이 적용하고 있으므로 정확한 실적치와 경험을 바탕으로 준설 능력을 산정하여야 한다.

2.5설계기준 현황

현행 정부 표준품셈(건설연구원, 2004)은 한국 농지개발 연구소에서 발행한 “방조제 단면의 해사 축조방법 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.

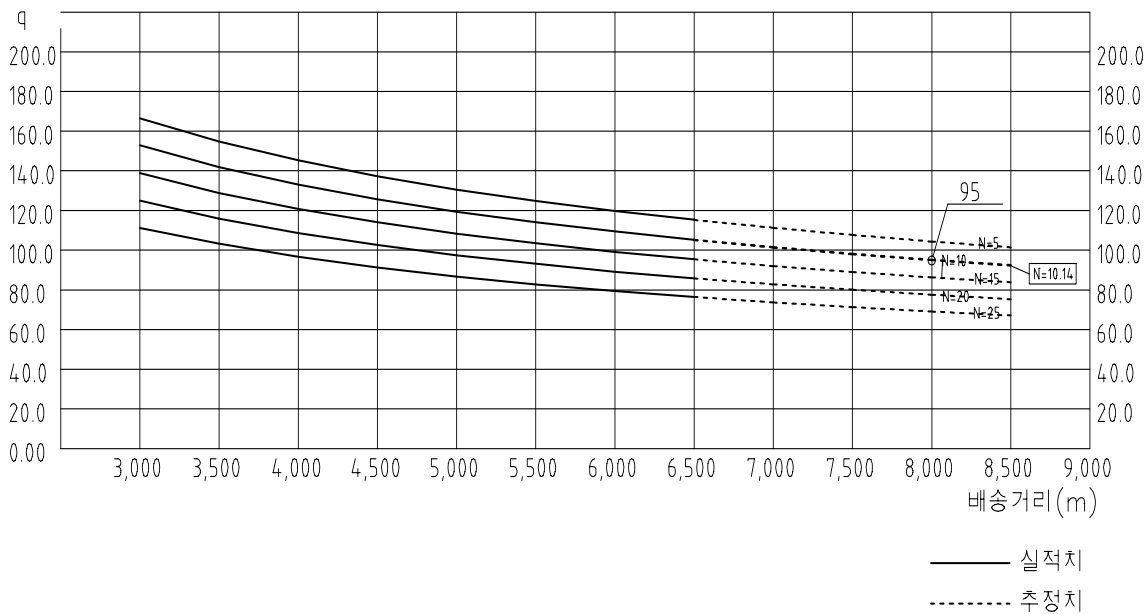


그림 2. 농지개발연구소 기준

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 되어있다.

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. 실적치 분석

3.1 실적치 결과 분석

모래의 실작업량을 고려한 준설능력을 확인하기 위하여 일본의 12,000HP 준설선의 토질별 준설능력 기준 도표는 다음 그림과 같다.

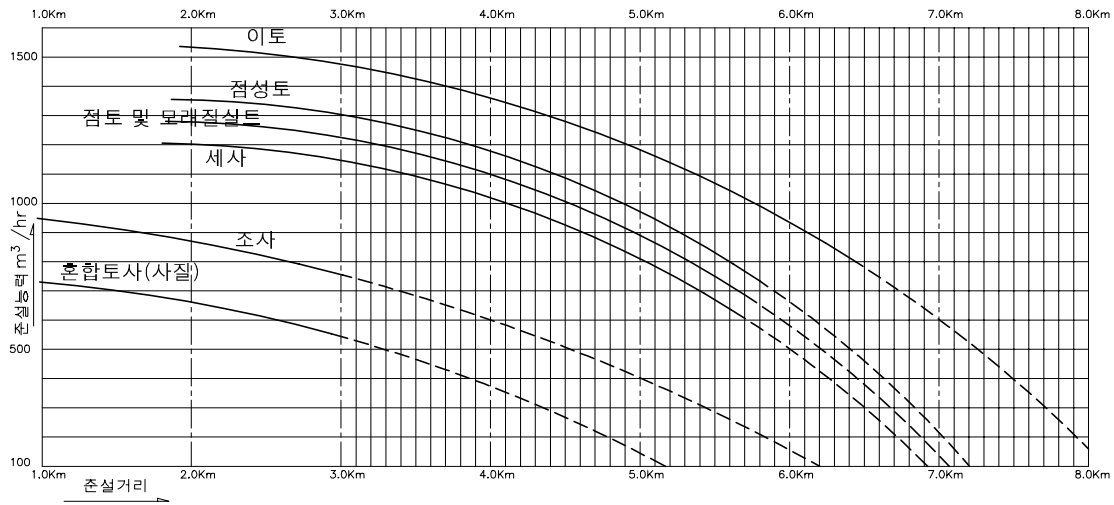


그림 3. 일본 준설 능력표

그러므로, 위 그림에 국내 평택항, 인천항, 광양항의 실작업량을 표시하면 아래 그림과 같으며 이 그림에서 단단한 점토(경질점토)의 시간당 작업량을 그림으로 나타내면 그 값을 추정할 수 있다.

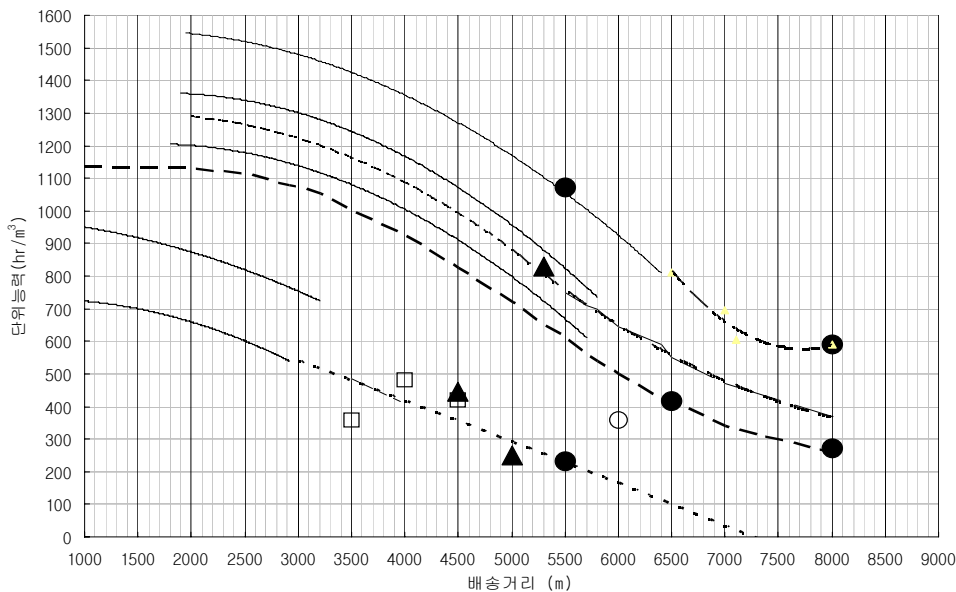


그림 4. 국내 준설 능력 현장 실적 비교

이 그림을 이용하면 다양한 토질을 반영한 국내 준설 설계기준의 문제점에 대하여 개선방안이 될 수 있으며 향후 각 현장의 실적치를 바탕으로 토질 조건별 배송거리에 대한 준설능력 기준표를 작성할 수 있다. 그러므로, 보다 많은 실적자료를 축적한다면 토질 변화여건에 따른 다양성을 반영한 준설 설계기준을 마련하는데 도움이 될 것이다. 그림에서 광양항(●)과 인천항(2006)(▲), 당진항(□), 인천항(2007)(○)을 나타낸다.

4. 결 론

모래 준설하는 현장의 경우 배송시 배사관내 모래침전에 따른 작업효율의 저하가 예상되므로 이에 대한 대책으로 배송거리를 짧게 하거나 전동환산계수 q 는 실적치 적용하여 효율 E 를 조정하도록 하고 또는 그라브 준설을 이용하여 토사운반선에서 준설토를 적재 후 언로드 펌프선에 접안하여 준설토 투기하는 방법을 고려할 수 있다

또한, 향후 전국 준설공사의 실적치 준설 자료를 바탕으로 토질별 펌프준설 작업시 배송거리에 대한 준설능력 기준표를 작성할 필요가 있다.

참고문헌

1. 건설연구원(2008).“건설공사 표준품셈”, pp501-507
2. 박홍신, 유영인, 김하영(2006),“토질변화에 따른 Pump 준설능력 산정”, 한국지반공학회 봄 학술발표회 논문집, pp443-445
3. 해양수산부(2005),“인천항 제1항로 정비공사 지반조사 보고서”
4. 이만수, 박영호, 이영남, 정충기,“준설시험루프를 이용한 모래-물 혼합물 배송에 관한 연구”, 한국지반공학회 봄학술 발표회, 2005
5. Matousek, Flow Mechanics of Sand-Water Mixtures in pipelines, 네덜란드 Delft 공대 박사학위 논문, 1997
6. Matousek, Distribution and Friction of Particles in pipeline flow of Sand-Water Mixtures, 준설전문가 초청 세미나, 2003