

## 준설토 활용을 위한 환경기준과 처리공법에 대한 고찰

### The Study of Environmental Standard and Treated Method for Beneficial Use of Dredged Materials

배 윤 신<sup>†</sup> · 윤길림\*

Bae, Yoon-Shin · Yoon, Gil-Lim

**Abstract** In this study, both domestic ground and maritime environmental standard and treated method for beneficial use of dredged materials were investigated. To suggest beneficial use of dredged material, cemented bricks and light-weighted bricks were made. The strength of bricks was satisfied with the standard(50kPa), which is the strength for the reclamation work on the reclaimed land.

**Keywords** Dredged Material, Environmental Standard, Beneficial Use, Strength

**요 지** 본 연구에서는 국내 육상 및 해상 준설토 활용관련 환경기준과 처리공법을 총 망라해 고찰해 보았다. 해양준설토 활용방법 제시를 위하여 고화벽돌 및 경량벽돌 등 시제품을 제작하였으며 매립복토재로서 활용성도 매립작업을 원활히 하기위한 강도(대략 50kPa)를 만족하였다.

**핵심어** 준설토, 환경기준, 유효 활용, 강도

## 1. 서론

하천 준설시 발생하는 양질의 골재는 하천공사 호안용 채움재료로 활용하고, 저질토는 성토 재료로 사용되고 있다. 2008년 칠원시 지방하천 2곳과 소하천 22곳의 퇴적토 및 수목제거 사업을 완료했고 이 중 8곳에서 나온 준설토 5,800m<sup>3</sup>를 공공사업의 성토 재료로 활용했다. 이러한 준설토 활용을 통해 지자체의 예산 절감은 물론 재해예방 효과와 사업의 조기발주를 통해 지역건설업체들의 경영에도 도움이 될 수 있다. 전라남도에서는 장마철 하천 범람 등을 대비하기 위해 하천 준설을 연중 실시하고 있는 가운데 발생된 퇴적토사를 인근 공사장 성토나 농로 사리부설에 활용, 예산 절감 모범사례로 평가받고 있다. 실제로 담양군은 퇴적토 준설 대상하천 인근 공사장에서 순성토용 재료로 활용하도록 사전에 공사 관계자에게 준설을 승인하는 ‘준설 승인제’ 실시로 사토로 발생하는 예산을 절감하고 있다. 순천시에서는 보성강 폐천부지에 준설토 임시적치장을 마련, 순성토가 필요한 공공사업장에서 활용토록 함으로써 사토 처리비를 절약하고 있으며 장흥군과 영암군은 농로 및 제방도로 사리부설용으로 준설토

† 교신저자 : 정희원, 서울시정개발연구원 부연구위원  
E-mail : ysbae@sdi.re.kr

TEL : (02)2149-1087 FAX : (02)2149-1319

\* 정희원, 한국해양연구원 책임연구원

를 활용, 지역민들의 원활한 통행에 도움을 주고 있다. 건설골재 수요의 50%를 산림골재로 조달하기 때문에 기술된 바와 같이 하천준설토를 적극 활용하면 자연 파괴를 막을 수 있다.

한편, 국토의 재정비와 산업부지 확보의 일환으로 대규모 준설매립 및 신항만 건설이 진행 되면서 건설현장에서는 많은 양의 해양 준설토가 발생하고 있다. 급증하는 해양 및 하천 준설토는 처리 및 활용에 관한 적절한 지침 부재로 인해 건설현장에서 많은 어려움이 발생하고 있어 준설토를 건설골재로 활용하기 위하여 국내 현실에 적합한 활용기준이 필요하다. 국내 준설토사 처리·활용관련 연구는 “수저퇴적물환경 기준개발에 관한 연구”와 “호소 및 하천의 퇴적오니 분포조사 연구” 및 “환경 친화적 준설·제이용 기술개발” 그리고 “저수지 준설 환경기준 정립 및 준설토 활용방안 연구” 등이 수행되어 왔으나 국내의 준설토사 활용을 위한 명확한 기준은 제시되지 않았다. 이에 합리적인 외국의 기준을 선별하고 선별된 기준을 바탕으로 국내 퇴적물의 오염수준을 반영하고 국내 퇴적물의 천연 부존량 및 생물영향을 고려한 ‘준설토사처리·활용기준을 개발하여 국가적 기준이 되는 지침서로 제시된 바 있다. 국내에서는 발생된 해양 준설토를 재활용함으로써 환경문제의 해결 및 새로운 건설재료의 개발에 노력을 기울이고 있다. 특히, 준설토의 건설재료 재활용에 관한 연구가 과거 10년간 활발히 진행되어 건설재료로서의 역학적 거동 규명에 많은 성과가 있었다.

본 연구에서는 육상 및 해상과 국내 준설토 활용관련 환경기준과 처리공법을 총 망라해 고찰해 보았다. 그리고 준설토 활용기술과 활용기술 공법중 준설토를 활용한 고화벽돌 및 경량벽돌의 시제품을 제시해 보았다.

## 2. 국내 준설토 활용관련 환경기준

### 2.1 육상관련 환경기준

하수 슬러지의 경우 국내연구진들은 중금속 실험을 분석한 결과 거의 모든 부분에서 하수슬러지를 매립장의 복토재로 이용하는 것이 가능함을 보여주었고 하수슬러지를 지반환경적 관점에서 건설재료로 활용하기 위한 환경실험을 실시하였다. 도시하수 슬러지의 경우 생활용수를 처리하는 하수처리장에서 발생한 것으로 중금속의 용출 가능성은 다른 공단 폐수를 처리하는 하수처리장에 비해 작을 것이라 판단하였다(전완기 등, 2000). 적용된 시험기준은 폐기물 관리법에서 일반폐기물과 특정폐기물을 분류하기위한 기준으로 Table 1에 나타내었다.

Table 1. 시료별 중금속 용출농도 기준 (mg/kg) (김상권 등, 1995)

| 구 분 | 구 리 | 카드뮴 | 납 | 크롬 | 비소  | 유기인 | 수은    |
|-----|-----|-----|---|----|-----|-----|-------|
| 기 준 | 3   | 0.3 | 3 | -  | 1.5 | 1   | 0.005 |

하수슬러지의 건설재료활용 검토를 위한 연구(이용수 등, 1997; 전완기 등, 2000)에서는 생활용수를 처리하는 하수처리장에서 발생한 도시하수슬러지를 분석한 것으로 중금속의 용출가능성이 다른 폐수 하수처리장에 비해 낮고 해양준설토와는 물리적, 화학적 특성이 많이 상이하다.

준설토의 오염도 평가기준은 준설토의 처리, 처분 및 재활용 방법에 따라 달라질 수 있다. 한국해양연구원(2002)의 보고서에 따르면 여러 지역에서 수거한 준설토를 육상의 성토재로 이용하는 경우로 판단될 경우 토양환경보전법 시행령과 토양환경보전법 시행규칙에 의거한 토양오염 우려기준을 적용할 수 있다고 하였다. Table 2는 토양환경보전법에 의거한 토양오염우려 기준(토양 환경보전법 시행규칙 별표 3)을 보여주고 있다.

Table 2. 토양오염우려기준 (mg/kg)

| 구분                | 카드뮴 | 구리    | 비소      | 수은       | 납        | 6가크롬      | 아연      |
|-------------------|-----|-------|---------|----------|----------|-----------|---------|
| 1지역 <sup>1)</sup> | 4   | 150   | 25      | 4        | 200      | 5         | 300     |
| 2지역 <sup>2)</sup> | 10  | 500   | 50      | 10       | 400      | 15        | 600     |
| 3지역 <sup>3)</sup> | 60  | 2,000 | 200     | 20       | 700      | 40        | 2,000   |
| 구분                | 니켈  | 불소    | 유기인 화합물 | tPCBs    | 시안       | 페놀        | 벤젠      |
| 1지역               | 100 | 400   | 10      | 1        | 2        | 4         | 1       |
| 2지역               | 200 | 400   | 10      | 4        | 2        | 4         | 1       |
| 3지역               | 500 | 800   | 30      | 12       | 120      | 20        | 3       |
| 구분                | 톨루엔 | 에틸벤젠  | 크실렌     | 석유계총탄화수소 | 트리클로로에틸렌 | 테트라클로로에틸렌 | 벤조(a)피렌 |
| 1지역               | 20  | 50    | 15      | 500      | 8        | 4         | 0.7     |
| 2지역               | 20  | 50    | 15      | 800      | 8        | 4         | 2       |
| 3지역               | 60  | 340   | 45      | 2,000    | 40       | 25        | 7       |

- 1) 전, 담, 과수원, 목장용지, 주거지, 학교용지, 공원, 사적지, 구거광천지, 양어장, 묘지 및 어린이 놀이터
- 2) 임야, 대, 창고용지, 하천, 유지, 수도용지, 체육용지, 유원지, 종교용지 및 잡종지(영구적 건축물설치부지 제외)
- 3) 공장용지, 주차장, 주유소, 도로, 철도용지, 염전, 제방, 잡종지

## 2.2 해양관련 환경기준

조흥연 등(2001)과 한국해양연구원(2000)에서는 항만에서 발생하는 준설토의 용출 실험의 결과를 준설토 재활용이 내륙에서 이루어진다는 전제 하에 유지 준설토의 재활용시 준설토에서 발생 가능한 용출수의 수질을 수질 환경 보전법에 근거하여 고찰하였다. 더불어 실험 결과를 폐기물 관리법에 의한 매립시설의 침출수에 대한 배출허용기준 및 오염물질의 배출허용기준에도 적용해 보았다. Table 3과 4는 폐기물 관리법(2008)에 근거한 매립시설 침출수의 페놀류 등 오염물질의 배출허용기준과 수질환경보전법(2008)에서 명시된 페놀류 등 기타 오염 물질에 대한 배출수 허용기준을 나타내었다.

Table 3. 매립시설 침출수의 페놀류 등 오염물질의 배출허용기준 (mg/kg) (폐기물 관리법, 2008)

| 구분             | 구리   | 카드뮴 | 납    | 크롬  | 비소  | 유기인 | 수은  |       |
|----------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------|
| 폐기물 관리법 (2008) | 청정지역 | 0.5 | 0.02 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 불검출   |
|                | 가지역  | 3   | 0.1  | 1   | 2   | 0.5 | 1   | 0.005 |
|                | 나지역  | 3   | 0.1  | 1   | 2   | 0.5 | 1   | 0.005 |

Table 4. 폐플라스틱 등 기타 오염 물질에 대한 배출수 허용기준 (mg/kg) (수질환경 보전법, 2008)

| 구분                   |      | 구리  | 카드뮴  | 납   | 크롬  | 비소   | 유기인 | 수은    |
|----------------------|------|-----|------|-----|-----|------|-----|-------|
| 폐기물<br>관리법<br>(2008) | 청정지역 | 0.5 | 0.02 | 0.1 | 0.5 | 0.05 | 0.2 | 0.001 |
|                      | 가지역  | 3   | 0.1  | 0.5 | 2   | 0.25 | 1   | 0.005 |
|                      | 나지역  | 3   | 0.1  | 0.5 | 2   | 0.25 | 1   | 0.005 |

준설토를 내륙에서 재활용 할 때, 우수 등에 의해 발생하는 준설토 용출에 의한 오염물질은 수계를 통해 유입되기 때문에 오염물질 중의 일부를 '수질환경보전법'에 의한 수질환경기준 및 수질규제에 의해 적용할 수 있다. 구체적으로 수질환경 보전법은 준설토의 재활용수 내륙에서 이루어진다는 전제하에 명시된 기준이며 수질오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 하천·호수 등 공공수역의 수질을 적정하게 관리·보전함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 함을 목적으로 제정되었다.

2006년 2월에는 "준설토 해양배출 처리기준"이 개정(해양오염방지법 시행규칙 별표 16)되었다. 여기에는 준설토 해양배출 처리기준이 신설 (1, 2기준)되었고 1기준과 2기준사이에는 생물독성시험방법에 의한 평가로 분류하였다. Table 5는 준설토 해양배출 처리기준(해양환경관리법 시행규칙 별표 8)을 보여준다.

Table 5. 준설토 해양배출처리기준 (mg/kg) (해양환경관리법 시행규칙 별표 8)

| 구분   | 크롬  | 아연  | 구리  | 카드뮴 | 수은  | 비소 | 납   | 니켈 | tPCB  | tPAH |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|-------|------|
| 제1기준 | 370 | 410 | 270 | 10  | 1.2 | 70 | 220 | 52 | 0.180 | 45   |
| 제2기준 | 80  | 200 | 65  | 2.5 | 0.3 | 20 | 50  | 35 | 0.023 | 4    |

한편, 윤길림(2008)과 한국해양연구원(2007)에서는 항만지역에서 발생하는 준설토사를 자원으로 활용하기 위한 환경기준을 제안하였다. 제안된 기준 명칭은 "준설토 유효활용을 위한 한국형 환경기준"으로 외국의 기준을 선별하고 국내 퇴적물 오염현황, 주요 오염성분 및 오염퇴적물 정화기준(해양수산부, 2005)을 종합적으로 고려하였다. 특히 국내 연안퇴적물의 주요 오염물질과 선진국의 준설토사 처리 및 활용기준에 주요하게 포함된 항목이 고려되었고 제안된 환경기준은 국내퇴적물 천연부존량 보다 값이 크기 때문에 국내 환경여건에 적합한 것으로 판단되고 있다. Table 6과 7은 6가지 중금속 원소에 관한 오염퇴적물 정화기준 (2005) 및 준설토사 처리활용 기준(2008) 이다.

Table 6. 오염퇴적물 정화 기준 (해양수산부, 2005)

| Parameter                | 오염퇴적물 정화복원기준            |              |
|--------------------------|-------------------------|--------------|
|                          | Lower level             | Higher level |
| <b>Parameter</b>         | <b>mg/kg dry weight</b> |              |
| Ag                       | 1                       | 3.7          |
| As                       | 9                       | 41.6         |
| Cd                       | 0.68                    | 4.21         |
| Cr                       | 80                      | 370          |
| Cu                       | 24                      | 108          |
| Hg                       | 0.15                    | 1            |
| Ni                       | 23                      | 52           |
| Pb                       | 50                      | 220          |
| Zn                       | 200                     | 410          |
| <b>Parameter</b>         | <b>µg/kg dry weight</b> |              |
| Chlordane                | 0.5                     | 6            |
| Dieldrin                 | 0.02                    | 8            |
| DDT                      | 1.6                     | 46           |
| tPCB                     | 21.6                    | 189          |
| <b>Parameter</b>         | <b>µg/kg dry weight</b> |              |
| Acenaphthene             | 16                      | 500          |
| Acenaphthylene           | 44                      | 640          |
| Dibenzo (a,h) anthracene | 63                      | 260          |
| Anthracene               | 85                      | 1,100        |
| Benzo (a) anthracene     | 261                     | 1,600        |
| Benzo (a) pyrene         | 430                     | 1,600        |
| Chrysene                 | 384                     | 2,800        |
| Fluoranthene             | 600                     | 5,100        |
| Fluorene                 | 19                      | 540          |
| 2-Methylnaphthalene      | -                       | -            |
| Naphthalene              | 160                     | 2,100        |
| Phenanthrene             | 240                     | 1,500        |
| Pyrene                   | -                       | -            |
| LPAH                     | 552                     | 3,160        |
| HPAH                     | 1,700                   | 9,600        |
| tPAH                     | 4,000                   | 45,000       |

Table 7. 준설토사 처리 · 활용기준 (윤길림 등, 2008)

| Chemical                      | 준설토사처리·활용기준 |        |
|-------------------------------|-------------|--------|
|                               | 활용가능기준      | 활용우려기준 |
| <b>Metals (mg/kg)</b>         |             |        |
| 비소(As)                        | 21          | 65     |
| 카드뮴(Cd)                       | 1.55        | 11.8   |
| 크롬(Cr)                        | 134         | 652    |
| 구리(Cu)                        | 60          | 278    |
| 납(Pb)                         | 62          | 404    |
| 수은(Hg)                        | 0.32        | 2.47   |
| 니켈(Ni)                        | 46          | 123    |
| 아연(Zn)                        | 247         | 615    |
| <b>PAHs (µg/kg)</b>           |             |        |
| 총다환방향족탄화수소(tPAH)              | 4,000       | 45,000 |
| <b>Organochlorine (µg/kg)</b> |             |        |
| 총유기염소화합물(tDDT)                | 3.5         | 69     |
| 총폴리염화비페닐(tPCB)                | 28.8        | 300    |
| <b>TBT (µg/kg)</b>            |             |        |
| 트리부틸주석(TBT)                   | 10          | 205    |
| <b>PAH (µg/kg)</b>            |             |        |
| 나프탈렌(Naphthalene)             | 160         | 2,100  |
| 페난트렌(Phenanthrene)            | 240         | 1,500  |
| 플로란틴(Fluoranthene)            | 600         | 5,100  |
| 피렌(Pyrene)                    | 665         | 2,600  |
| 벤젠트레신(Benz(a)anthracene)      | 261         | 1,600  |
| 크라이센(Chrysene)                | 384         | 2,800  |
| 벤조피렌(Benzo(a)pyrene)          | 430         | 1,600  |
| <b>Pesticides (µg/kg)</b>     |             |        |
| 클로르데인(Chlordane)              | 0.50        | 6.0    |
| 디엘드린(Dieldrin)                | 0.02        | 8.0    |
| 폴리염화비닐 28(PCB 28)             | 2.0         | 6.0    |
| 폴리염화비닐 52(PCB 52)             | 1.0         | 3.0    |
| 폴리염화비닐 101(PCB 101)           | 2.0         | 6.0    |
| 폴리염화비닐 118(PCB 118)           | 3.0         | 10.0   |
| 폴리염화비닐 138(PCB 138)           | 4.0         | 12.0   |
| 폴리염화비닐 153(PCB 153)           | 5.0         | 15.0   |
| 폴리염화비닐 180(PCB 180)           | 2.0         | 6.0    |
| <b>기타 (mg/kg)</b>             |             |        |
| 총질소(Total nitrogen)           | 1500        | -      |
| 총인(Total phosphorus)          | 500         | -      |

Table 7의 기준안의 적용 범위는 부지형성, 부지개발, 제방공사, 해안보호, 해빈보완, 치환채움, 덮개/복토재, 건설재료, 수산양식, 조경재료/표토조류/야생식물, 어장개선, 습지복원이다.

2009년 12월 국토해양부 장관결재 승인된 "수저준설토사 유효활용기준"을 Table 8에 나타내었다. Table 9는 준설토 활용기준(윤길림 등, 2008)과 해양배출처리기준, 수저준설토사 유효활용기준을 비교하였다.

Table 8. 수저준설토사 유효활용기준 (mg/kg, 건중량기준)

| 구분           | 기준    |
|--------------|-------|
| 크롬 또는 그 화합물  | 80    |
| 아연 또는 그 화합물  | 180   |
| 구리 또는 그 화합물  | 60    |
| 카드뮴 또는 그 화합물 | 1.5   |
| 수은 또는 그 화합물  | 0.25  |
| 비스포 또는 그 화합물 | 18    |
| 납 또는 그 화합물   | 45    |
| 니켈 또는 그 화합물  | 35    |
| 총 폴리염화비페닐    | 0.023 |
| 총 다환방향족탄화수소  | 2.64  |
| 총질소          | 1.500 |
| 총인           | 500   |

Table 9. 준설토 활용기준과 해양배출처리기준, 수저준설토사 유효활용기준 비교 (윤길립 등, 2008)

| 구분 (단위: mg/kg) | 준설토 활용가능기준 | 해양배출처리 2기준<br>(해양환경관리법)                                 | 해양퇴적물 관리목표 (하한값) |
|----------------|------------|---|------------------|
| 비스포(mg/kg)     | 21         | 20  | 18               |
| 납(mg/kg)       | 62         | 50  | 45               |
| 아연(mg/kg)      | 200        | 200   | 180              |
| 카드뮴(mg/kg)     | 1.55       | 2.5   | 1.5              |
| 크롬(mg/kg)      | 80         | 80  | 80               |
| 구리(mg/kg)      | 60         | 65  | 60               |
| 수은(mg/kg)      | 0.32       | 0.3   | 0.25             |
| 니켈(mg/kg)      | 46         | 35  | 35               |
| 총PCBs(mg/kg)   | 0.028      | 0.025 (PCB<br>28+52+101+118+138+15<br>3+180)            | 0.023            |
| PCB-52         | 0.001      |   |                  |
| PCB-28,101,180 | 0.002      |   |                  |
| PCB-118        | 0.003      |   |                  |
| PCB-138        | 0.004      |   |                  |
| PCB-153        | 0.005      |   |                  |
| 총PAHs(mg/kg)   | 2.64       | 4<br>(나프탈렌+페난트렌+안트라센+<br>벤조피렌+플루오란텐+베조안트<br>란센+벤조플루오란텐) | 2.64             |
| 나프탈렌           | 0.16       |   |                  |
| 페난트렌           | 0.24       |   |                  |
| 플로란텐           | 0.6        |   |                  |
| 피렌             | 0.665      |   |                  |
| 벤조안트라센         | 0.261      |   |                  |
| 크라이센           | 0.384      |   |                  |
| 벤조피렌           | 0.43       |   |                  |
| TBT(mg/kg)     | 0.001      | -   | -                |
| 총DDT           | 0.0035     | -   | 0.0258           |
| 총질소            | 1500       | -   | 1,500            |
| 총인             | 500        | -   | 500              |
| 클로르데인          | -          | -   | 0.00106          |
| 다이옥신/퓨란        | -          | -   | 0.85ng/kg        |

### 3. 준설토 활용기술 및 공법

#### 3.1 준설토 활용기술

선진국에서는 연안매립 및 육상의 매립지 조성이 제한되고, 준설토의 투기에 의한 환경영향평가가 강화되고 있기 때문에 준설토의 오염도 평가에 의한 투기방법, 투기시설, 경제적 이용 등에 대한 연구가 활발하다. 미국에서는 조류 및 어류의 서식지 조성, 모래가 유실되는 해안의 모래공급 등에 준설토가 활용되고 있으며, 일본에서는 준설토를 이용하여 수중잡제를 조성하여 해역의 정온도를 유지하거나, 오염된 저질의 복토용으로 사용되고 있다. 유럽에서도 준설토와 기존 토양과의 적절한 혼합에 의한 영양분이 풍부한 표토, 고품화에 의한 골재 생산 등 다양한 활용방안을 모색, 적용하고 있다. 그 외에도, 골프장 및 축구장을 위한 토양으로 활용하거나 공원 조성 등 친환경적인 활용방안을 다각적으로 연구하고 있다.

항만공사를 포함한 연안개발사업에서 발생하는 다량의 준설토는 대부분의 경우 매립지 조성에 이용되고 있으며, 항로유지준설 및 오염된 항만의 환경개선사업에서 발생하는 준설토는 외해투기 등으로 버려지고 있다. 그러나 선진국에서는 준설토도 자원이라는 시각을 가지고, 정기적 또는 일시적으로 발생하는 준설토에 대하여 검사, 처리를 하여 재활용방안을 다각적으로 모색하고 있다.

일반적으로 준설토 성분에 따른 활용방안은 공학적 이용, 골재로의 이용, 환경개선측면에서의 이용 등으로 분류할 수 있다. 골재로서의 가치가 있는 준설토는 직접 판매할 수 있으나, 그렇지 못한 경우에는 처분에 의한 비용이 추가로 소요되어야 한다. 현재 국내의 항만건설시 발생하는 준설토는 매립에 의한 용지확보(매립지조성)의 목적으로 대부분 활용되고 있으며, 하천의 준설에 의해 발생하는 준설토는 매각 또는 적절할 곳에 야적하고 있는 실정이다.

오염물질의 경우에도, 오염원 제어 및 비제어에 따라서 발생하는 준설토 재활용 방안의 비율은 서로 다르게 나타난다. 그러나, 향후 준설토의 처리방안은 해안투기 및 매립 등 환경에 악영향을 크게 미치는 방안보다는 준설토를 적절한 수준으로 처리하여 환경에 미치는 영향을 최소화하는 방향 또는 경제적인 활용방안을 모색하고 있다. 준설토 처리를 제대로 하기 위해서는 준설토의 성분분석을 하여 오염된 토사의 두께와 오염정도를 파악한 후 처리방안을 수립하는 것이 급선무이지만 오염정도에 따라 자원으로 재활용하는 방안을 적극 검토하여야 한다.

#### 3.2 활용기술 공법

준설토를 재활용하는 방법은 여러 측면에서 고려 할 수 있으나 오염퇴적물을 대상으로 수거된 산물들에 대하여 토목공사용 복토재 및 건설자재로서 활용방안이 시급히 요구되고 있다. 만일 준설토의 염도가 높지 않다면, 준설토 모래 성분은 뒫채움재 혹은 역청 혼합물과 모르타르의 생산에 사용될 수 있을 것이다.

세계의 몇몇 지역에서 건축재료를 얻기 위한 준설은 일반적인 일이다. 모래함유율이 30%를 넘지않고 적합한 실험결과가 나온다면, 준설토는 벽돌 제조를 위한 재료로서 간주될 수 있을 것이다. 건설자재로서 처리 후 유효 활용 제품으로 준설토 고화처리 벽돌(brick) 및 경량 벽돌 등을 제시할 수 있다.

준설토 고화처리 공법의 적용용도는 하천,호수와 늪으로부터 준설된 니토부터 연약한 점성흙까지 안정 처리를 실시하여 요구 성능에 알맞은 개량을 행하는 것부터, 일반의 토질재료로서 취급하는 것이 가능하다. 예를들면 성토재료, 수중매립, 항만구조물 뒫채움 및 피복토이다. 고화처리된 준설토의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 초기함수비 50~600%까지 대응이 가능하고, 유기질토까지 고화 가능하다.
- (2) 시공 후 장기간 CBR의 변화를 살펴보면 28일 양생 후 3년간 CBR측정 결과 초기치와 유사하거나 약간 증가함으로서 내구성에 강한 성질을 보인다.
- (3) 식생가능

준설토 고화처리 공법을 이용한 국내의 시공사례를 Fig. 1은 제방겸용 도로성토용으로 적용된 국내사례이다.



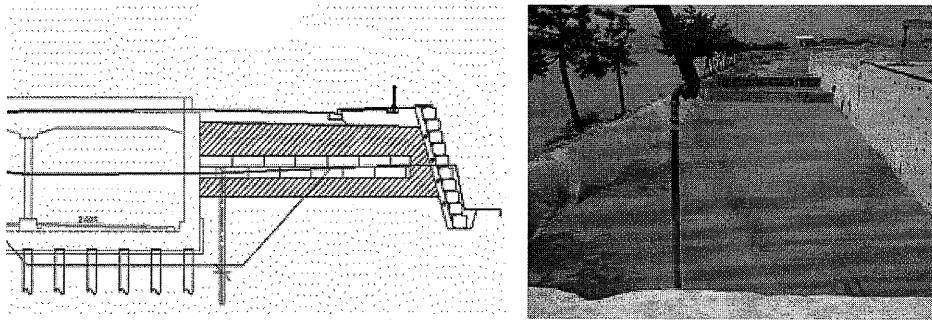


Fig. 1. 국내사례: 제방겸용 도로성토 적용

경량혼합토란 준설토에 해수, 경량화재, 고화재 등을 혼합하여 제작한 밀도  $0.6\sim 1.5\text{ g/cm}^3$ 의 지반재료를 말한다. 경량화재에 따라 기포혼합처리토와 발포비드혼합처리토로 구분되는데 전자는 slurry 상태의 토사에 기포와 혼화재를 혼합하는 것이며 후자는 slurry상 토사에 1~3mm의 발포 스티로폴 입자를 고화재에 혼합하는 것이다. Fig. 2는 준설토와 경량혼합토의 입자구조를 도식화한 것이다. 경량혼합토의 특징은 다음과 같다.

- (1) 자연지반재료와는 달리 적절한 밀도와 강도로 조절할 수 있는 균질의 지반재료이므로 지반의 압밀침하량을 저감시킬 수 있다.
- (2) 수중분리를 방지하도록 배합설계 함으로써 주변해역의 오탁을 억제할 수 있다.
- (3) 적당한 유동성을 갖고 있어 펌프압송에 의하여 다짐의 필요없이 원하는 형상으로 타설이 가능하다.
- (4) 함수비가 큰 준설토를 원료로 유용하게 활용한다.

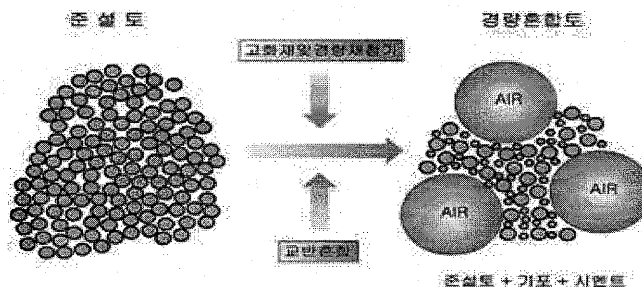


Fig. 2. 준설토와 경량혼합토의 구성

경량혼합토는 기본적으로 시멘트와 기포의 혼합량에 의한 압축강도의 변화가 큰 것으로 알려져 있으나, 시멘트 고화재 함유량이 일정해도 습윤단위중량의 증가로 인해 일축압축강도( $q_{max}$ )가 증가하는 것으로 알려졌다. 연구결과, 경량혼합토는 시멘트 고화재 함유량이 많은 경우에 목표강도가  $4.0\text{kg/cm}^2$ 인 경우가 목표강도  $2.0\text{kg/cm}^2$ 인 경우와 비교하면, 습윤단위중량이 증가함에 따라서 압축강도의 증가도 큰 것으로 발표되었다.

고화처리 벽돌은 흔히 시멘트라 불리우는 포틀랜드 시멘트로 제작한다. 시멘트의 주성분은 석회, 실리카, 알루미늄, 산화철로서, 다른 여러 가지 물질, 수분과의 배합 후에 수화반응을 통하여 고형화 되는데, 시멘트중의 수경성 화합물이 물과 화학반응을 일으키는 것을 수화라고 하며 시멘트의 분말도, 수량, 온도, 혼화재료의 사용유무 등에 많은 요인들의 영향을 받으며 반응과정이 복잡하여 현재까지 분명히 밝혀지지 않고 있다.

오염준설시료를 채취하여 고화처리토 및 경량혼합토 공시체를 사용하여 고화벽돌과 경량벽돌을 제작된 사례를 예시하였다. 시료는 진해 행안만 해역에서 채취한 준설토 시료를 사용하였고 채취방법은 해역정점에서  $2\sim 3\text{m}^3$ 의 퇴적물을 그라브 준설선을

이용하여 채취한 후 퇴적물(총량 5 ~ 6m<sup>3</sup>)을 그라브 준설선 혹은 덤프트럭으로 옮겨 시료 혼합(포크레인 등을 이용)해서 혼합된 퇴적물 시료를 1m<sup>3</sup> 단위로 나누어 운반(지게차, 트럭 이용) 하였다. Fig. 3은 시료채취지역 위치 및 채취하는 사진을 나타내고 있다.

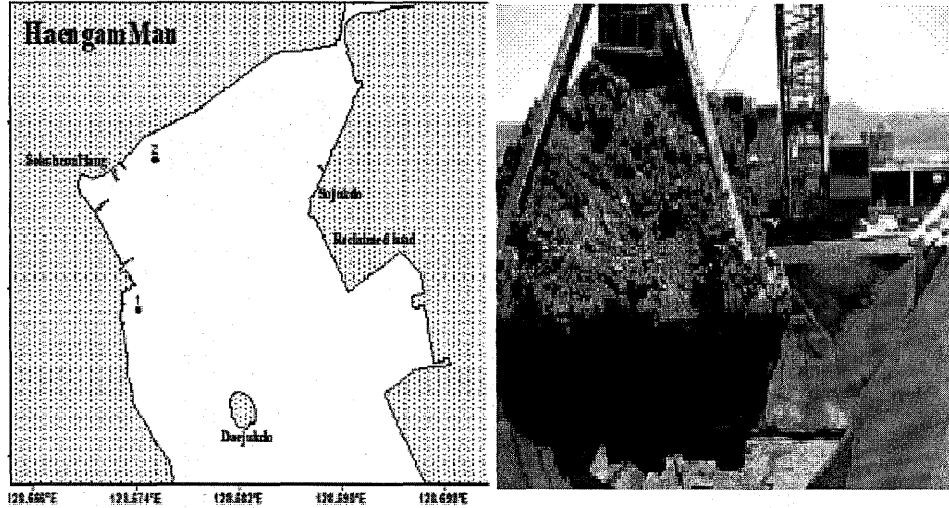


Fig. 3. 진해방어진 준설토 채취해역 및 채취장면

채취한 준설토의 기본적 물리특성을 파악하기 위하여 비중시험, 액성한계시험, 소성한계시험, 함수비시험 등을 실시하였으며 그 결과는 Table 10에 나타내었다.

Table 10. 준설토의 물성시험 결과

| 항목     | 비중   | 액성한계 (%) | 소성한계 (%) | 소성지수  | USGS |
|--------|------|----------|----------|-------|------|
| 시료     |      |          |          |       |      |
| 진해 행안만 | 2.65 | 59.55    | 47.61    | 11.94 | OH   |

벽들 사이즈는 190mm×90mm×57mm (길이×나비×두께)로 건축용 조적 및 치장용도의 표준벽돌 규격을 사용하였다. Fig. 4와 5는 준설토를 활용한 벽돌로 시멘트 함유량을 20%와 30%로 적용하였다. Fig. 4와 5는 동일준설토를 활용한 경량벽돌로 시멘트 함유량을 20%와 30%로 적용하였다.

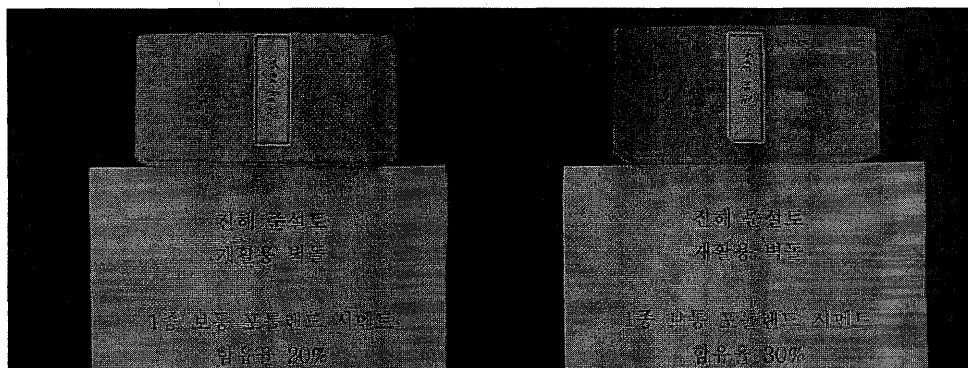


Fig. 4. 준설토를 활용한 고화벽돌 (시멘트비 20%, 30%)

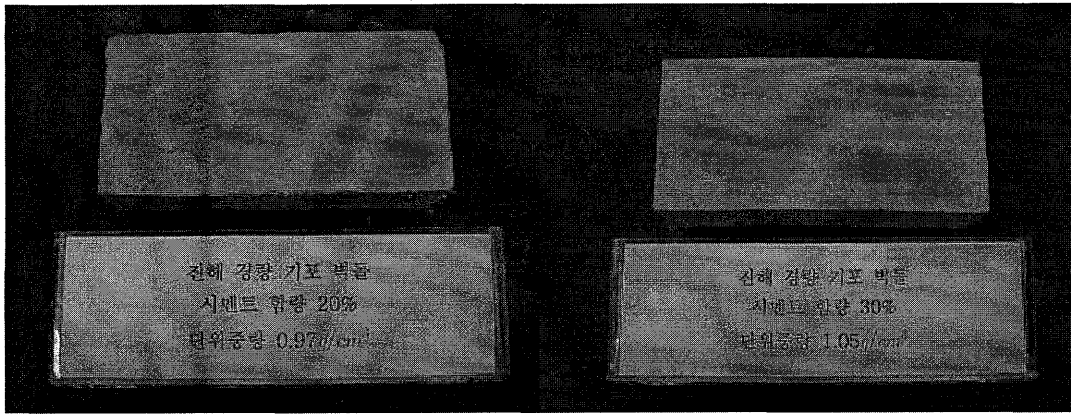


Fig. 5. 준설토를 활용한 경량벽돌 (시멘트비 20%, 30%)

설토본 연구 결과, 모든 조건의 고화처리토는 매립작업을 원활히 하기위한 강도 즉, 일반적으로 건설기계의 주행이 가능한  $0.5\text{kg/cm}^2$  (대략  $50\text{kPa}$ )을 만족하고 있다. 매립장의 중간복토재의 투수계수 기준은 명확히 제시되지 않고 있지만 투수계수가 낮은 점토나 점토질 모래를 기준으로 하고 있는데 고화준설토는 이의 기준에 근접한 것으로 평가된다. 매립장에서 흙을 차수재 및 복토재로 활용할 경우 현장다짐을 실시하므로 입자의 재성형과 조밀화 했을 때 투수계수의 감소는 물론 다짐에 의한 구조적 안정으로 매립중 장비의 주행성 및 시공성 증진을 기할 수 있다.

Table 11. 7일 양생된 고화벽돌 및 경량벽돌의 일축압축강도

| 시멘트 함유량 (%)  | 7   | 10  | 13  | 16  |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| 일축압축강도 (kPa) | 152 | 284 | 453 | 515 |
| 일축압축강도 (kPa) | 51  | 85  | 243 | 318 |

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내 준설토사 활용기준과 활용기술 및 공법을 검토해보았다. 해양준설토 활용방법 제시를 위하여 고화벽돌 및 경량벽돌 등 시제품을 제작하였으며 매립복토재로서 활용성도 실내시험을 수행한 결과, 모든 조건의 고화처리토는 매립작업을 원활히 하기위한 강도(대략  $50\text{kPa}$ )를 만족하였다.

#### 참고문헌

- [1] 김상권, 김인배, 박주량, 박성호, 배광수, 정준오 (1995). 폐기물 처리공정 시험방법 해설. 동화기술.
- [2] 윤길림, 배운신 (2010). 준설토 활용기술과 환경기준. 대한토목학회-한국지반공학회 공동학술심포지움.
- [3] 윤길림, 이찬원, 정우섭 (2008). “준설토 유효활용을 위한 한국형 환경기준 개발.” 한국지반공학회 논문집, Vol.24, No.5, pp.5-13.
- [4] 전완기, 이관호 (2000). “안정처리된 도시 하수슬러지의 건설재료활용을 위한 기본연구.” 대한토목학회논문집, Vol.20, No.4, pp.315-324.
- [5] 정창수 (2009). 준설토 활용기준(안)의 적정성 검토 전문가회의. 한국해양연구원.
- [6] 조홍연, 최광희, 윤길림 (2001). “용출시험에 의한 항만 준설토의 오염도 평가.” 한국지반환경공학회 논문집, Vol.2,

No.2, pp.5-12.

- [7] 한국해양연구원 (2009). 해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발(II). 국토해양부용역최종보고서.
- [8] 해양수산부 (2005). 해양오염퇴적물 조사 정화복원체계 구축(II).
- [9] 해양수산부 (2007). 준설토사 처리 및 유효활용 기준 수립. 최종보고서.

- ▶ 논문접수일 : 2011년 10월 07일
- ▶ 심사의뢰일 : 2011년 10월 08일
- ▶ 심사완료일 : 2011년 10월 18일