

낙동강 하상토의 제방재료 활용방안

The application levee material in the bed sediment of Nakdong River

최계운*, 이승우**, 이호선***, 이병주****

Gye Woon Choi, Seung Woo Lee, Ho Sun Lee, Byung Joo Lee

Abstract

The destruction of river and damage caused by flood are suddenly increasing due to the abnormal climate. In the investigation result about the damage, approximate 52% of the destruction of embankment are caused by earth work. Moreover, to recover conveyance of relief channel, bed sediment is dredged about 198 millions m³ with "the project of bed dredging". So, the concern for bed sediment is the more increasing, the requiring high quality material for banking and the way for application of bed sediment are also the more increasing.

In this paper, properties of bed sediment were analyzed through sedimentary mechanism analysis. Moreover, possibility to build embankment with bed sediment in 6 points which is in catchment of the Nak-dong river was also analyzed. At 6 points, which were selected to survey easily, sediment discharge was analyzed with formula. Moreover, size and permeability were analyzed and the feasibility for material of embankment was proposed. If bed sediment wasn't proper, complementary measures were proposed.

핵심용어 : 하상토, 낙동강, 퇴적 메카니즘

1. 서론

최근 이상기후에 따른 홍수로 인한 하천붕괴 및 홍수피해가 급증하고 있다. 피해조사 결과에 따르면 제방의 붕괴는 축재재료 선정, 다짐불량 등 토공부분과 관련된 피해 사례가 약 52%정도 인 것으로 평가되고 있고, 장기간 토사가 퇴적된 하천의 홍수소통능력 회복을 위하여 하도준설사업(1999~2012)등을 통하여 약 1억 9천8백만 m³의 하상토가 발생하는 실정이다. 이에 따라 제방의 경제성 및 안정성을 위한 양질의 성토재료의 요구와 발생하는 하상토 활용방안에 대한 관심이 높아지고 있고, 하상준설토의 활용을 통한 준설폐기물 감소 및 모래 등 천연골재를 대체하려는 연구가 진행되고 있다.

하천제방의 안정성 향상을 위해서는 양질의 성토재료를 사용하고, 철저한 다짐관리와 적절한 수리구조물 및 차수벽 설치 등이 필요하다. 여기서 하천제방의 경제성 및 안정성에 있어서 유리한 하천제방 축조를 위한 많은 양질의 성토재료는 시공 현장에서 쉽게 구할 수 없기 때문에 경제적이고 효율적인 하상재료의 활용방안에 대한 연구가 필수적이라 할 수 있다.

본 연구에서는 하상토의 현황과, 퇴적 메카니즘 분석을 통하여 하상토의 특성을 연구하고, 국내 4대강 유역 중 낙동강 수계의 6개 지점을 표본으로 설정하여 낙동강 수계의 하상토를 활용한 제방 축조의 가능성을

* 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · E-mail : gyewoon@incheon.ac.kr

** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정 · E-mail : swlee@incheon.ac.kr

*** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · E-mail : indejavu@incheon.ac.kr

**** 정회원 · 건화엔지니어링 상하수도부 · E-mail : prettybj@empal.com

분석하였으며, 아울러 유사량 산정 공식에 의한 하상토 발생량과, 입도와 투수성을 분석하여, 설계기준에 의한 제방재료로써 타당성을 제시하고, 제방재료로써 사용하기 어려운 상황에 대하여는 이를 보완하기 위한 방안을 제시하였다.

2. 대상유역 및 조사지점 선정 및 시험분석

2.1 조사지점 선정

유사량 측정지점의 선정은 첫째로, 낙동강 수계의 대표적 특징을 나타내는 지점으로 선정하였고, 상류 2지점과 중류 2지점, 중·하류 지점 2지점 등 총 6개 (월포, 김천, 왜관, 동촌, 청도, 진동)를 그림 1과 같이 선별하였다.

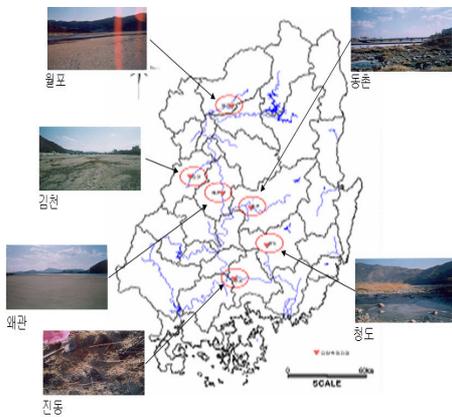


그림 1. 유사량 측정지점

표 1. 지점 선정이유 및 위치

측정지점	선정 이유	위치
월 포	본류의 관리를 위한	경북 예천군 호명면 월포리 고평교
김 천	자연상태 유사량 측정이 가능함	경북 김천시 지좌동 김천교
왜 관	감천에서 다량의 유사가 유입	경북 칠곡군 왜관읍 왜관리 구철교
동 촌	영천댐에 의한 유사량 변화를 분석	대구광역시 동구 신암동 아양교
청 도	밀양강과 합류	경북 청도군 청도읍 월곡리
진 동	남강이 본류에 유입되는 직하류에 위치	경남 함안군 칠서면 계내리 진동양수장 옆

2.2 체분석 시험

흙입자의 크기와 그 입도분포를 파악하기 위해 체분석 시험을 통한 조사지점 흙의 입도분포에 대해서 분석하였다.

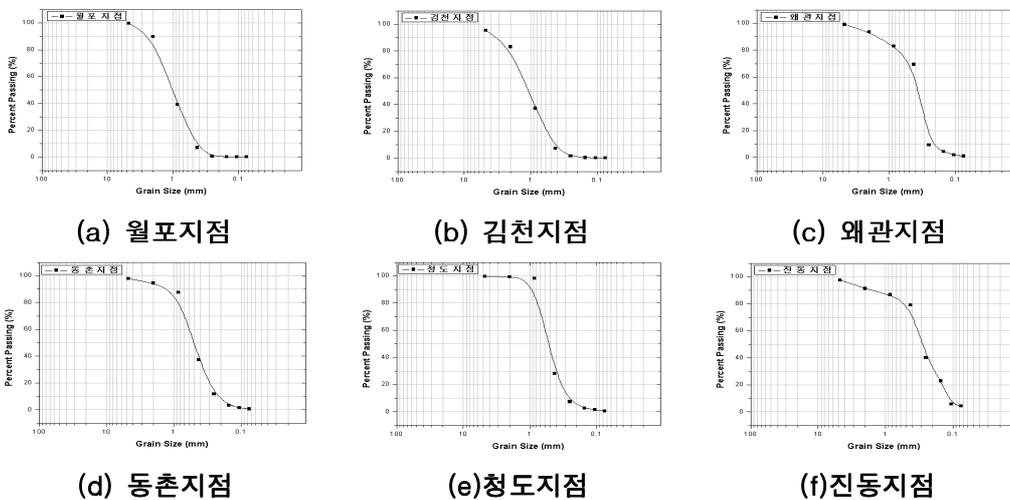


그림 2. 6개지점의 하상토 입도분포곡선

모든 지점의 입도는 육안으로는 사질토로 나타났고, 입도분석을 실시한 결과 통일 분류법에 대하여 그림2에서 보는 바와 같이 No.200체 통과량이 5%미만이고 균등계수는 6보다 작은 것으로 나타나, 모든 지점의 흙은 SP에 해당되는 것으로 조사되었다.

2.3 다짐시험

투수시험을 하기위한 조건인 함수비를 결정하기 위하여 다짐시험을 실시 하였다. 진동을 제외한 나머지 지점은 사질토의 특성이 대표적으로 나타났고, 또한 표 2에서 보는 바와 같이 대부분 수분이 적게 나타나 함수비가 적은 것으로 나타났지만, 진동부분은 점토와 사질토와 혼합되어 있는 지점이기 때문에 진동부분의 함수비는 다른 지점에 비하여 높게 나타난 것으로 보인다.

2.4 전단시험

시료의 파괴를 일으켜서 간편하게 지반의 강도정수를 알기 위해 전단시험을 수행하였다. 표2에서 보는 바와 같이 진동을 제외한 나머지 지점들은 전단 저항각이 진동지점 보다는 높게 나타나는 것을 볼 수 있으나, 점착력은 거의 없는 것으로 나타난다.

2.5 투수시험

시료의 물통과 용이성과 같은 시료의 투수계수를 알기 위하여 투수시험을 수행하였다. 정수두 투수시험이란 일정한 수위차에서 지름과 길이가 일정한 시료속을 일정한 시간 내에 침투하는 물의 양을 측정하여 투수계수를 결정하는 방법이고, 변수두 투수시험이란 일정한 지름과 길이를 가진 시료 속을 침투할 때에 발생하는 수위강하와 그 경과시간의 관계를 조사하여 투수계수를 결정하는 방법을 말한다. 시료를 완전히 포화시켜야 할 다짐시료인 경우에는 투수시험 몰드에 삼축시험에서와 같이 백 프레셔나 진공펌프로 시료를 사전에 포화시킨 후에 시험을 실시한다. 본 시험에서는 월포, 김천, 왜관, 동촌, 청도는 정수두 투수시험, 진동은 변수두 시험으로 하였다. 투수시험 결과는 표 2을 보면 낙동강 상류에서 하류 방향으로 내려갈수록 투수계수 K 값이 작은 것을 볼 수 있다. 투수계수가 작다는 것은 흙 사이로 수분이 흘러가는 양이 적다는 것을 의미하며, 상류지점인 월포와 김천은 다른 지점에 비하여 흘러가는 수분의 양이 많았다.

표 2. 시험분석 결과

구분	다짐시험			전단시험			투수시험
	시료의 무게(g)	수분의 양(g)	함수비 (%)	γ_t (t/m ³)	ϕ (°)	C (t/m ²)	k(cm/sec)
월포	22.4	0.9	4.02	1.67	31	0.2	9.73×10^{-2}
김천	25.7	0.7	2.72	1.64	33	0.5	7.70×10^{-2}
왜관	20.4	0.9	4.41	1.53	25	1.1	4.71×10^{-3}
동촌	18	1.2	6.67	1.48	22	1.4	7.99×10^{-3}
청도	39.4	2.5	6.35	1.46	23	1.8	9.83×10^{-3}
진동	36.7	14.3	38.96	1.76	16	4.7	2.26×10^{-4}

3. 제방재료 활용성 평가

3.1 직접사용성 평가

하천설계기준(한국수자원학회, 2005)에 따르면 제방재료는 일반적으로 흙을 사용하며, 일반 도로의 경우와 달리 흙의 전단강도측면 뿐만 아니라 물의 침투방지를 고려한 투수특성을 충분히 고려해야 하는 것으로 언급되어 있다. 표 3를 보면 6지점의 모든 흙의 입자는 하천설계기준에 언급된 재료의 최대 치수 100 mm 이내에 포함되는 것으로 나타나, 입경으로만 분석을 실시하였을 때는 6개 지점의 시료는 사용이 가능하다는 것을 알 수 있다. 하지만, 투수 계수를 비교했을 때, 현재 지점에서 나오는 투수계수는 진동지점을 제외하고는 설계기준의 값을 충족시키지 못하는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 진동지점을 제외하고는 나머지 지점이 투수성이 큰 사질토로 구성되어 있기 때문에 나타난 것으로 보이며, 제방재료로 활용하기 위해서는 기준을 만족시키기 위한 보완책이 필요한 것으로 보인다.

표 3. 시험분석값과 설계기준 비교

구분	시험분석값		설계기준	
	하상토 통과백분율 (%)	투수계수 (cm/sec)	재료입도 (mm)	투수계수 (cm/sec)
월포	100	9.73×10^{-2}	<100	$< 10^{-3}$
김천	100	7.70×10^{-2}	<100	$< 10^{-3}$
왜관	100	4.71×10^{-3}	<100	$< 10^{-3}$
동촌	100	7.99×10^{-3}	<100	$< 10^{-3}$
청도	100	9.83×10^{-3}	<100	$< 10^{-3}$
진동	100	2.26×10^{-4}	<100	$< 10^{-3}$

3.2 하상재료의 활용을 위한 개선방안

일반적으로 하상토가 제방재료로 부적합할 경우, 이를 보완하는 방법에는 미생물을 투입하여 공극의 크기를 줄여 투수계수를 감소시키는 방법, 하상토 준설 시 고화처리를 하는 방법, 흙의 압밀에 의한 강도증가를 위한 연약개량공법 등이 있다.

미생물을 이용한 투수계수를 감소시키는 방법은 다공성 매질인 토질에 주입시키고 적절한 기질과 영양분을 공급시키면 박테리아는 매질의 표면에 부착하여 성장하며 그 결과 공극의 크기가 감소하여 매질의 투수계수가 감소되고 입자간 마찰계수가 증가한다. 박테리아의 배양액은 다른 무기 미립자들과 함께 퇴적되어 형성한 집합체인 EPS (Extracellular Polymeric Substances)를 비롯한 세균 세포들이 존재하고 있기 때문에 다소의 점성을 나타내므로, 같은 부피의 수돗물을 가했을 때보다 배합 함수비가 낮게 나타난다.

고화처리를 하는 방법은 준설토와 고화제가 충분히 섞여 다짐도를 증가시키는 방법이다. 이러한 고화처리 방법은 하천의 준설토 공사 시 관중혼합처리 공법등을 활용해 현장에서 직접 다짐도를 높힐 수 있는 하상토 개선방안 중의 한 방법이다.

흙의 압밀에 의한 강도를 증가시키는 연약개량공법은 제방을 성토하는 곳이 연약지반으로 이루어 졌을 때 사용하는 공법으로 연약지반의 토질을 일부 혹은 전체를 양질의 토질로 치환하는 치환공법, 지반을 고결시키는 고결공법, 다짐을 함으로써 지지력을 향상시키는 다짐공법, 압밀을 촉진하여 점토의 강도를 증가시키

는 압밀축진공법 등이 있다. 따라서 본 연구에서는 투수계수를 낮추기 위해 미생물을 이용한 공법이나 양질의 재료로 일부 치환해 흙의 압밀강도를 높이는 방법 등이 활용될 수 있을 것으로 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 하상토의 현황과, 퇴적 메카니즘 분석을 통하여 하상토의 특성을 연구하고, 현재 제시되어 있는 하천설계기준을 조사하여 국내 4대강 유역 중 낙동강 수계의 하상토를 활용한 제방 축조의 타당성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 국내외 하상토와 관련된 규정을 검토한 결과 제방재료로 하상토를 사용이 불가능한 것은 아니며, 활용시 제방에 안전에 문제가 없도록 하는 범위에서 사용가능한 것으로 나타났다.
2. 낙동강 수계의 6개 표본 지점을 분석한 결과 입도분포는 이번에 적용한 설계기준 100mm 이내로 포함되어 하상토 재료로 사용이 가능하지만, 투수시험을 실시해본 결과는 진동을 제외한 5개 지점인 월포, 김천, 왜관, 동촌, 청도의 투수계수 k 가 10^{-3} cm/s 이상이 되므로, 입자간의 공극을 줄이고, 투수계수를 줄일 수 있는 보안책이 필요한 것으로 나타났다.
3. 하상토가 부적합할 경우 보완책으로는 공극을 줄일 수 있도록 입자를 혼합하는 방법이 있고, 미생물을 이용하여 공극을 감소 시켜 투수계수를 감소시키는 방법, 고화처리를 하는 방법, 제방 성토하는 지역이 연약한 지반 일때 연약 개량공법 등을 활용할 수 있는 것으로 조사되었다.

매년 많은 양이 방출되는 하천의 하상토를 활용할 수 방안에 초점을 맞추어 진행되었다. 현재 설계기준에서는 되도록 하상토 사용을 금지하고 있기 때문에 이 분야에 대해서는 활발한 연구가 진행되고 있지 못한 상황이다. 따라서 이번 연구는 하상토를 활용하고자 하는 연구의 초석이 될 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Allen, J., 1947, "Scale Models in Hydraulic Engineering, Longmans", Green & Co, London.
2. 건설교통부, 2002, "한강수계 하천정비 기본계획"
3. 송광섭, 1999, "준설토의 고화처리 방법" 대한토목학회지, 제51권, 제5호, pp.31-43.
4. 송영우, 김건하, 구동영, 1999, "미생물 균체의 주입을 통한 토양의 투수계수 감소" 한국지반공학회 논문집, 제15권, 제6호. pp.273-283.
5. 이남주, 이길성, 1998, "좌표변환에 의한 이차원 유사이동모형(II) -모형의 적용-", 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제18권, 제 II-5호, pp.423-436.
6. 한국수자원학회, 2005, 하천설계기준