친환경 신소재를 활용한 고강도 제방 기술

글. 이두한_국토보전연구본부 연구위원

국내 제방 기술 현황

최근 10년간의 강우 패턴 분석에 의하면 시간당 50mm를 초과하는 국지성 집중강우의 발생 횟수가 꾸준히 증가하고 있으며 이로 인한 하천 피해도 증가하고 있다. 연평균 121개소의 제방 피해가 발생하고 있으며 행정안전부가 파악한 인명피해 우려 지역 3,009개소 중 제방에 의해 보호받는 하천지역은 718개소로 전체의 24%에 달한다. 최근 10년간 태풍과 호우로 인한 연평균 피해액은 3,108억 원이며 복구비는 6,886억 원이 들었다. 이 중 제방 등 하천 관련 피해는 전체의 30% 정도로 추정된다. 2016년 10월에는 태풍 차바에 의한 단일 피해로 인명 피해 9명, 피해액 2,150억 원, 복구비 5,049억 원 등이 발생하였으며 2017년 7월에는 충북지역의 집중호우로 73개 하천에 피해가 발생하여 인명피해 6명, 피해액 872억 원, 복구비 2,876억 원이 발생하였다. 또한 2014년 대덕저수지 붕괴, 2017년 모항저수지 붕괴 등 저수지 제방 붕괴도 꾸준히 발생하고 있다.

국내 제방의 총연장은 55,282km이며 연평균 1조 원의 치수예산 중 대부분이 제방 축조에 투입되고 있으나 국내 제방 축조 기술은 수십 년간 답보상태라 할 수 있다. 최근 설계기준 개정으로 완경사 제방이 도입되었고 다양한 친환경 호안 재료가 적용되고 있으나 기후변화에 의한 침식, 월류, 파이핑 대응 등의 안정성 성능 향상 요구에는 크게 미진한 편으로 매년 동일한 양상의 피해 발생과 복구가 반복되는 실정이다.

이에 반하여 미국, 일본, 유럽 등 대부분의 OECD 국가는 기후변화에 의한 홍수 피해의 근본적 대응 차원에서 새로운 제방 기술개발에 집중하고 있다. 미국은 2005년 허리케인 카트리나 피해 이후 홍수 범람에도 안전한 고강도 제방을 전면적으로 적용하고 있으며 제방 성능 향상과 표준화를 위해 관련 기술기준인 ASTM을 제정하여 운영 중이다. 일본은 2011년 동북부 대지진 이후 범람 대응 제방인 슈퍼제방을 더욱 강화하여 쓰나미 역류에도 안전한 제방을 구축하고 있다. 네덜란드는 이상기후에 대비하여 최근 제방의 홍수대응 빈도와 기술기준을 기존 만년에서 십만 년으로 강화하고 이에 따라 기존 제방의 침식, 범람, 파이핑 대응 성능 개선을 위해 Deltares 주도로 국가 기술개발 프로그램을 진행 중이다. 영국, 스페인 등 기타 유럽 국가에서도 기후변화에 의한 해안 제방의 월파에 대응하기 위한 다양한 제방 기술개발을 진행하고 있다.

친환경 신소재 바이오폴리머를 이용한 제방 강화

전통적인 제방축조는 자연 흙, 콘크리트, 석재 등을 이용하여 축조하고 침식 대응과 환경성을 고려하여 다양한 호안 공법을 적용하는 형식이다. 최근 한국건설기술연구원과 KAIST 지반연구팀이 공동으로 개발한 지반 신소재 바이오폴리머는 기존 토양과 결합하여 강도와 식생 증진에 효과가 높은 것으로 평가받고 있다.

[그림 1] 충남 아산천 제방 붕괴(천지일보, '17.7)

[그림 2] 경주 나사천 제방 붕괴(다경데일리, '16.10)

02

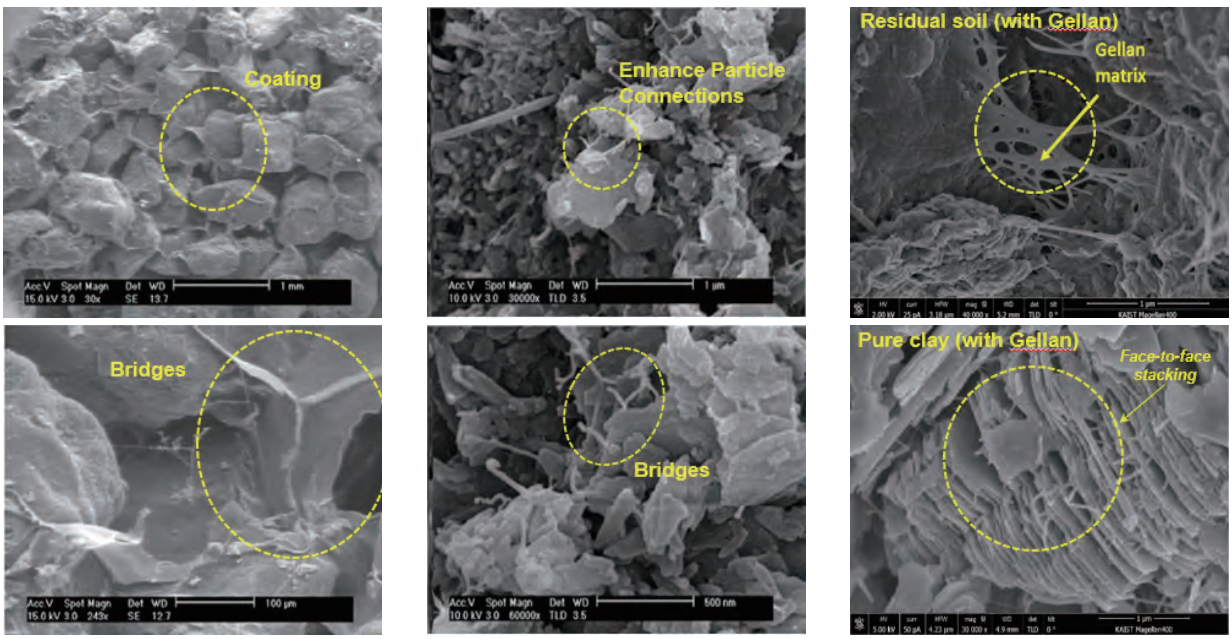
바이오폴리머는 미생물의 생체활동을 통해 생산되는 고분자 유기물을 통칭하는 것으로 기존에는 식품, 의약품, 화장품 등의 첨가제로 주로 사용되는 친환경 신소재이다. 생산 과정에서 이산화탄소가 거의 발생하지 않으며 오히려 탄소 고정효과가 있는 것으로 알려져 있다. 국내 지반 연구팀에서 개발한 바이오폴리머는 토양과 결합하여 강도 증진, 침식 저감 등의 효과뿐만 아니라 수분 함유와 흙의 다공성 유지를 통해 식생 증진 효과도 함께 나타난다. 또한 미생물 대사활동으로만 생산되므로 100% 순수 생체고분자이다.

바이오폴리머 생산 미생물의 배양과정을 조정하면 다양한 특성을 가진 바이오폴리머를 생산할 수 있다. 즉 강도 특성, 식생 생장 특성, 고결 특성 등을 조정할 수 있으므로 목적에 맞는 천연 소재를 획득할 수 있다.

신소재 제방 연구단의 연구 방향

이와 같이 다양한 활용 가능성을 지닌 바이오폴리머를 활용하여 제방 기술을 혁신하기 위하여 신소재 제방 연구단이 출범하였다. 연구단의 주요 목표는 고강도 바이오 제방 신소재 개발 및 대량생산 체계 구축을 통한 상용화, 신소재를 활용한 침식 · 월류 및 파이핑 대응 친환경 고강도 제방 기술개발, 신소재 제방 기술의 환경/생태/안정성 검증 및 기술표준화 등이다. 신소재 바이오폴리머를 제방 재료로 적용하기 위해서는 제방 축조 재료의 요구 성능에 맞는 신소재 개발이 필요하다. 이를 위해서 다양한 배양 및 혼합 조건에서 최적 레시피를 개발하고 개발된 레시피의 강도와 특성을 예비실험 및 실대형 실험을 통해 검증한다. 또한 바이오 쏘일 형태로 제방에 적용하기 위한 시공법과 시공장비를 개발하며 현장 적용을 통해 검증할 계획이다.

[그림 3] 젤 타입 바이오폴리머의 결합 구조(Chang, I 등, 2016)



친환경 신소재를 활용한 고강도 제방 기술

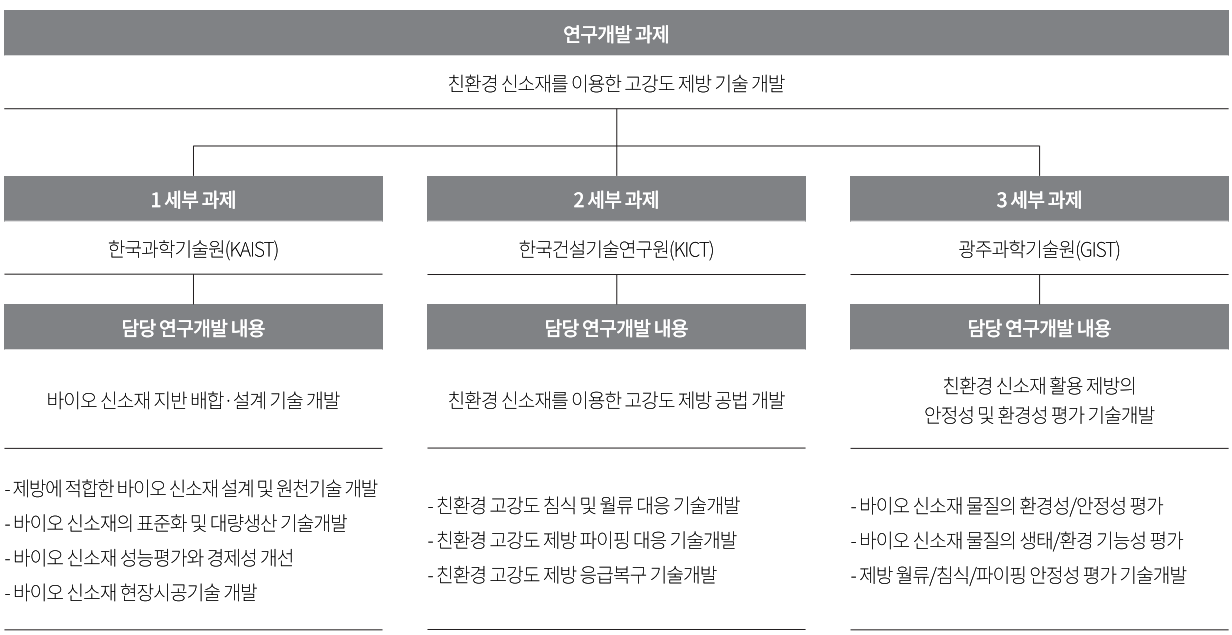
제방의 공학적 안정성은 침식, 월류, 침투 등에 대한 정량적 안정성으로 평가된다. 신소재 바이오폴리머를 이용하여 바이오 쏘일 형태의 적용뿐만 아니라 침식 대응 공법, 월류 대응 공법, 침투 대응 공법 등에 적용하기 위한 제품 또는 공법 개발도 수행하고 있다. 침식 대응 공법은 강성 호안 공법과 연성 호안 공법으로 개발하는데 바이오폴리머를 이용한 블록 개발 및 매트 공법 개발이 대표적이다.

월류 대응 공법 개발을 위해서는 월류 외력 평가, 월류 대응 공법 개발, 월류 성능 평가 등이 필요하다. 침투 대응 공법은 기존 화학계 약액 주입 공법을 대체할 수 있는 바이오폴리머 주입공법 개발을 목표로 하고 있다.

제방기술 개발을 위해서는 월류/침투/침식 등에 대한 실성능 평가가 필수적인데 이를 위해서는 실규모 또는 준실규모의 실험이 필요하다. 제방의 파괴 메커니즘 자체가 수리적 현상에 의한 제방 재료의 피해에 의해 발생하므로 일반적인 실내 실험 또는 축소 모형 실험으로는 한계가 있다. 특히 고강도 제방 기술 확보를 위해서는 실제 홍수 발생 시의 외력 재현이 필요하므로 실규모 실험이 수반된다. 이를 위해서 실규모 월류/침투/침식 실험을 한국건설기술연구원의 하천실증연구센터(안동)에서 수행 중이다.

현재까지 연구결과에 따르면 바이오폴리머 바이오 쏘일의 강도는 시멘트 10% 처리 대비 약 1.9배의 강도가 발현되는 것이 확인되었으며 식생 증진효과도 무처리 토양 대비 약 1.2~1.8배로 확인되었다. 실내 기초 실험에 의한 월류 대응 성능은 기존 흙 처리 제방과 비교해 붕괴 진행 시간이 느리게 진행되어 월류에 대한 탄력적 대응에 효과가 있음을 확인하였다. 현재는 바이오 쏘일 적용과 블록 타입 적용 시의 강도 증진에 집중하고 있으며 실규모 월류 및 침투 시험을 준비 중이다. 바이오폴리머의 강도 및 식생 활착 성능은 확인되었으나 이를 제방 자체에 적용하기 위한 시공성 확보를 위해서는 대량 생산을 통한 경제성의 확보가 필요하다. 이를 위해서 대량 생산 체계 구축이 진행 중이다.

[그림 4] 신소재 제방 연구단 구성



본 연구를 통한 바이오폴리머에 의한 바이오 쏘일 압축강도 목표는 30Mpa이며 이를 기반으로 한 제방 공법의 강도 목표는 연성 호안 공법의 경우에는 유속 5m/sec이며 강성 호안 공법의 경우에는 유속 7m/sec를 목표로 하고 있다.

맺음말

제방은 홍수로부터 국민의 생명과 재산을 보호하는 최후의 보루이다. 국가 차원에서도 매년 1조 원의 국가 예산이 제방 축조와 관리를 위해서 투입되고 있으나 관련 기술의 진보는 거의 없는 상태로 매년 유사한 피해와 복구가 반복되고 있다. 전 세계적인 기후변화에 대응하기 위해 미국, 일본, 유럽 등은 매우 민감하게 대처하고 있으며 고강도 제방 기술 확보를 위해 다양한 시도가 이루어지고 있다.

국내 지반연구팀에서 세계 최초로 개발한 바이오폴리머 기반 바이오 쏘일 기술은 강도와 환경 측면에서 동시에 강점을 가지는 획기적인 기술로 제방 축조에서 혁신이 될 수 있는 원천기술로 평가된다. 신소재 제방 연구단은 신소재 배양 및 생산에서부터 다양한 공법 및 시공기술 개발까지 바이오폴리머를 이용한 제방 축조 및 보강 패키지 기술 확보를 목표로 연구를 수행 중이며 이 과정에서 제방의 침투, 월류, 침식 평가 기술도 확보할 계획이다.

친환경 신소재 제방 기술을 성공적으로 개발하여 국내 제방에 적용하면 제방의 근본적인 안정성과 환경성을 동시에 확보할 것으로 기대되며 국제적인 기술 파급 효과도 상당할 것으로 기대한다.

참고자료

- 행정안전부(2017), 재난안전통계연보
- 신소재 제방 연구단(2016), 신소재 제방 연구단 연차 · 실적 계획서
- Chang, I., Prasidhi, A.K., Im, J., and Cho, G.C. (2015), “Soil strengthening using thermo-gelation biopolymers”, Construction and Building Materials, Elsevier, Vol. 77, pp. 430-438.

[그림 5] 주요 연구 내용

바이오폴리머 배양

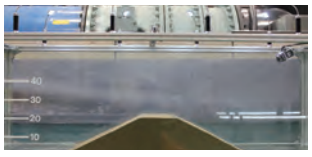
침식 저항 성능평가

바이오 신소재의 시험시공

바이오폴리머 시편 제작

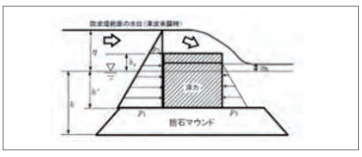
호안/월류/침투 공법 개발

공법 현장 적용 및 검증



월류/침투 실내 검증

월류/침식 공법 성능 평가


공법 적용기법 표준화