

안정해안선 유지를 위한 양빈설계 기법

The Design Methodology of Beach Nourishment of Maintenance of Stable Shoreline

최진휴^{1,*}, 김일섭¹, 정재훈¹Jin-Hyu Choi^{1,*}, Yil-Seob Kim¹, Jae-Hun Jeong¹¹(주)세광종합기술단 해안·항만방재연구소
¹Sekwang Engineering Consultants. co. Ltd.
Coastal and Harbor Disaster Prevention
Research Institute, Seoul 06140,
Republic of Korea* Correspondence to Jin-Hyu Choi
E-mail: rapgosoo@hanmail.netReceived July 11, 2023
First revised August 7, 2023
Second revised August 22, 2023
Accepted August 24, 2023**Abstract :** In this study, it was analyzed that the case study by specifying beach nourishment strategy aimed at stable beach by multiple times. It was conducted that a case study of the existing beach nourishment technology that can economically move. The analysis result is summed up like the following: 1) It was conducted that research on existing beach nourishment technology cases (sand recycle, sand bypassing). 2) It was established that the concept of beach nourishment technology development and review beach nourishment design technique, prior beach nourishment prediction and design technique considering Run-up. 3) It was developed that the step by step design technique for the stability beach composition. 4) Finally, it reviewed that the total amount of sand maintained after beach nourishment and optimal dynamic stable beach maintenance technology.**Keywords :** Stable shoreline, Beach nourishment, Design methodology, Sand recycle, Sand bypass

서 론

국내 연안에서 발생하고 있는 연안침식은 연안지역의 지형적 특성에 따라 백사장 침식, 사구포락, 토사포락, 호안붕괴 등의 다양한 형태로 나타나고 있다. 연안침식의 원인인 표사이동수지의 불균형을 발생시키는 원인은 매우 복잡하여 각각의 원인이 복합적으로 발생하는 현상이지만 국내의 사빈해안에서 주로 발생하는 침식원인은 항만 및 어항건설, 해안도로 및 호안의 축조, 무분별한 하구 및 항내 준설토 유용, 인위적 해안침식 등을 들 수 있다(MLTMA, 2010a).

연안에서 발생된 침식을 복원하기 위해 양빈공법을 고려할 수 있고, 양빈은 최대폭을 확보하는 것이 장기간 침식에 대응하기 유리하나 국내의 경우 대규모 양빈사채취의 가능 여부 및 예산 등에 따라 현실적으로 수행하기에 어려움이 있다. 따라서, 국내 연안과 같이 주어진 여건에서 양빈 수행 시에는 가능한 장기간(MLTMA, 2010b) 동적안정상태를 유지할 수 있도록 설계 및 시공이 이루어져야 한다.

이에 본 연구에서는 복수회에 의한 안정해빈을 목표로 하는

양빈전략을 단계별로 구체화하며 그 사례를 분석하고, 모래를 경제적으로 이동시킬 수 있는 기존 양빈 기술 사례 조사연구를 수행하였다. 주요 연구 내용은 다음과 같다. 1) 기존 양빈 기술 사례(내부순환양빈, 샌드바이패싱 등) 조사연구를 수행한다. 2) 양빈 기술 개발 개념을 확립하고 Run-up을 고려한 양빈설계 기법, 선양빈 예측 및 설계 기법 등을 검토한다. 3) 단계별 양빈 설계 기술을 개발한다. 4) 최종적으로, 양빈 후 모래 총량유지 검토 및 최적의 동적 안정해빈 유지 기술을 검토한다.

기존 양빈 기술 사례 조사

1. 샌드보로 공법(Sand borrow method)

샌드보로 공법은 파랑, 너울, 연안류 등에 의해 해안에서 앞바다 해저로 옮겨져 퇴적한 토사를 이용하여 양빈하고 사빈을 회복하는 방법이다. 원래의 해안에 있는 모래를 이용하여 양빈하는 공법이기 때문에 환경에 영향이 적은 특징이 있다. 퇴적모



Fig. 1. Sand bypassing method (Kweon, 2009).

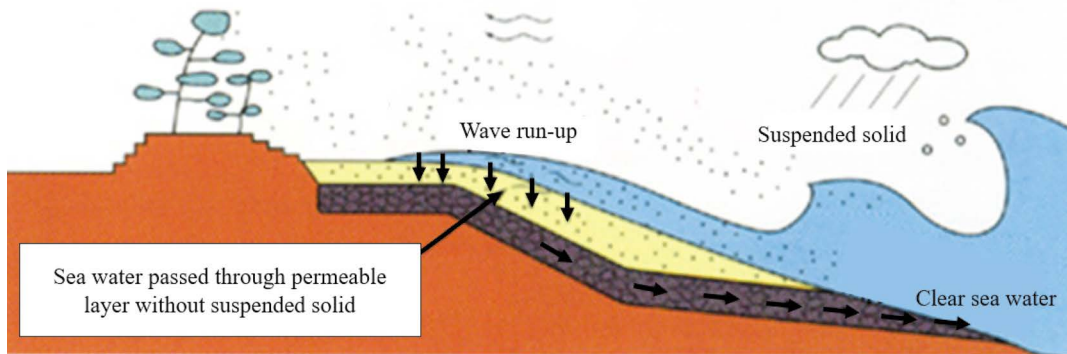


Fig. 2. Groundwater level reduction methods (Kweon, 2009).

래의 채취장소로부터의 거리와 양변하는 해변의 형상에 따라 레인보우 공법과 파이프라인 공법이 있다. 레인보우 공법은 펌프로 준설한 모래를 작업선에서 불어 올리는 방법이고, 파이프라인 공법은 펌프로 준설한 모래를 부상한 파이프라인으로 압송하는 방법이다.

2. 샌드바이패싱 공법

해안선에 방파제나 도류제 등의 구조물을 건설하면 연안표사 루트가 차단되고, 상류쪽의 샌드바이패싱 공법은 상류 쪽에 퇴적된 토사를 인위적으로 하류 쪽으로 운반하여 해안침식을 방지하는 방법이다. 즉, 연안방향표사의 연속성을 확보하여 해변지형을 보전하는 것으로 세계적으로 넓게 채용되고 있다. 일반적인 토사의 운반 방법은 덤프에 의한 육상운반, 벨트콘베이어에 의한 운반, 그랩준설선과 흡운반선에 의한 방법, 펌프준설선과 파이프라인 압송에 의한 방법이 있다. 이들 이외에 상류의 퇴적 쪽에 고정식 펌프시설을 설치하고, 파이프라인으로 하류 쪽에 샌드바이패싱하는 방법이 있다. 이 공법은 미국 플로리다주나 호주 퍼스의 연안주 등에서 실적이 있다. Fig. 1에 미국 플

로리다주 대서양 연안의 사우스 레스워크 하구의 고정식 샌드바이패싱의 예를 제시하였다. 사진의 오른쪽 도류제의 기부에서 고정식 펌프시설이 설치되어 있고, 항로를 횡단하여 파이프라인이 왼쪽의 도류제 배면에 준설사를 운반하여 샌드바이패싱하고 있다.

3. 지하수위 제어 양빈 공법

해안침식이 사빈에 밀려온 파의 작용으로 끌려가는 것에 착안하여 해안의 정선 부근의 지하수위를 낮추어 사빈의 표층에 불포화 영역을 만들고 해변으로 쳐올라와 되돌아가는 파의 에너지를 흡수하여 모래를 해변에 잔류시키는 방법이다. 이 원리를 응용한 것으로 비치매니지먼트시스템(BMS)과 투수층설치 공법이 있다. 비치매니지먼트시스템은 덴마크에서 개발된 공법으로 정선 아래에 집수관을 매설하고 정상적으로 펌프를 이용해 양수하여 지하수위를 낮추는 방법이고, 투수층설치 공법은 Fig. 2에 제시된 바와 같이 정선 하부에 투수층을 설치하여 해변을 유지 및 성장시키는 공법이다.

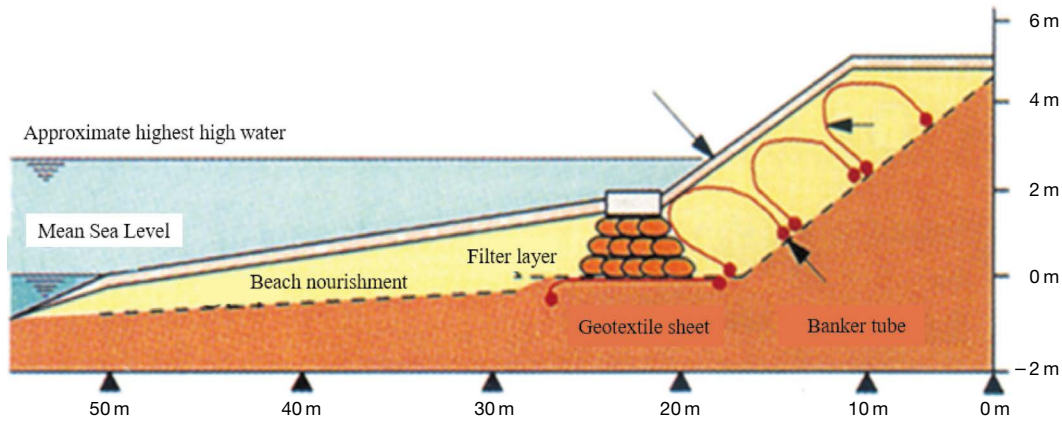


Fig. 3. Geotextile methods (Kweon, 2009).

4. 백형 공법(bag)

백형 공법은 합성섬유를 짠 지오텍스타일을 봉제·가공하여 그 내부에 토사를 채우고 구조물을 구축하는 방법이다. 해저지반의 변형에 대응하기 쉽고 건설잔토 등의 세립분이 많은 토사 등도 석재 등의 대체품으로 이용할 수 있는 특징이 있다. Fig. 3에 독일 실드 섬에서의 양빈 시 양빈사량을 저장하기 위하여 사용된 지오텍스타일의 예를 제시하였다.

양빈 기술개발 개념 확립

1. 양빈 설계 기본

양빈은 침식해안에 모래를 공급하는 것을 의미하며 양빈을 위해서는 양빈량(소요량)을 추산하여야 한다. 이를 위하여 양빈 대상 지역의 안정해빈 평면형상을 우선 결정하여야 하며 양빈량 결정은 평면(X,Y)에 더하여 Z축을 결정한다. 양빈량 추산은 우선 가용한 공급량과 소요량을 동시에 염두에 두고 계획을 수립하여야 하며 침식해안을 복구하기 위해서는 충분한 모래가 필요하지만 사전에 준비된 경우는 극히 예외적이다. 또한, 연차적으로 양빈사업을 부분적으로 수행하게 되면 일거에 모래유실이 발생할 수 있으므로 충분한 모래공급과 모래소요 계획이 동시에 수행되어야 한다. 추가적으로 항내 양빈사 채취를 위한 준설을 독립적으로 수행하여 이를 적재하여 두었다가 양빈설계에 이를 반영할 수 있도록 하는 방안을 고려할 수 있다.

모래이동은 파랑에 의한 현상이고 이를 대표하여 정의하기가 어려우므로 전략적으로 접근하는 것이 요구되며, 기술의 체계화와 향상을 위해 대표파에 의한 안정해빈 추정 방법을 생각할 수 있다.

하지만, 대표파는 무한파봉장과 하나의 파로 가정한 것이므로 결과에 대한 해석은 파랑의 다방향성, 단파봉파, 점변하는

1. A case study on beach nourishment technology

Sand bypassing, sand recycle, ..., etc.

2. Establishment of the development concept of beach nourishment technology

- 1) The development of concept of beach nourishment technology
- 2) A study on the nourishment design method

3. The development of beach nourishment design technology

- 1) Analysis of Stable shoreline after the primary beach nourishment
- 2) Step by step tracking of stable beach

4. The development of maintenance technology of stable beach

- 1) Analysis of the total amount after beach nourishment
- 2) The maintenance technology of optimal dynamic stable beach

Fig. 4. Flow chart of study.

쇄파 특성을 고려하여야 한다. 또한, 실험적 방법은 모래이동 경향을 파악하는 정도이며, 왜곡축척에 의한 Scale Effect로 인하여 큰 축척 실험은 무의미하다. 따라서, 단계별 시공으로 공사시기별 양빈사 소요량 상세 분석 및 모니터링을 시행하고 인근하천 또는 항 매물 준설 시 양질의 토사 등 양빈재 공급 후보지를 선정하여 양빈을 추진할 필요가 있다.

2. 모래공급을 고려한 양빈 설계 기법

1) 하구 토출률 산정

해안의 모래는 단위표사계 내 하천의 하구로부터 공급되며 건천 시보다 황천 시 모래 공급이 극대화된다. 과거 이력 사진 분석을 통한 해변 유입 토사 기여량(Q^*), 개발 평면배치 공사에 따른 국부적 침식량(Q_e), 주변 개발에 따른 먼 바다 유실량(ΔQ)을 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_r = Q^* + (Q_e + \Delta Q)$$

여기서, Q^* 는 구조물 설치 이전 자료 기준으로 년차간 변화율(면적), $Q^* = Q_1^* + Q_2^*$, Q_1^* 는 하구 모래량(채취 가능량), Q_2^* 는 연안공급 모래량이다.

2) 추가 양빈사 확보 방안

추가로 요구되는 양빈사는 동일한 단위표사계 내에서 추가적으로 필요한 양의 양빈사를 확보할 필요가 있다. 추가 양빈사는 가능한 한 인근지역에서 확보하며 항내 퇴적토 또는 하구 Sand Spit 등을 대상으로 검토가 필요하다. 우선순위로 인근 하천 하구의 모래량 측량을 수행하고, 항내 양빈사 채취는 별도 사업으로 추진 방안을 검토한다. 다른 단위표사계로부터 확보할 경우 추가적인 양빈체적항($D\Delta Q^*$)이 더해지게 되고, 실제 총 확보 양빈사량은 다음 식으로 산정한다.

$$Q_t = Q_1^* + D\Delta Q^*$$

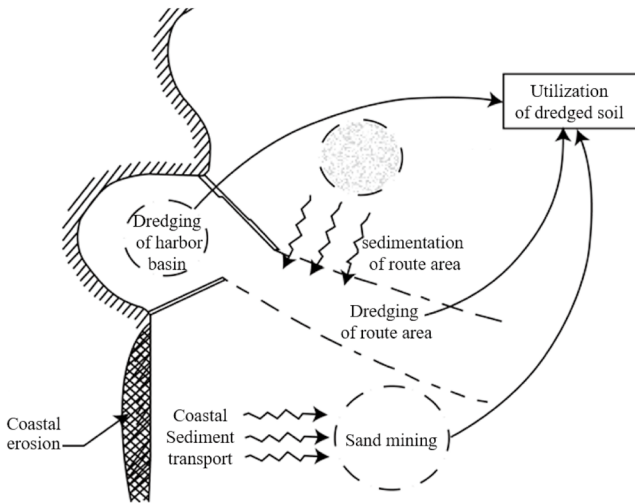


Fig. 5. Schematic diagram of sedimentation.

3. 다양한 양빈설계 기법

1) Run-up을 고려한 양빈 설계 기법

해빈의 평형해안을 추정하여 가장 빈한 폭을 가지는 부분의 Run-up(처오름)이 배후 구조물로 인하여 반사가 발생되는지를 검토하여 양빈에 반영한다. 처오름 높이 저감용(반사파 억제)으로 돌망태(공극률 확보) 등을 설치하는 방법을 통해 제어가 가능하며, Fig. 6은 도구해변에 실제 설치된 예를 보여주고 있다. EurOtop, CEM 등의 다양한 연구 결과를 검토하여 Run-up을 산정하여 설계에 활용한다.

2) 선양빈(先養浜) 예측 및 설계 기법

현재 해빈조건으로부터 예측된 평형해안선의 퇴적부분을 선제적으로 모래를 이용하여 충전(充填)하는 방법이다. 예측되는 계절적 주파향에 대하여 인위적인 안정해빈의 활선을 미리 확보함으로써 주어진 해빈에서 모래이동량을 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다. 선양빈 공법의 효용성을 검증하기 위해서는 대상 해빈에서 계절별 주파향 결정방법이 선결되어야 한다. 우선 기존의 표사모형을 활용하여 현재의 해안선 변화를 계산하고 이를 미파솔(MeePaSol)의 결과와 비교해 볼 수 있다. Fig. 7과 같이 해안선 관측자료를 이용하여 대상 해안 기준선으로 목표해안선을 설정하고, 연안표사에 의한 침·퇴적량을 산정하여 “(소요 양빈량) ≤ (양빈사 채취량) + (예측되는 연안 표사량)”의 관계를 이용하여 예측한다(Fig. 8).

양빈 설계 기술 개발

양빈은 수치모델의 한계를 고려하여 이안제 내 원호형 안정해빈을 확정하기 위해 1차와 2차로 나누어서 진행한다. Fig. 9와 같이 1차 양빈을 수행(70%)하고, 해안선 변화 등 모니터링



Fig. 6. Stone bag.



Fig. 7. Equilibrium shore line of study area (winter and summer) (Jeong and Kim, 2021).



Fig. 8. Equilibrium beach and volume filled up by prepared sand plus longshore sediment (Jeong and Kim, 2021).

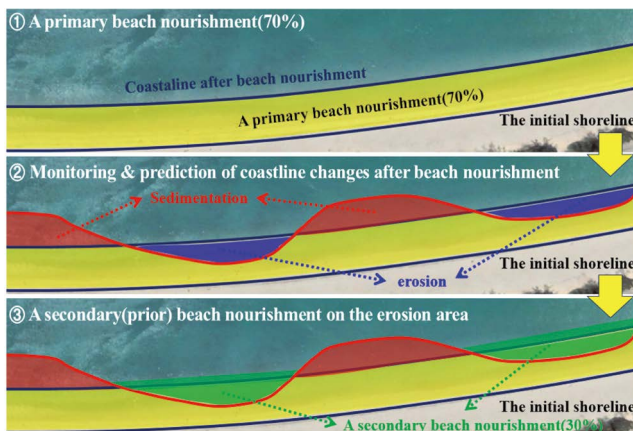


Fig. 9. The schematic diagram of step-by-step beach nourishment.

을 수행하며 효과를 분석한다. 1차 양빈을 통하여 실효역에서 결정된 안정해빈에 따라 2차 해빈을 조성한다. 단, 1차 양빈의 경우 충분한 모래를 확보할 수 없다는 가정하에 출발하고, 반사파 발생 시 양빈 시스템은 전반적으로 붕괴하게 되며 최빈 해

빈폭을 기준으로 육상부 구조물로부터 반사파가 발생하지 않는 한계를 목표로 한다. 이후 2차 양빈을 수행(30%)한 이후 지속적인 모니터링을 수행한다.

양빈량 산정과정은 먼저 경험식을 활용하여 평형해빈을 산정하고 최초 양빈량 평형해빈을 추정한다. 평형해빈 추정 프로그램으로부터 설정된 평형해안으로부터 가장 빈한 폭을 가지는 부분의 Run-up(치오름)이 배후 구조물로 인하여 반사가 발생되는지 여부를 체크한다. 기준해빈의 경우 과거의 관측 자료나 최근 모니터링 자료 등을 이용한다.

본 연구에서 제시한 양빈설계 기술은 기존 연구에서 수행되지 않았던 방법으로 1차 양빈을 수행(70%)하고, 해안선 변화 등 모니터링을 수행하여 침·퇴적 양상을 확인한 후, 침식이 발생된 영역을 대상을 2차 양빈을 선양빈 개념으로 수행(30%)하여 지속적인 모니터링을 통해 안정해안선을 유지하는 새로운 방식의 기술이다. 본 기술은 수치모델의 한계성을 극복하고 양빈 유실량을 최소화할 수 있는 방안으로 이후 모니터링을 통한 검증이 필요하다.

안정해빈 유지 기술 개발

1. 양빈 유지 모니터링

Fig. 10은 봉평해변을 대상으로 직접 촬영한 결과의 예를 보여주며, 드론 사진 기반 포인트 클라우드 모델을 제작한 후 3D 모델, 정사영상, 수치표면모델(DSM, Digital Surface Model), 수치지형모델(DTM, Digital Terrain Model)을 추출하고, 3차원 모델 정사영상을 통해 모래의 체적량을 산정하여 양빈사량을 추정한다. 최종적으로 해안선과 해빈 체적변화 추이를 사후 모니터링하여 적정 양빈주기 및 양빈량을 산정할 수 있는 방안을 제시할 수 있다.

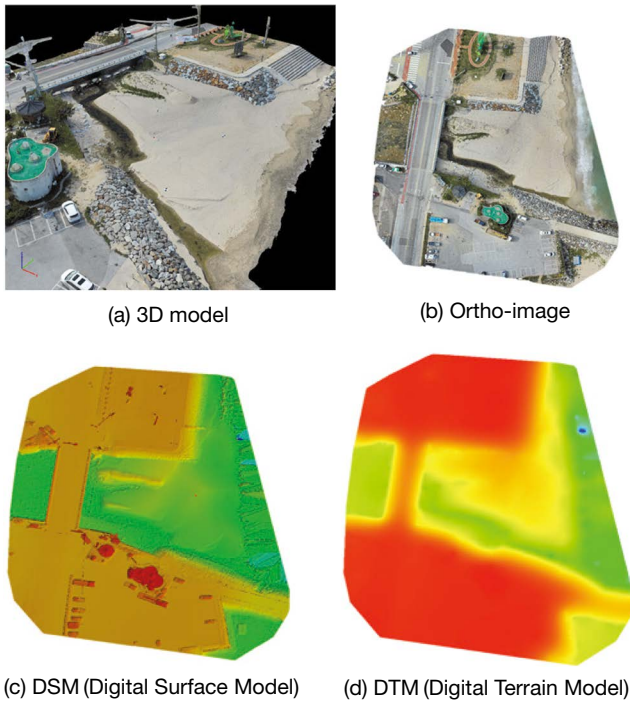


Fig. 10. The example of analysis of UAV survey.

2. 안정해빈 유지를 위한 양빈 기술

드론측량을 통해 산정된 양빈사량 결과를 활용하여 안정해빈 유지를 위한 양빈 기술을 적용할 수 있다. 모래 총량계의 개념을 도입하여 안정해빈 유지를 위해 표사계 내에서 모래의 이동을 고려하여 Fig. 11과 같이 순환양빈(Sand Recycle), 우회양빈(Sand Bypassing)을 적용하여 안정해빈을 유지한다. 순환양빈은 침식지역 해빈 복구를 위해 퇴적지역 모래를 상류방향으로 강제 재순환하는 방법으로 인근 하천모래를 활용하여 양빈사로 활용 가능하다. 우회양빈은 퇴적지역 모래를 하류방향으로 강제 우회하는 방법으로 표사계 내의 국부적인 퇴적구간의 모래를 인근 침식구간으로 이동시켜 효율성, 경제성 측면에서 유리한 방법이다.

결론

본 연구에서는 복수회에 의한 안정해빈을 목표로 하는 양빈 전략을 단계별로 구체화하며 그 사례를 분석하고, 모래를 경제적으로 이동시킬 수 있는 기존 양빈 기술 사례 조사연구를 수행하였다. 주요 연구 결과는 다음과 같다. 1) 기존 양빈 기술 사례(내부순환양빈, 샌드바이패싱 등) 조사연구를 수행하였다. 2) 양빈 기술 개발 개념을 확립하였고 Run-up을 고려한 양빈설계 기법, 선양빈 예측 및 설계 기법 등을 검토하였다. 3) 단계별 안정해빈 추적 양빈 기술을 제시하였다. 4) 최종적으로, 양빈 후 모래 총량유지 검토 및 최적의 동적 안정해빈 유지 기술을 검토하였다.

본 연구에서 제시한 양빈설계 기술은 기존 연구에서 수행되지 않았던 방법으로 1차 양빈을 수행(70%)하고, 해안선 변화 등 모니터링을 수행하여 침·퇴적 양상을 확인한 후, 침식이 발생한 영역을 대상을 2차 양빈을 선양빈 개념으로 수행(30%)하여 지속적인 모니터링을 통해 안정해안선을 유지하는 새로운 방식의 기술이다. 본 기술은 수치모델의 한계성을 극복하고

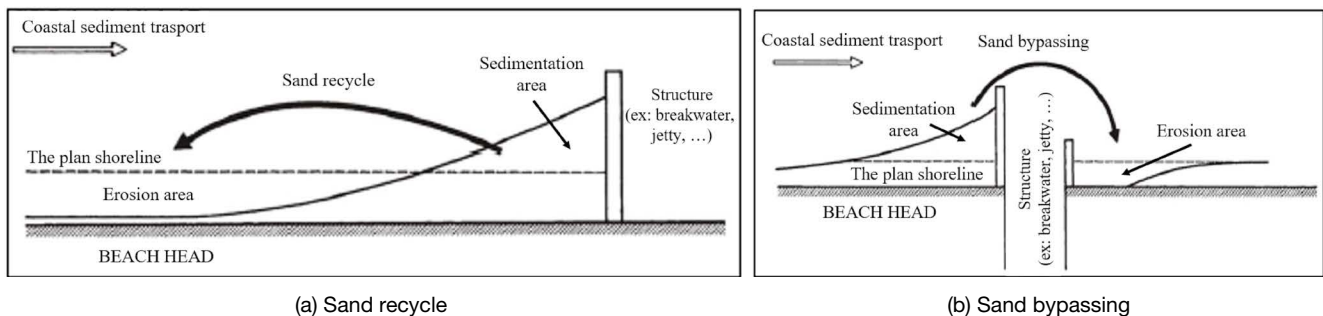


Fig. 11. Technology of beach nourishment.

양빈 유실량을 최소화할 수 있는 방안으로 본 전략에 의해 안정해빈을 목표로 하여 단계별 양빈을 수행할 경우 모래 유실이 최소화되면서 경제적 모래 공급 계획을 수립할 수 있을 것으로 기대되며 이후 모니터링을 통한 검증이 필요하다. 본 기술을 통해 장기간 안정해빈을 유지함으로써 향후 국가예산 절감 및 지역민들의 안정적인 관광수입 등 어민들의 대체소득원 확보에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- Jeong, J.H. and Y.S. Kim, 2021. Study on Prediction Model and Design Procedure of Pre-Beach Nourishment. *Science of Fisheries & Oceanography*. Chonnam National University, 30(2), 43-49.
- Kweon, H.M., 2009. Coastal Disaster Prevention. National Disaster Management Research Institute (Government Publications Registration Number: 11-1660000-000497-01).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010a. Design Guide Book of the Coastal Improvement Project (Government Publications Registration Number: 11-1611000-001596-01).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010b. Guide Book of the Management of Coastal Erosion of the Coastal Improvement Project (Government Publications Registration Number: 11-1611000-001595-01).

Jeong, J.H. and Y.S. Kim, 2021. Study on Prediction Model and Design Procedure of Pre-Beach Nourishment. *Science of Fisheries &*