

도심지 토사재해 방어기술 테스트베드 구축 및 모니터링 연구

Construction and Monitoring of Test bed in Urban Sediment Disaster Prevention Technology

이정민¹ · 김효진² · 이윤상³ · 진규남⁴

Jung-min Lee¹, Hyo-Jin Kim², Yoon-Sang Lee³ and Kyu-Nam Jin⁴

(Received June 26, 2017 / Revised July 5, 2017 / Accepted July 24, 2017)

ABSTRACT

In this study, sediment transfer and precipitation analysis of the test bed watershed was conducted through the model for the application and practical use of the urban sediment disaster prevention technology, and used this as an aid to design to secure reliability. In addition, conducted the test bed monitoring with the defense technology, analyzed the effect, and established the maintenance plan. Analyzed the change of soil deposition volume through arbitrary slope adjustment for the currently installed stormwater conduit of the test bed watershed. As a result, it is important to reduce the total sedimentation amount in the adjustment of the slope of the entire pipeline, but it is important that the sedimentation depth of each sediment does not rise to such a degree as to threaten the performance of the pipeline. Considering these matters, it is necessary to design the pipeline to prevent the clogging of the soil from the viewpoint of the reliability of the entire pipeline. The sediment disaster defense technology test bed is divided into a new city and an old city, and old city test bed is under construction. The result obtained through the monitoring of the test bed in the new city, sediment disasters such as debris can delay the time to reach the downtown area, and it is possible to secure the golden time, such as evacuation and rescue through the warning system. Also, the maintenance of the test bed application was suggested. Continuous and systematic monitoring is required for securing the reliability of element technology and successful commercialization.

Key words : Urban Sediment Disaster(도심지 토사재해), Test-Bed(테스트베드), Prevention Technology(방어기술), Monitoring(모니터링), Commercialization(상용화)

1. 서론

우리나라는 개발중심의 급격한 도시화 과정에서 안전에 관한 사항을 등한시 한 경향이 있었다. 그러나 우면산 산사태 등 도심지에 토사재해가 빈번하게 발생함에 따라 안전에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만 기존의 관련법들은 도심지에 발생하는 토사재해에 관해서는 규정이 다소 모호한 점이 있다. 또한 도심지 토사재해의 방어기술에 대한 기준이 명확하지 않아 신도시 설계 및 기존 도시 방어시설 설치에 어려움이 있다.

따라서 본 연구의 선행연구에서는 국내·외의 방재계획 수립 실태 분석 및 개선방안을 도출하였다. 이러한 개선방안을 토대로 토사재해 저감을 위한 도시설계의 요소기술들을 테스트베드

에 적용하는 방안을 수립하였다.

본 연구의 목적은 토사재해 방어기술의 적용을 위한 실시설계 방안을 제시하는 것이다. 이를 위해 강우주상도, 하수관거 등 자료를 입력하여 유역의 유출량과 수질 예측이 가능하고, 오염물질 처리를 모의할 수 있는 SWMM(Storm Water Management Model) 모형과 연계한 토사 이송·침전 해석을 통해 설계의 보조 자료로 활용하여 신뢰성을 확보하고, 구축한 테스트베드의 토사재해 방어기술 모니터링을 수행하여 방어기술을 검증하고자 한다.

본 연구에서는 신도시 및 구도시를 대상으로 토사재해 방어기술을 적용하여 기술의 검증 및 적용기준을 수립하고자 한다. 이를 위해 구도시의 방재 및 안전계획을 검토하여 테스트베드와

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(주저자: andrew4502@lh.or.kr)

2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(교신저자: hyojin@lh.or.kr)

3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원

4) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원

의 연계방안을 모색하였다. SWMM 모형과 연계하여 신도시의 토사 이송·침전 해석을 수행하고, 이를 신도시 테스트베드 구축을 위한 보조자료로 활용하였다. 또한 구축한 테스트베드에 적용된 방어기술의 모니터링 계획을 수립하여 지속적인 검증을 실시하고자 한다.

2. SWMM 모형과 연계한 토사 이송·침전 해석

본 연구에서는 테스트베드와 기존 도심지와 연계성 확보를 위하여 토사 이송·침전 해석을 수행하였다. 토사 이송·침전 해석을 위하여 세종시 배수구역 중 주거 밀집지역 및 시가지 중심부에 해당하는 도심지 소유역을 검토하여 방축천 인근 도담동 유역을 대상으로 선정하였다. 해당 유역의 현재 설치된 우수관거에 대하여 임의의 구간 경사 조정을 통하여 토사 퇴적량의 변화에 대한 분석이 필요하다. 일반적인 도심지 우수관로에서의 경사 변경에 따른 관거 내 토사 퇴적량의 변화 분석을 위하여 SWMM 모형을 사용하였다.

2.1 대상유역 검토

방축천은 유역면적 8.15km², 유로연장 5.07km를 가지는 금강의 제2지류인 지방하천으로 방축천유역은 금강유역의 중앙부에 위치하며 북쪽으로는 연기천 유역과 경계를 이루고 서쪽으로는 국사봉 (EL.213.7m), 동쪽으로는 원수봉(EL.254m), 그리고 남쪽으로는 금강이 가로지르고 있다. 수원은 연기군 남면 방축리 수로에서 발원하여 2.0km 남서류하여 제천으로 유입되는 하천이다.

방축천의 토지이용 현황은 유역면적 8.15km² 중 투수지역인 임야가 31.1%로 가장 많이 차지하고 있고, 다음으로 불투수지역인 주거지 38.1% 및 상·공업지가 약 22.0%, 기타가 8.8%로 전체유역에 대한 불투수율은 60.1%에 해당하며, 이들 중 인근 도담동 일대의 일부유역을 검토하였다.

Table 1. Dodam-Dong Subwatershed specifications

Designation	Subcatchment area(ha)	Impervious ratio(%)	Watershed width(m)
J1	0.5	78	141
J2	4.1	78	404
J3	20.61	78	907
J4	1.4	78	236
J5	15.5	78	787
J6	3	78	346
J7	5.57	78	472
J8	3.99	78	399
J9	3.19	78	357
J10	1.26	78	224
J11	1.18	78	217
J12	5.87	78	484
J13	0.5	78	141
J14	0.5	78	141
J15	6.83	78	522
J16	0.3	78	109
J17	0.2	78	89
J18	0.14	78	74

테스트베드 대상유역은 74.64ha로 방축천 유역의 약 10%에 해당한다. SWMM에 분석하기 위해 Table 1과 같이 18개 소유역 면적으로 세분 구성하였으며, 각각의 소유역이 갖는 불투수율과 유역 폭을 산정하였다.

2.2 테스트베드 유역 관거 현황

테스트베드 유역에 대한 소유역 분할 및 관거의 개략적 배치는 아래의 Fig. 2와 같으며, 총 18개의 소유역으로 구분되었다.

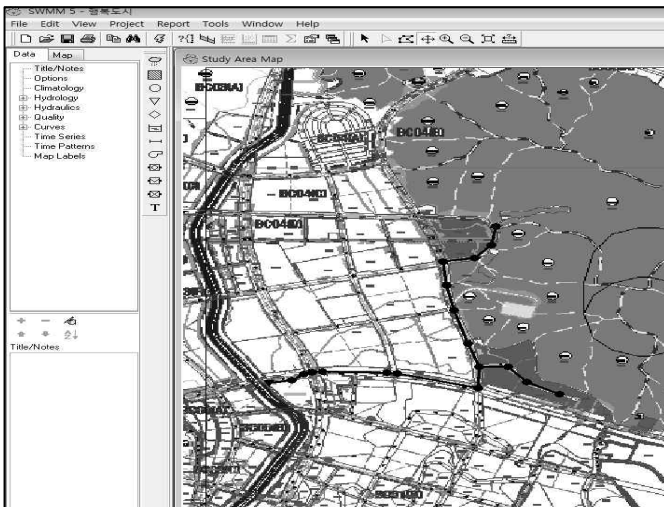


Fig. 1. Dodam-Dong SWMM construction screen



Fig. 2. Subject area subwatershed status

전체 유역면적의 중 양 끝단으로 갈라진 양지 초·중고등학교와 세종 18단지 포레스트아파트에서 다량의 토사가 유입되는 것으로 보고되었으며, 이를 제외한 나머지는 대부분 도심지 주거단지에서 발생하는 유출량을 부담하도록 구성되어있다.

관망의 관로 경사 변경에 따른 관거 내 토사 적체 양상의 변화를 분석하였다. 그러나 실제 도시유역에서의 관로 설계는 이와는 다른 다양한 형태로 구성되어 있으며, 실제 관로의 변경 가능한 범위 내에서 관거 내 토사의 적체 양상을 저감시킬 수 있는가에 대한 분석이 필요하다.

본 연구에서는 적용 가능한 실제 도시유역 우수관로에 대하여 기존에 매설되어 있는 관로에 대한 구간 경사 변경을 통하여 전체 관망에서의 퇴적 양상을 저감시킬 수 있는가에 대하여 시행착오적으로 적용하는 분석을 수행하였다.

Table 2. Dodam-Dong Nodus

Nodal Name	Elevation(m)
J1	29.53
J2	29.9
J3	30.92
J4	32.8
J5	44.71
J6	52.41
J7	66.64
J8	67.21
J9	77.75
J10	83.84
J11	89.77
J12	80.13
J13	88.63
J14	95.35
J15	100.92
J16	102.61
J17	104.52
J18	106.86

Table 3. Pipe specification

Pipe name	Pipe length(m)	Pipe shape	Specifications(m)
C1	31.79	RECT_CLOSED	2.5×2.0
C2	17.79	RECT_CLOSED	2.5×2.0
C3	16.28	RECT_CLOSED	2.5×2.0
C4	37.09	RECT_CLOSED	3.0×2.0
C5	232.73	RECT_CLOSED	3.0×2.0
C6	10.00	RECT_CLOSED	2.0×2.0
C7	280.1	RECT_CLOSED	2.0×2.0
C8	106.17	RECT_CLOSED	2.0×2.0
C9	70.96	CIRCULAR	1.2
C10	100.00	CIRCULAR	1.1
C11	100.00	CIRCULAR	1.1
C12	142.67	RECT_CLOSED	1.5×1.8
C13	167.95	RECT_CLOSED	1.5×1.8
C14	132.81	RECT_CLOSED	1.5×1.8
C15	110.14	CIRCULAR	1.1
C16	60.93	CIRCULAR	0.9
C17	61.02	CIRCULAR	0.9
C18	73.08	CIRCULAR	0.9

Table 2와 Table 3은 그림으로 제시한 도담동 일대에 매설된 하구관거의 현황을 의미한다. 최상류단인 J18을 시작으로 방축천으로 방류되는 J1으로 이어지며, 관거의 기울기는 각각의 맨홀 절점들이 위치한 elevation(m)과 관거의 연장을 통해 결정된다. 관로의 규격은 1.5~3.0×1.8~2.0×1연(B×H×연)으로 구성되어 있으며, 관거 총 연장은 1,751.51m이다.

Fig. 3은 최상류단인 J18을 시작으로 방축천으로 방류되는 J1으로 이어지는 관거의 설계 단면도이다.

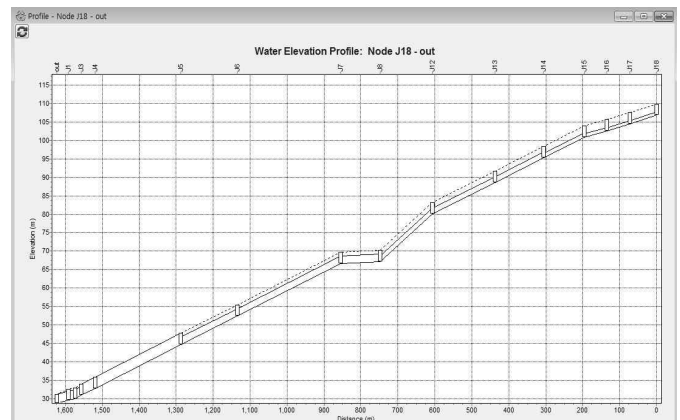


Fig. 3. Pipe laying section

2.3 테스트베드 유역 검토

기존 관거 내 퇴사량 산정을 위해서는 입도자료가 필요하다. 본 연구에서는 ‘행정중심복합도시 환경영향평가서(2007)’ 및 ‘행정중심 복합도시 건설사업 사전재해영향성검토서(2011)’에서 시료 채취를 통하여 조사된 입도분포를 이용하였다. 해당 보고서에서 제시된 조사결과에서는 Table 4에서 정리한 바와 같이 20mm이하의 입도가 70%, 30mm이상 50mm를 초과하는 것이 약 30%인 것으로 나타났다.

Table 4. Corresponding watershed size distribution

Particle diameter(mm)	Particle composition ratio(%)
40~50	10
30~40	10
20~30	10
∅<20	70

실제 관로 내의 유입 토사에 대한 배제 효과를 높이는 것은 매우 중요하다. 이를 위하여 관로 구간별 경사의 조정이 이루어져야 한다. 그러나 일부 관거에서는 토사의 퇴적 깊이가 증가함으로써 해당 관거의 통수능은 오히려 감소한 결과로 이어질 수 있다. 전반적으로 토사 퇴적량이 감소하였다 하더라도 일부 관거의 통수능이 심각할 수준으로 저감된다면, 관망 전체의 통수능이 저해되는 결과로 나타날 수 있다. 따라서 전체 관로에 대한 구간별 경사의 조정에 있어서는 전체 퇴적량의 저감도 중요하지만 각 관거별 토사의 퇴적 깊이가 관거의 통수능을 위협할 정도까지 상승하지 않도록 하는 것이 중요하다. 이와 같은 사항을 고려한 전체 관로의 신뢰도 측면에서 토사의 막힘 방지를 위한 관로 설계가 필요한 것으로 판단된다.

3. 토사 방어기술 테스트베드 구축

3.1 신도시(세종시) 테스트베드 구축

3.1.1 대상지역 현황 및 문제점

세종특별자치시(이하 세종시) 1생활권 내 블록형단독부지는 Fig. 4와 같이 부지와 인접한 계곡부에서 지속적으로 토사유출 현상이 발생하여 사면 붕괴 등 안전사고사 우려되는 지역이다.



Fig. 4. Target site sediment discharge

주변에 원수산이 위치하고 있고, 지형상 유역의 우수 및 강우로 인한 유실된 토사가 계곡을 따라 1-4생활권 내로 유입되고 있다. 이에 토사유출 지점 및 계곡부의 유로상태 등 현황을 파악하여 테스트베드 구축 계획을 수립하였다.

3.1.2 방어기술 적용

대상지역은 현장여건에 맞는 사방댐을 설치할 수 있다. 비탈면내의 물 또는 상부 자연비탈면 및 주변 지역에서 비탈면으로 유입되는 물을 처리할 수 있는 배수로(배수로 거름시설 포함) 설치가 필요하다. 추가적으로 비탈면의 경사도를 조절하면서 비탈면의 침식과 활동(Sliding), 붕괴 등을 방지하기 위한 녹화를 조성한다면 사면 안전과 외적미관을 동시에 만족시키는 효과가 있을 것으로 판단되었다.

이와 같은 판단에 따라 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 토사재해 방어기술 중에서 자립식 친환경 토석류 방지 네트 시스템, 슬릿트형 사방댐, 지오셀을 이용한 교란지반 토사유출 저감공법, 토사저감형 집수정, 배수로 막힘 방지를 위한 유송잡물의 거름시스템, 자가진단형 실시간 원격 모니터링 시스템 등을 적용하여 테스트베드를 구축하였다.

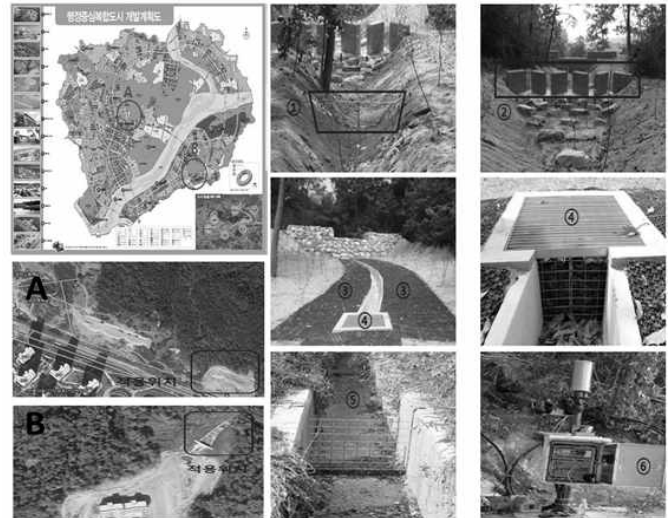


Fig. 5. Sejong City 1 Living ward testbed construction status

3.1.3 방어기술 특징 및 효과

자립식 친환경 토석류 방지 네트 시스템은 사방댐 및 대규모 구조물 시공이 필요 없는 경제적인 기술이다. 평상시 네트가 눕혀져 있는 형태로 동물의 이동경로와 자연 미관훼손 최소화할 수 있다. 시공과 설치가 간단하고 용이하기 때문에 계곡 상부에 설치하였다.

슬릿트형 사방댐은 하류부 피해를 일으키는 토석류는 속도 저감 및 포착으로 방어하고, 평상시의 하류부 피해를 일으키지 않는 토사는 통과시키는 방어시설이다. 상·하류 단절이 없어 동물과 사람의 이동이 가능하기 때문에 도심지가 인접한 산지에

적합하여 테스트베드에 적용하였다.

지오셀을 이용한 교란지반 토사유출 저감공법은 단위 셀안에 토사를 채워 다짐함으로써 지반의 지지력 및 전단강도 극대화시킨다. 산지 계곡부 교란된 지반으로부터의 강우시 토사의 유실, 세립분의 유출방지를 위해 원지반의 강도 증대 및 상류 산지에서 유출되는 강우유출수의 적절한 관리가 동시에 가능한 공법이다. 배수로 양측사면의 토사유출 방지를 위해 지오셀과 격자형 횡배수로 설비 및 배수관을 결합하여 사업대상지의 교란된 지반의 구조적 안정성 향상을 통한 토사로 인한 피해저감 및 상부에 식재를 통한 환경적, 심미적 기능이 우수하여 대상지에 적합한 공법이라 할 수 있다.

토사저감형 집수정은 토석류가 도심지로 유입되는 것을 최소화하기 위하여 토사저감 kit에 의한 중립이상의 토사의 하수관거 유입 방지하는 시설이다.

배수로 막힘 방지를 위한 유송잡물의 거름시스템은 산지로부터 유입하는 유송잡물 및 토사의 퇴적에 따른 배수로 통수단면적의 감소로 인해 유발되는 토사재해 피해발생을 거름시스템 설치를 통해 배수로 퇴적방지와 통수능을 확보하여 토사재해 발생 가능성을 감소시킬 수 있다. 테스트베드 내 배수로 폭은 300mm, 500mm이며 각각 6×6거름망(유효단면적 1604.17mm²), 8×8거름망(유효단면적 2615.63mm²)을 유송잡물 및 토사의 유입으로 인한 토사재해 발생 예상지점에 설치하였다.

자가진단형 실시간 원격 모니터링 시스템은 강우, 지반 특성(간극수압, 토양함수량, 지반 변위/진동 등), 토석류 발생 이미지 자료의 원격 계측을 위한 다기능 모니터링 시스템이다. 모니터링 자료는 토석류 발생 예측 및 분석을 위한 기반 기초연구 및 운영자료로 활용이 가능하다.

3.2 구도시(부산시) 테스트베드 구축

3.2.1. 부산광역시 방재 및 안전계획

부산시광역시(이하 부산시)는 지형적으로 자연재해에 많은 취약점을 가지고 있으며, 산지와 인접하여 도심지가 위치하고 있는 경우가 많다. 산지 등의 고지대에 조밀하게 개발되어 있고, 경사가 가파르고 주변에 주택 등이 건축되어 강우 시 토석류가 밀려와 물·인적 피해가 발생할 가능성이 높다. 그러나 부산은 개항과 한국전쟁이후 급격한 인구유입으로 인하여 도시공간 구조를 고려하지 않은 채 도시화가 이루어졌으며, 이로 인하여 녹지의 질적, 양적 부족으로 시민 생활 환경의 질 저하와 인공적 시설물에 대한 과다한 투자로 재난에 대한 도시 방재 대책이 미비한 상황이다.

부산시는 부산도시 기본계획 방재 및 안전계획과 관련하여 Table 5와 같이 방향을 설정하여 추진하고 있다. 부산시의 방재 및 안전계획은 전반적으로 부산시의 지형적 특성과 관련하여 종합적인 도시방재체계 및 광역적이고통합적인 도시방재 구축을 기본방향으로 하고 있다.

Table 5. Basic direction of disaster prevention and safety plan

Basic direction	Contents
▶ Establishment of disaster management system for each disaster type	- Quick and systematic disaster prevention measures through disaster management by type - Establishment of stage disaster management through self-governing disaster prevention plan by region
▶ Establishment of integrated management system by constructing U-city disaster prevention system	- U-city disaster prevention system integrated platform construction - Establishment of appropriate urban disaster prevention system of marine city characteristics
▶ Establishment of comprehensive and integrated administrative system	- Comprehensive urban disaster management system - Establishment of wide-area disaster prevention activity system, improvement of facilities and specialization of disaster prevention personnel
▶ Establish emergency rescue system related to urban disaster prevention and strengthen disaster countermeasures	- Strengthening the Prevention System for Urban Disaster - Construction of safety and security traffic system
▶ Improving the effectiveness of disaster prevention planning through urban planning	- Realization of disaster prevention plan through spatial structure and land use plan - Strengthen disaster prevention capability and restoration ability of facilities - Establishment of infrastructure for citizens' autonomous city safety through expansion of private participation

3.2.2 대상지역 현황 및 문제점

구도시의 테스트베드는 부산시 북구 만덕동 법정사 인근으로 하부지역에는 거주지역(아파트, 상가 등)이 위치하고 있다. 이 지역은 Fig. 6에 보인바와 같이 과거 강우로 인하여 토사가 유출된 이력이 있으며, 강우 시 거주지역으로 토사의 유입 가능성이 있다.

이 지역은 과거 민원발생으로 임시침사지, 모래포대, 목책 등의 토사방어 시설이 설치되어 있다. 그러나 토석류의 방어효과가 미흡하다고 판단되는 상황이다.



Fig. 6. Water channel formation and defensive fence damage status

3.2.3 방어기술 적용 가능성 검토

현장 여건을 고려할 경우 토사재해 방어기술 중 에코넷과 거름막 시스템의 적용이 가능하다. 그러나 비교적 규모가 큰 슬릿 트형 사방댐은 설치를 위한 장비 진입이 쉽지 않으므로 적용이 어려운 지역이다. 또한 Fig. 7의 낙석 방지시설(낙석방지망, 낙석방지 울타리)의 적용이 추가적으로 이루어지면 토사재해 방어에 효과적일 것으로 판단된다.

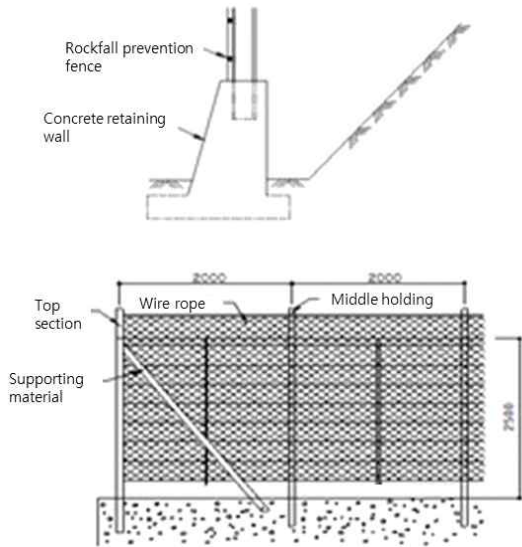


Fig. 7. Outline of rockfall prevention facility

토사재해 발생 시 토석류에 의해 하류부의 거주지역 및 상가 등에 2차적으로 침수 등과 같은 피해가 발생할 수 있다. 따라서 이를 대비하기 위해 도심지와 가까운 지역에 Fig. 8의 토사 차단벽 설치를 계획하였다.

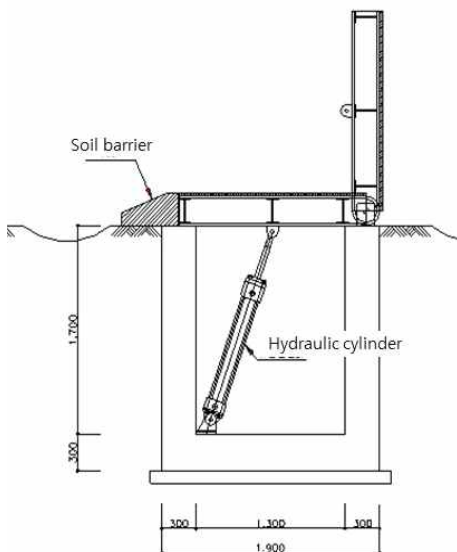


Fig. 8. Outline of soil barrier wall

3.2.4 유역현황 분석

테스트베드 지역의 강우 시 상황을 파악하기 위하여 강우 이후 현장 조사를 추가로 실시하였다. 조사 결과 전반적으로 유송 잡물과 토사 유실 현상을 확인할 수 있었다. 유역현황은 Fig. 9와 같으며, 유역 내 강우의 흐름을 화살표로 표시하였다. 강우 시 산 정상부분에서부터 발생한 지표 흐름은 경사에 의해 양쪽으로 흐름을 형성하여, 하부지역으로 흐르는 것으로 예상하였고, 현장 유역의 경사 및 등고선을 확인한 결과 화살표와 같이 강우의 흐름이 발생할 것으로 판단된다.

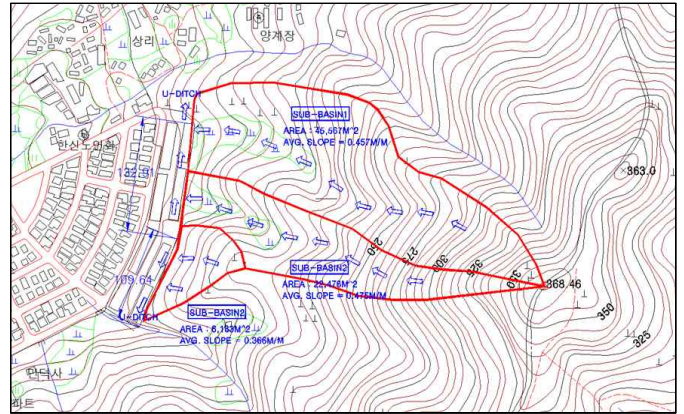


Fig. 9. Testbed watershed status of busan metropolitan city

유역 내 하부에 아파트 및 단독주택 등이 위치하고 있고, 요소 기술의 적용이 가능한 위치는 Fig. 10과 같다. 해당 유역의 면적은 6,183m²이며, 유역경사는 0.475mm이다.

산지에서 토석류 발생 시 하부 도심지 지역을 방어하기 위한 펜스 및 낙석방지망의 적용을 예상했을 경우, 길이는 각각 133m, 110m이며, 총 243m이다.

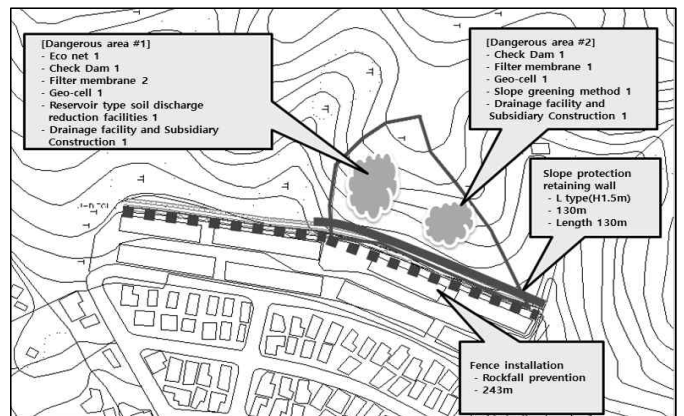


Fig. 10. Defense technology layout concept

Fig. 10과 같이 요소기술 적용 지역을 #1, #2로 나뉘었을 때, #1지역에는 에코넷 1식, 거름막 2개소, 지오셀 1식, 저류형 토사 유출 저감시설 1개소, 배수시설 및 부대공 1식으로 계획하였다.

#2지역에는 거름막 1개소, 지오셀 1식, 사면녹화 공법 1식, 배수 시설 및 부대공 1식과 하부에는 사면보호 옹벽이 설치되도록 계획하였다. 아파트 및 단독주택 부지 안쪽으로 토석류를 방어하기 위하여 토사방지 펜스를 설치하도록 계획하였다.

4. 테스트베드 모니터링

4.1 모니터링 유형 정립

토사 방어기술의 검증은 모델링과 같은 프로그램을 사용하는 시스템적인 부분을 제외하면, Fig. 11에 표시한 바와 같이 크게 2가지로 나누어 볼 수 있다. 방어기술에 대한 실내 실험을 실시하여 효과를 검증할 수 있는 방법과 실외 실험을 통하여 기술을 평가하는 방법이다.

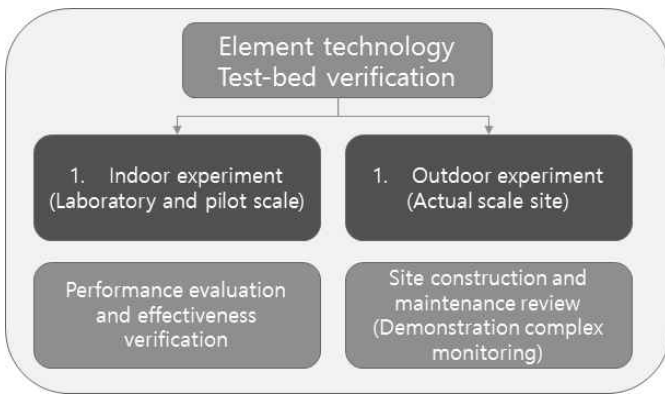


Fig. 11. Defense technology verification method

실내 실험은 실험실 규모 또는 파일럿 규모를 대상으로 하는 일종의 성능평가를 말한다. 실외 실험은 Scale-up의 실제 규모로 현장에 적용하여 시공성과 유지관리에 대한 검토가 이루어진다. 실내·외 실험 규모에 따라 테스트베드 유형을 정리할 수 있다. 본 연구에서 실시하고 있는 모니터링은 실외 실험의 일종으로, 요소기술에 대한 현장 시공성 및 유지관리 등에 대한 현장 적용성을 평가하기 위한 것이다.

4.2 모니터링 기본계획

모니터링은 도시형태 별로 신도시와 구도시(기존도시)로 나누어 수행할 계획이다. 신도시의 모니터링 대상지는 세종시 1생 활권에 구축되어 있다. 구도시 대상예정 지역은 부산 만덕동 일원이다. 테스트베드에서 방어기술의 효과를 검증하기 위하여 상류부에서 임의로 토사를 흘러보내는 등의 테스트를 실시하는 것은 현실적으로 무리가 있다고 판단하였다. 이에 따라 모니터링은 기본적으로 현장점검 위주의 현황파악을 실시할 계획이다. 또한 계측 장비를 설치하여 데이터 확보 및 분석을 수행하고자 한다.

4.3 현장조사를 통한 모니터링

본 연구에서는 세종시 테스트베드의 모니터링을 위하여 현장 조사를 주기별로 실시하였고, 현장조사 항목에 대해서는 한국시 설안전공단에서 제공하는 일상점검표를 참고하여 요소기술에 대한 점검을 진행하였다. 현장조사 시 사용한 점검표는 아래 Table 6과 같다.

Table 6. Sejong city demonstration complex field survey checklist

Management agency	Checks date	Check results	
Check area	Investigator / Affiliation	O	X
Checking list			
1	Did you receive a local resident's report on the possibility of a landslide disaster?		
2	Are signs of slope failure in vulnerable areas?		
3	Is the condition of the drainage system poor?		
4	Are sediments piled up in the drainage channel?		
5	Are there any sediments on the back of the check dam?		
6	Has the soil in the geocell unit been lost?		
7	Are there any unusual differences compared to previous checks?		
8	Has there been a certain amount of rainfall and snowfall since the previous checks?		
feedback			
Scene photo			

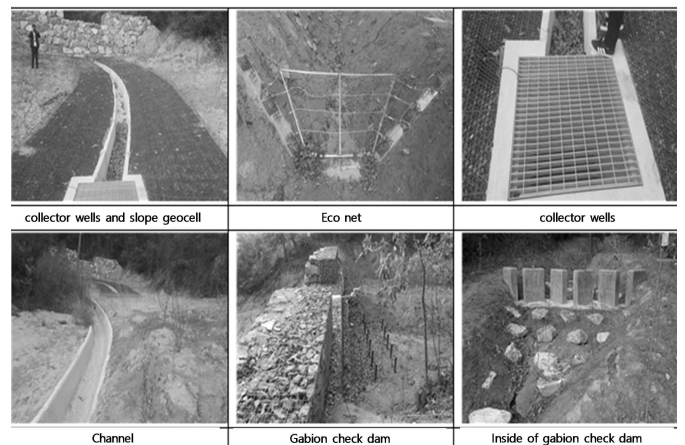


Fig. 12. Monitoring status of sejong city(2015: completion time)

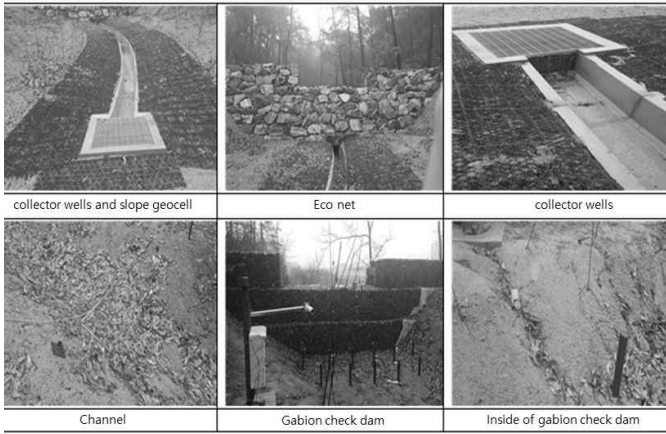


Fig. 13. Monitoring status of sejong city(2016)

Fig. 12와 13에서 보듯이 각 요소기술 시설에 큰 문제는 발생하지 않았으나 에코넷의 경우 기반부 토사유실이 확인되므로 지저력 확보를 위하여 지반 다짐과 같은 지반 개량이 선행되어야 한다. 거름막은 유송잡물을 거르는게 목적이지만, 계속 걸려 있게 되면 거름막 효능이 저하되므로 모래 및 유송잡물 제거와 같은 유지관리가 필요하다.

2016년 7월 신도시 실증단지(1생활권)에 집중호우로 인한 토사재해 발생했는데, 슬릿형 사방댐에 의해 비교적 큰 크기의 거석이 포착된 것을 확인하였고, 하류부에는 입도가 작은 모래만 퇴적되었다. 슬릿형 사방댐이 토석류 규모를 감소시켜 도심지까지 도달되는 시간을 지체시키게 되는데, 예경보시스템을 통한 주민들의 대피시간 확보가 가능할 것으로 판단된다.

4.3 모니터링 고도화 방안

보다 정밀한 모니터링을 위해서는 현장조사를 실시하는 현장 모니터링 방법 이외에 요소기술의 위치정보 모니터링과 구조물의 거동 탐지를 실시간으로 측정하는 기술 등 도입이 필요하다. 그림 14와 같은 개념의 재해발생에 따른 대피발령 등의 의사결정 지원 등의 모니터링 고도화 기술을 실증단지에 적용할 수 있다. 이 방법은 우선 후처리리를 통해 GPS 위치정보를 정밀하게 보정한다. 이를 통해 재해위험지역 및 구조물의 변위량을 산정하여 재해발생 전조증상 감지 및 의사결정 지원이 가능하다.

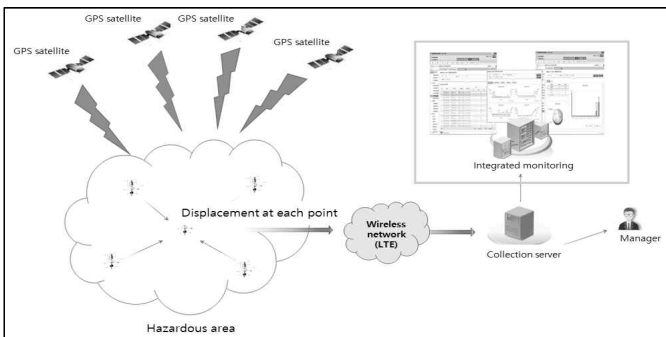


Fig. 14. Advanced monitoring technology concept

고도화된 모니터링 방법은 재해위험지역 중 사면재해, 토사재해 위험지구를 포함한 급경사지 붕괴위험지역에 설치하여 지반의 변위 및 침하량 실시간 모니터링 및 재해발생 전조증상 감지할 수 있다. 그리고 사면재해, 토사재해, 급경사지 붕괴 등에 관한 재해발생 전조증상 감지를 통한 재해피해 최소화를 골든타임 확보 및 2차 피해를 예방할 수 있을 것이다. 위험지역에 대한 지속적인 모니터링을 통해 재해발생에 대한 선제적 대응 및 과학적 의사결정 지원과 이에 따른 방재정책 효율성의 극대화에 기여가 가능하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 최근 발생빈도가 증가하고 있는 토사재해의 저감을 위한 방어기술의 테스트베드 구축과 모니터링에 대하여 연구하였다. 유역의 우수관거는 호우 시 발생된 유출을 충분히 배제하여 도심지에서의 침수 발생을 방지하는 것에 근본적 목적이 있다. 이를 위한 관거의 통수능 확보는 설계 및 시공단계에서 뿐만 아니라 지속적인 유지관리 상에서 가장 중요한 요소이다. 그러나 관거에 대한 적절한 설계, 시공 및 유지관리가 이루어지지 않아 호우기간 및 호우종료 후 관거 내 토사의 퇴적이 통수능을 위협할 정도로 심화될 수 있다. 전체 관로의 신뢰도 측면에서 토사의 막힘 방지를 위한 관로 설계가 필요한 것으로 판단된다.

토사재해 방어를 위해 적용된 요소기술의 포괄적인 효과로는 토석류의 흐름을 방해하여 도심지까지 도달하는 시간을 지연시켜 사람들의 대피 및 구조 등 골든타임 확보가 있다. 추가적으로 방어기술의 신뢰도와 보다 정확한 근거 마련을 위하여 방어기술이 없을 때와 비교하여 확보 가능한 대피시간을 규명하는 연구가 필요하다. 방어기술의 신뢰성 확보와 성공적인 실용화를 위해서는 지속적인, 체계적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 첨단도시개발사업 ‘도시특성을 고려한 도심지 토사재해 예측·평가 및 통합관리기술 개발’ 연구의 일부를 발췌하여 수정·보완한 것입니다.

참고문헌

1. 농림부(2003), 산지개발에 따른 산사태 발생 특성 및 산지토사재해 예지 시스템 개발.
2. 소방방재청(2005), 사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구(Ⅱ).
3. 한국토지주택공사(2007), 행정중심복합도시 환경영향평가서.
4. 한국토지주택공사(2011), 행정중심복합도시 건설사업 사전재해영향성검토서.
5. 산림청(2014), 2014년도 전국 산사태방지 종합대책.

6. 부산광역시(2015), 2030년 부산도시기본계획.
7. 부산광역시청 홈페이지 <http://www.busan.go.kr/>
8. 산림청(2015), 사방시설의 유지관리 매뉴얼.
9. 산림청(2015), 사방댐의 자연친화적 리모델링 기술 개발.
10. 한국시설안전공단 홈페이지,
<http://www.kistec.or.kr/kistec/index.asp>