단지차원 홍수 및 산사태 다중방어체계 복구기법 개발: 춘천시 주거/산업단지를 대상으로

Development of Multilayer Defense System Recovery Techniques for Flood and Landslide: For Residential and Industrial Complex in Chuncheon City

이찬희* · 어규** · 이성현*** · 오국열**** · 심우배*****

Lee, Chan Hee*, Eo, Gyu**, Lee, Sung Hyun***, Oh, Kuk Ryul****, and Sim, Ou Bae*****

Abstract

Natural disasters like typhoons and floods are causing increasing damage in Korea, such as the inundation of industrial complexes and the Mt. Umyeon landslide. Great efforts are being made by the government towards recovery from natural disasters. However, private facilities follow a process of support-oriented recovery focused on housing, such as disaster support funds. Owing to these limitations, we have developed recovery techniques by introducing the concept of a multilayer defense system, after reviewing domestic and overseas cases in terms of disaster impact and cause of damage. The multilayer defense system recovery techniques were applied to Chuncheon city after establishment of the application standard of the multilayer defense system recovery techniques and development of recovery techniques according to the facilities. This study describes recovery techniques for residential/industrial complexes in case of disasters. It is expected that the results of this study will help to improve the current district comprehensive recovery plan.

Key words : Multilayer Defense System, Recovery Techniques, Residential and Industrial Complex, Flood, Landslide

요 지

우리나라에서는 태풍, 집중호우 등 자연재해로 인한 산업단지 침수, 우면산 산사태 등 피해가 증가하는 추세이다. 이에 정부에서는 자연재해 복구에 대해 많은 노력을 기울이고 있으나, 사유시설의 경우 주택을 중심으로 재난지원금 등 지원위주의 복구를 진행하는 실정이다. 이러한 한계로 인해 국내·외 사례분석, 국내 발생가능한 재해영향 및 피해원인 분석을 통해 다중방어체계 개념을 도입한 복구기법을 개발하였다. 이를 위해 다중방어체계 복구기법 적용기준을 정립하고, 다중방어체계 시설별 복구기법을 개발하여 춘천시에 시범적용하였다. 본 연구를 통해서 재해발생시 주거/산업단지 복구에 활용이 가능하며, 현행 지구단위종합 복구계획에 일부 적용 및 개선에 활용이 가능할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 다중방어체계, 복구기법, 단지차원, 주거 및 산업단지, 홍수, 산사태

*정회원, (주)어스 부장(E-mail: best861ch@naver.com)

Member, General Manager, Urban Safety

**정회원, (주)어스 과장(E-mail: good3437@naver.com)

Member, Manager, Urban Safety

***정회원, (주)어스 부장(E-mail: lshsosa@naver.com)

Member, General Manager, Urban Safety

****정회원, (주)어스 이사(E-mail: kroh5910@hanmail.com)

Member, Director, Urban Safety

*****교신저자, 정회원, (주)어스 대표이사(Tel: +82-31-689-3171, Fax: +82-31-689-3170, E-mail: obsim@naver.com)

Corresponding Author, Member, CEO, Urban Safety

1. 서 론

우리나라는 국지성 집중호우로 인한 홍수, 산사태 등 각종 자연재해가 확대되고 있는 추세이다. 과거 피해력을 살펴 보면, 2011년 집중호우로 인해 서울 우면산 산사태가 발생하여 Fig. 1과 같이 방배동 래미안, 임광아파트 등에 토사물이 유입되어 재산피해 및 15여명의 인명피해가 발생하였으며(Korean Geotechnical Society, 2011), 2012년 8월 군산 지역의 폭우 및 산사태로 소룡동 상떼빌 아파트 등에서 총 26억 4,900만원의 재산피해를 입었다(Gunsan-si, 2012). 이에 정부에서는 토사물제거, 담장재건, 피해 아파트 일부 주민에게 재난지원금 지원 등 아파트 단지 복구를 위해 노력하였다.

Fig. 1. View of Mt. Umyeon Landslide (Korean Geotechnical Society, 2011)

또한, 2003년 태풍 매미로 인해 부산 녹산국가산업단지는 해안가에 위치한 160여개 업체의 공장건물 파손, 기계 및 원자재 침수로 인해 최소 일주일에서 보름 이상 가동을 중지하였다(Kookje Shinmun, 2012). 이에 부산시에서는 강서구와 사하구 등에 국내 최대 크기(65ha (약 20만 평))의 인공 해안방재림을 조성하여 재피해를 방지하기 위한 노력을 기울였다.

하지만 사유시설의 경우, 「자연재난조사 및 복구계획수립요령」에 따라 복구가 진행되는데, 주택, 어업, 농업, 임업시설에 대해 일부 재난지원금을 지원할 뿐 산업시설 및 상업시설은 풍수해보험에서 나오는 개인 보험금에 의존하여 복구를 진행해야 되는 실정이다.

앞서 설명한 바와 같이 우리나라는 재해발생시 사유시설의 현행 복구계획은 주택을 중심으로 재난지원금 등 지원위주이다. 소규모 재해의 경우에는 개별적인 복구가 가능하지만, 대규모 재해시 복구기법은 정립되어 있지 못한 실정이며 피해저감 및 방지를 위한 종합적인 복구기법 개발이 필요하다.

일본의 경우, 대규모 재해시 주거 및 산업단지에 일부 적용 가능한 복구기법을 제시하고 있는데 먼저, 일본 대지진으로부터의 부흥 기본방침(Reconstruction Headquarters in response to the Great East Japan Earthquake, 2011)의 경우, 지역 실정에 맞게 다양한 용도의 입지가 가능하도록 토지 매입 등이 가능한 「방재 집단 이전 촉진사업」을 추진하여 피해지역 내 저지대

주거단지 및 산업단지를 고지대로 이전하는 등 토지이용 전략을 주로 활용하였고, 피난을 전제로 한 지역 만들기를 기본으로 각 지역의 특성을 감안하여 “심층방어(다중방어)” 개념을 도입하여 복구기법을 제시하였다. 동일본 대지진에 대한 대응(Ministry of Land, Infrastructure and Transport Tourism, City Center City Maintenance Department, 2015)의 경우, 피해지역 내화·내파·내진 건축물로 주거단지를 조성하며, 피난언덕을 조성하여 오프스페이스를 확보하는 복구기법을 활용하였다. 또한 미야기현의 부흥을 향한 대책에 관하여(Miyagi Prefecture, 2017) 사례의 경우, 「토지구획정리사업」을 통해 택지이용의 증진을 도모하기 위해 환지방식으로 이전하여 토지의 구획·형질을 변경하는 사업을 실시하였다.

일본의 경우 토지이용 측면의 예방적 복구기법을 주로 제시하였으며, 지역의 특성을 감안하여 심층방어(다중방어) 체계를 구축하는 기법을 제시하였다. 본 연구에서는 이중, 삼중 방어가 가능한 다중방어체계 개념을 도입하여 단지차원에서 실질적으로 적용가능한 구조·설계·배치 복구기법을 개발하는데 목적이 있다.

2. 단지차원 홍수 및 산사태 다중방어체계 복구기법 개발

본 연구에서의 다중방어체계란 재해취약요소(하천, 산지) 주변에 이중, 삼중의 방어체계를 구축하는 방어체계 복구기법을 말한다. 또한, 단지차원의 단지는 도시(시, 군, 구), 지역(읍면동) 단위의 하위 단계로 주거단지, 산업단지 등의 규모를 말한다. 단지차원 홍수 및 산사태 다중방어체계 복구기법 개발과정은 해외 홍수, 산사태 저감 및 재해발생 후 복구기법을 조사·분석하여 국내 재해영향 및 원인 분석을 통해 단지 규모에 적용 가능한 구조적기법과 비구조적기법으로 분류하였다. 또한 도시활성도와 재해피해 지역을 고려하여 복구기법의 적용기준을 정립하였으며, 정립된 복구기법을 다중방어체계 개념을 도입하여 적용하여 단지차원의 다중방어체계 복구기법을 개발하였다(Fig. 2).

Fig. 2. Development Process

2.1 복구기법 분류 및 다중방어체계 시설 설정

해외사례, 재해영향 및 피해원인 분석을 통해 다중방어체계 복구기법을 토지이용기법과 시설기법으로 분류하였으며 분류된 복구기법을 단지차원 규모에 적용 가능한 구조적기법과 비구조적기법으로 재분류하였다.

해외사례는 일본, 미국을 중심으로 재해 관련 복구사업, 계획을 조사·분석하였다. 일본은 앞서 설명한 바와 같이 재해위험지역의 재피해를 방지하기 위한 토지이용전략을 적극 활용하고 있으며, 특히 해안의 경우, 제방, 녹지, 도로, 토지이용 재편 등의 복구기법을 조합하여 심층방어(다중방어) 체계를 구축하였다(Miyagi Prefecture, 2017). 미국은 대규모 태풍으로 인해서 플로리다 주에 장기적인 복구측면의 사전복구계획 Post-Disaster Redevelopment Plan (Florida Department of Community Affairs, 2010)을 수립하였다. 사전복구계획은 주택을 신속하게 재건축할 수 있는 구조적기법과 주민들을 영구 주택으로 재이전하는 토지이용 측면의 기법을 제시하였다. 또한, 허리케인 카트리나 복구사례(USACE, 2011)의 경우, 재해지역 내 하수관로 개선, 주요시설 필로티 건축물로 재건, 다목적 저류지조성 등 구조적기법 중심으로 복구기법을 제시하였다.

국내에서 발생한 재해영향 및 원인분석을 위해 태풍 루사, 매미 등 과거 대규모 재해를 조사하였다. 태풍 루사의 경우, 상가 주택 침수, 주택담장 붕괴, 매립지 건설에 따른 해안면 해일피해 등이 주 원인이었고, 태풍 매미는 토사물유출로 농경지 및 주택 매몰, 우수관거 및 배수로의 통수단면 부족으로 인한 상가 침수가 주원인이었다.

앞서 설명한 바와 같이 해외사례와 재해영향 및 피해원인 분석을 통해 다중방어체계 시설을 설정하였다. 구조적기법 시설에는 재해취약요소(하천, 산지) 주변에 방어가 가능한 외곽담장, 오픈스페이스 확보가 가능한 녹지/방재림, 광장·조경시설, 주차장, 마지막으로 사람들이 거주하는 건축물 시설로 설정하였고, 비구조적기법은 위험지역에 있는 시설물 이전으로 설정하였다.

2.2 단지차원 복구기법 적용기준 정립

단지차원 복구기법 적용기준은 지역활성도와 재해피해를 고려하여 전략모형 지역구분(A, B, C, D)을 통해 복구기법 적용기준을 수립하였다.

지역활성도는 도시규모(도시중심지)와 용도지역, 사업구역 등을 포함한 구역을 설정하여 지역활성도를 분석하였고, 재해피해는 건축물 및 기반시설에 대한 재해피해 현황을 평가하고, 향후 재해피해에 대한 위험성을 고려하여 관련 법정 위험지구를 반영해 재해피해를 평가하였다.

재해피해의 경우, 피해규모 지표와 재해위험성 지표를 고려하여 구역을 설정하는데 피해규모 지표는 건물피해, 기반시설 피해로 구분하여 평가하였다. 건물피해의 경우, 유실, 반파, 전파 등 「자연재난조사 및 복구계획수립 요령」을

준용하였으며, 기반시설은 라이프라인 시설(상하수도, 전기, 도로 등)의 피해로 긴급조치가 필요한 시설이거나 기반시설의 기능유지가 어렵고, 복구에 많은 기간이 필요한 시설로 평가하였다.

재해위험성 지표는 현재 법정 위험지구(“풍수해저감종합계획” 상의 내수재해위험지구, 자연재해위험개선 지구 등)를 토대로 재해위험성을 평가하였다.

이에 지역활성도와 재해피해를 고려하여 전략모형 지역구분(A, B, C, D)을 제시하였다. Fig. 3과 같이 전략모형 지역구분에서 A지역은 지역활성도가 높고, 재해피해가 많은 지역, B지역은 지역활성도는 높으나 재해피해가 적은 지역, C지역은 지역활성도가 낮고, 재해피해도 적은 지역, D지역은 지역활성도는 낮으나 재해피해가 많은 지역을 의미한다.

Fig. 3. Strategic Region Model

2.3 단지차원 다중방어체계 복구기법 개발

단지차원의 다중방어체계 복구기법은 재해발생 이전보다 안전한 단지로 조성하기 위해 피해원인을 해소할 수 있는 종합적인 복구기법을 말한다. Fig. 4와 같이 주거단지의 경우, 외곽담장, 녹지/방재림, 광장·조경시설, 주차장, 주거동 순으로 재해취약요소(하천, 산지)로부터 이중, 삼중 방어하는 복구기법을 말하며, 산업단지의 경우, 외곽담장, 녹지/방재림, 광장·조경시설, 주차장, 관리동, 업무동, 주거동 순으로 다중방어하는 복구기법을 개발하였다.

Table 1과 같이 본 연구에서 개발된 단지차원 다중방어체계 복구기법은 구조적기법과 비구조적기법으로 구분된다. 구조적기법의 경우, 재해취약요소(하천, 산지) 주변 녹지/방재림 조성, 외곽담장 기능 강화, 방재기능을 갖는 광장·조경시설, 놀이터 등 설치, 방재기능을 갖는 주차장 설치, 필로티 구조의 건축, 해안/하천변 저지대 내진·내화·내파 건축, 건물동 방향전환이 있다. 비구조적기법으로는 재해지역 내 주거동 이전이 있다.

Fig. 4. Conceptual Diagram of Residential / Industrial Complexes Disaster Multilayer Defense

Table 1. Complexes Disaster Multi-layer Defense Recovery Techniques

Division		Recovery Techniques
Structural techniques	Green Space / Disaster Prevention Forest	Construction of green space / disaster prevention forest (river, coast, mountain) around disaster vulnerable elements
	Outside-Fence	Enhancement of outside-fences
	Plaza / Landscaping Facility	Construction of Plaza/landscaping facility / playground with disaster prevention function
	Parking lot	Construction of parking lot with disaster prevention function
	Building	Construction of piloty structure building
		Construction of earthquake-proof, refractory, intertwined building around coast, low-land
		Conversion of building direction (in the case of landslide)
Non-Structural techniques	Transfer of facility	Transfer of residential building in disaster area

재해취약요소(하천, 산지) 주변 녹지/방재림 조성은 현행 기준인 방재림조성지침(Korea Forest Service, 2011)을 준용 하되, 침엽수와 활엽수를 혼용하여 조성하고, 저류 및 침투기능을 확보하기 위해 주변 지대보다 30cm 낮게 조성하여 빗물이 침수될 수 있게 하는 복구기법을 말한다.

외관담장의 경우, 현행 설계기준을 준용하고, 내진설계 특 등급으로 하되, 재해취약요소(하천, 산지) 주변과 3m의 여유 공간을 두어 오픈스페이스를 확보하는 복구기법을 말한다.

방재기능을 갖는 광장·조경시설, 놀이터 등 설치는 조경 설계기준(MOLIT, 2013)을 준용하되, 놀이터의 경우 주거동 근처에 배치하고, 임시집결지 역할을 할 수 있게 단지내 도로변 근처에 배치하는 복구기법을 말한다.

주차장의 경우, 홍수시 저류지 역할을 할 수 있게 주변 지대보다 낮게 조성하여 빗물이 침수될 수 있게 설치하고, 옹벽식 주차장을 설치하여 산사태에 대응 가능한 복구기법을 말한다.

침수시설 중 주요 기반시설이나 주거시설이 있는 경우, 펌프터 건축물로 재건하여 안전성을 확보하되, 내진설계를 하여 일부 지진에도 견딜수 있는 복구기법을 말한다.

마지막으로 건물동 방향 전환은 재해취약요소(하천, 산지)방향으로 건물동을 옆으로 배치하여 개인 사유시설을 보호할 수 있도록 배치하는 복구기법을 말한다.

3. 주거/산업단지 다중방어체계 시범적용

본 절에서는 앞서 개발된 주거/산업단지 다중방어체계 복구기법을 산사태와 홍수재해로 구분하여 춘천시에 적용 하였다. 주거단지의 경우 산사태를 중심으로 적용하였고, 산업단지의 경우 홍수를 대상으로 적용하였다.

또한, 주거/산업단지 다중방어체계 상세절차를 마련하고, 절차에 따라 다중방어체계 복구기법을 적용하고자 한다. 다중방어체계 상세절차는 대상지역 선정, 기초자료 구축, 위험지역 분석, 전략모형 지역구분 설정, 주거/산업단지 다중방어체계 구축지역 선정, 대상지역 상세분석, 주거/단지 다중방어체계 적용 순이며, 순서대로 다중방어체계 복구기법을 적용하였다.

3.1 대상지역 선정 및 기초자료 구축

주거/산업단지 다중방어체계 적용 대상지역은 춘천시로 선정하였다. 춘천시는 대규모 집중호우로 인하여 하천제방 및 댐 홍수위 범람 등으로 인해 침수 및 토사유출, 사면붕괴, 산사태 등 피해위험이 높고, 도심 주변은 저지대로 형성되어 있어 대규모 재해시 피해가 클 것으로 예상된다. 춘천시 후평동 일대는 북한강과 소양강이 만나는 합류점 저지대로 홍수재해에 위험성이 높은 지역이다.

또한, 도심지 주변 봉의산(300.4m) 급경사지 아래에 아파

트 단지가 형성되어 있어 산사태 발생 시 큰 피해가 예상되는 주거단지를 산사태에 대한 다중방어체계 대상지역으로 선정하였다. 홍수의 경우, 대규모 집중호우에 따른 하천 및 댐 홍수와 범람시 피해가 가중될 것으로 예상되는 후평동 일대 산업단지를 중심으로 다중방어체계 대상지역으로 선정하였다.

기초자료 구축은 국토교통부 국가공간정보포털에서 제공하고 있는 행정구역경계, 건축물, 하천망, DEM (Digital Elevation Models) 등과 통계청 통계지리정보서비스(SGIS)에서 제공하는 인구, 도로망 등 지역 현황분석 및 위험지역을 분석하기 위해 관련 DB를 구축하였다. 국토교통부의 DB와 통계청의 DB의 좌표가 서로 다르기 때문에 하나의 좌표체계로 표준화가 필요하다. 본 연구에서는 대부분 국토교통부에서 제공한 DB를 사용하였기 때문에 작업의 효율성을 위해 GRS80/TM 좌표 기준으로 모든 자료를 표준화하였다.

3.2 위험지역 분석 및 확인

산사태 위험지역은 GIS를 활용하여 경사도 분석을 통해 경사 34도 이상인 급경사지 위험지역을 분석하였으며, 홍수 재해 위험지역의 경우 2DFM 모형을 활용하여 침수피해 모델링 결과인 홍수범람도를 통해 홍수 위험지역을 분석하였다. 2DFM 모형은 댐 등의 대규모 수공구조물 붕괴시, 이를 재현하거나 모의하기 위해서 각종 수치모형에 활용되고 있는 모형으로 광역의 공간적 재현 범위를 2차원으로 모의하는 모델이다(Disaster Prevention Safety Institute, 2007). 춘천시의 경우 대부분 산간지역으로 이루어져 있어, 급경사지가 많고, 특히 도심지 주변 봉의산 일대는 34도 이상인 급경사지 주변에 주거단지가 형성되어 있어 산사태 발생시 피해가 가중될 것으로 분석되었다.

또한, 침수피해 모델링 결과 소양강댐 좌안에 위치한 산업단지의 침수심이 6m로 가장 재해피해가 높은 지역으로 분석되었다.

앞서 분석한 위험지역과 전략모형 지역구분(A, B, C, D)을 활용하여 지역활성도가 높고, 재해피해가 많은 것으로 예상되는 A지역을 중심으로 위험지역을 확인하여 다중방어체계 구축지역을 선정하였다.

3.3 주거/산업단지 다중방어체계 적용

3.3.1 주거/산업단지 다중방어체계 구축지역 선정

3.3.1.1 주거단지 다중방어체계 구축지역 선정

경사도분석과 전략모형 지역구분을 고려하여 집중호우 시 산사태 발생 위험이 있는 봉의산 일대 급경사지(경사 34도 이상) 주변지역에 위치한 주거단지를 선정하였다 (Fig. 5).

Fig. 5. Application of Landslide Multilayer Defense (Residential Complex)

또한, 주거단지 다중방어체계 구축지역의 선정기준은 다음 3가지로 정의하였다. 첫째, 지역활성도가 높고 재해피해가 높은 지역(전략모형 지역구분: A 지역), 둘째, 경사 34도 이상의 급경사지 주변 지역, 마지막으로 보호할 대상(인구, 중요시설) 밀집도가 높은 지역으로 정의하여 구축지역을 선정하였다.

3.3.1.2 산업단지 다중방어체계 구축지역 선정

홍수재해 위험지역 분석결과 및 전략모형 지역구분을 고려하여, 홍수재해 위험지역 중 지역활성도가 높고, 재해피해가 많은 소양강댐 좌안 후평동 일대의 산업단지를 선정하였다(Fig. 6).

Fig. 6. Application of Flood Multilayer Defense (Industrial Complex)

또한, 산업단지 다중방어체계 구축지역의 선정기준은 다음 3가지로 정의하였다. 첫째, 지역활성도가 높고 재해피해가 높은 지역(전략모형 지역구분: A 지역), 둘째, 하천변 침수심이 높은지역(평균침수심: 6m), 마지막으로 하천 주변의 피해가 많은 산업단지(공장, 폐차장 등) 지역으로 정의하여 구축지역을 선정하였다.

3.3.2 주거/산업단지 대상지역 상세분석

대상지역 상세분석은 위성사진을 기반으로 대상지역 선정지역 내 지형특성과 현재 단지가 어떻게 구성되어 있는가를 분석하였다.

3.3.2.1 주거단지 대상지역 상세분석

산사태 대상지역으로 선정된 아파트 주변 주요부분을 3개의 지역(1-1, 1-2, 1-3)으로 구분하여 상세분석을 실시하였다.

였다(Table 2).

먼저, 1-1지역은 봉의산 급경사지가 위치해 있는 아파트단지 뒤편으로 현재 약 4~7m의 옹벽이 존재하나 아파트 주차장 및 아파트단지가 산사태 방향 정면으로 인접하게 위치하여 옹벽이 존재함에도 불구하고 산사태 발생시 피해가 클 것으로 분석되었다. 2-2지역은 아파트 단지 중앙으로 지상 및 지하주차장이 조성되어 있으나, 주차장이 밀집되어 있어 재해발생시 단지내 도로가 복잡하여 대피로 확보가 부족할 것으로 분석되었다. 3-3지역은 아파트단지 외곽으로 왕복 2차선의 도로가 위치해 있어 재해 발생시 대피로 확보가 가능할 것으로 분석되었다.

3.3.2.2 산업단지 대상지역 상세분석

홍수재해 대상지역으로 선정된 산업단지 주변 주요부분을 3개의 지역(2-1, 2-2, 2-3)으로 구분하여 상세분석을 실시하였다(Table 3).

Table 2. Status and Satellite View of 1 Region (Residential Complex)

Division	Status	Satellite View	
1-1	Apartment Complex back
1-2	Apartment Complex center
1-3	Apartment Complex outskirts

Table 3. Status and Satellite View of 2 Region (Industrial Complex)

Division	Status	Satellite View	
2-1	Hupyeong-brige Surrounding road
2-2	Open Space in Industrial Complex
2-3	Factory and Bare-land

2-1지역은 후평동 주변 침수상습지역으로 좌측에는 소양강댐의 변곡점에 위치해있어 산업단지 침수시 가장 피해를 클 것으로 분석되었다. 2-2지역은 산업단지내 녹지로 약 2,000m² 규모로 구성되어 있어, 재해 발생시 저류지 역할을 할 수 있는 녹지로 분석되며, 3-3지역의 좌측에는 공장단지가 있어 재해발생시 공장파괴, 자재 및 기계파손이 클 것으로 분석되었다.

3.3.3 주거/산업단지 다중방어체계 구축방향 설정

주거단지의 다중방어체계 구축방향은 급경사지 위치와 대상지역의 상세분석 결과를 고려하여 산사태 발생시 토사를 방어할 수 있도록 주거단지 다중방어체계 구축방향을 설정하였다(Fig. 7).

Fig. 7. Establishment Direction of Landslide Multilayer Defense

산업단지의 다중방어체계 구축방향은 위험지역 분석과 상세분석 결과를 고려하여 홍수를 방어할 수 있도록 산업단지 다중방어체계 구축방향을 설정하였다(Fig. 8).

Fig. 8. Establishment Direction of Flood Multilayer Defense

3.4 단지차원 다중방어체계 구축결과

3.4.1 주거단지 다중방어체계 구축결과

주거단지 다중방어체계 구축방향으로 설정된 지역과 개

발된 복구기법을 적용하여 춘천시 아파트 단지에 다중방어체계 복구기법을 적용하였다.

앞서 언급한 상세분석과 같이 춘천시 아파트 단지는 급경사지 주변에 놀이터, 관리사무소, 아파트단지가 구성되어 있어 산사태 발생시 피해가 클 것으로 분석되었다. 이에 본 연구에서는 춘천시 아파트 단지에 다중방어체계 복구기법을 다음과 같이 적용하였다.

Fig. 9와 같이 1-a의 선상으로 외곽담장, 녹지, 주차장, 단지내 도로, 놀이터, 아파트 순으로 주거단지 다중방어체계 복구기법을 적용한다.

외곽담장은 옹벽과 산사태 방지벽을 세워 산사태에 대해 1차적으로 방어 가능하게 설치하고, 급경사지 주변과 아파트 단지 사이에 여유 공간을 확보하여 설치한다. 녹지는 오픈스페이스를 공간을 확보하여 유사시 2차적으로 방어 가능하게 설치하며, 주차장은 급경사지 주변에 옹벽형 주차장을 설치하고, 주차장을 분산시켜 차량피해를 최소화 시킨다. 단지내 도로는 재해 발생시 신속하게 빠져 나갈 수 있도록 가급적 급경사지 주변에 도로를 조성하지 않도록 하고, 놀이터는 오목하게 조성하여 토사와 빗물이 모일 수 있도록 조성되되, 급경사지 주변과 되도록 멀리 설치한다. 마지막으로 봉의산을 바라보고 있는 아파트동은 옆면으로 방향을 전환하여 아파트 내 토사가 유입되지 않게 재배치할 필요가 있다.

3.4.2 산업단지 다중방어체계 구축결과

산업단지도 주거단지 다중방어체계 구축결과와 동일하게 구축방향으로 설정된 지역과 개발된 복구기법을 적용하여 산업단지 다중방어체계 복구기법을 적용하였다.

앞서 상세분석에서 분석한 바와 같이 산업단지는 소양강댐의 변곡점에 위치해 있어 피해가 극심할 것으로 분석되었으며 다음과 같이 산업단지 다중방어체계 복구기법을 적용하였다

Fig. 10과 같이 산업단지는 2-a, 2-b의 두가지 방향으로 복구기법을 적용하게 된다. 2-a는 외곽담장, 녹지, 주차장, 필로티형 업무동 순으로 적용하며, 2-b는 외곽담장, 녹지, 주차장, 광장 및 조경시설 순으로 적용하였다.

2-a의 외곽담장은 하천에서 유입되는 빗물을 방어할 수 있게 조성하며, 오픈스페이스를 확보하여 녹지로 조성하고 1차적으로 방어한다. 그 뒤에 주차장을 주변지역보다 낮게 조성하여 물이 침수 할 수 있도록 하거나, 친환경 주차장을 설치하여 호우시 자연배수가 가능하도록 설치한다. 마지막으로 홍수시 인명피해를 최소화 하기 위하여 주요 업무동은 필로티 건축물로 재건축하여 유사시 대피건물로 활용할 수 있도록 설치한다.

2-b의 외곽담장, 녹지, 주차장은 2-a와 동일하게 설치하고 광장 및 조경시설은 평소에 공원으로 활용하고 홍수시에 침투 및 저류지 기능을 할 수 있도록 오목한 형태로 설치하여 재해시 침투·저류가 되도록 설치할 필요가 있다.

Fig. 9. Result of Application to Landslide Multilayer Defense

Fig. 10. Result of Application to Flood Multilayer Defense

4. 결 론

본 연구는 집중호우로 인한 산사태 및 홍수에 대해 단지차원인 주거/산업단지 다중방어체계 복구기법을 개발하였다.

주거/산업단지 다중방어체계는 해외사례 분석, 국내 재해영향 및 원인분석을 통해 다중방어체계 시설을 설정하였으며, 지역활성도와 재해피해를 고려한 전략모형 지역구분(A, B, C, D)을 제시하여 다중방어체계 적용기준을 정립하였다. 정립된 적용기준에 복구기법 적용방안을 개발하여 춘천시에 적용하였다. 주거/산업단지 다중방어체계 복구기법 적용에 앞서, 주거/산업단지에 대한 상세분석을 통해 주변지역

현황 및 위험지역을 파악하였고, 개발된 복구기법을 적용하였다. 주거단지는 산사태 재해에 적용하였으며, 산업단지는 홍수 재해에 적용하였다. 주거단지의 경우, 외곽담장, 녹지, 주차장, 단지내 도로, 놀이터, 아파트 순으로 주거단지 다중방어체계 복구기법을 적용하였으며, 산업단지의 경우, 외곽담장, 녹지, 주차장, 광장 및 조정시설, 필로티형 업무동 순으로 적용하였다.

본 연구에서 개발된 주거/산업단지 다중방어체계 복구기법은 재해취약요소(하천, 산지)를 이중, 삼중으로 방어하는 복구기법으로 재해 발생 후 복구시 활용이 가능하며, 현행 지구단위종합복구계획 및 각종 복구계획에 활용이 될 것으

로 기대된다. 또한 동일한 규모의 재해가 발생하더라도 재피해 방지와 재해 이전보다 높은 안전성 확보가 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MOIS-재난-2014-02].

References

- Disaster Prevention Safety Institute. (2007). Retrieved from <https://www.anti-disaster.net>
- Florida Department of Community Affairs. (2010). *Post-disaster redevelopment planning: A guide for Florida communities*.
- Gunsan-si. (2012). *Gunsan submerged earth improvement restoration plan*.
- Kookje Shinmun. (2012). *The largest coast disaster prevention forest in Korea, Gangseo, Saha* (January 25, 2012). Retrieved from <http://www.kookje.co.kr/news2011/asp/newsbody.asp?code=0800&key=20120126.22001213540>
- Korean Forest Service. (2011). *Coast disaster prevention forest Design Criteria*. Retrieved from <http://www.law.go.kr/LSW/admRulInfoP.do?admRulSeq=2200000040152>
- Korean Geotechnical Society. (2011). *Cause investigation and recovery measures of Mt. Umyeon landslide*. Report No. KGS11-250.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport). (2013). *Landscape architecture design*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport Tourism, City Center City Maintenance Department. (2015). *Response to East Japan great earthquake disaster*.
- Miyagi Prefecture. (2017). *About measures for revival of Miyagi*.
- Reconstruction Headquarters in response to the Great EastJapan Earthquake. (2011). *Basic guidelines for reconstruction in response to the Great East Japan Earthquake*.
- The Hankyoreh. (2003). *Typhoon Maemi is economy difficult in Busan city* (September 15, 2003). Retrieved from <http://legacy.www.hani.co.kr/section-004000000/2003/09/004000000200309151106383.html>
- USACE. (2011). Greater New Orleans hurricane and storm damage risk reduction system (HSDRRS).

Received	October 1, 2018
Revised	October 1, 2018
Accepted	October 10, 2018