도시차원 홍수재해 다중방어체계 복구기법 개발: 춘천시를 대상으로

Development of Recovery Techniques of Urban Flood Disaster Multilayer Defenses: A Case of Chuncheon City

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

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

Abstract

The purpose of this study is to develop an urban-scale, multi-defense system restoration scheme for use in cities and counties. Restoration techniques used in Korea focus on restoration of structural functions based on damaged facilities and damaged points. This restoration technique is implemented by applying individual facility design standards. In this study, a recovery method that incorporates the concept of multiple defense systems was developed through analysis of domestic and foreign cases, current recovery techniques, disaster impacts, and causes. First, the criteria for applying the urban-scale, multi-defense system recovery technique was established. Next, an urban-scale defense system construction restoration technique was developed by further investigating the existing facilities standard and the new disaster prevention technology. The results of this study would be useful for recovering and preventing cities from urban-scale disasters and improving safety.

Key words : Disaster Multilayer Defense Scale, Urban Dimension, Flood Disaster

요 지

본 연구는 대규모 홍수발생 시 근원적 피해원인 해소와 재피해 방지를 위해 시군구 지자체 단위인 도시차원에 대한 다중방어체계 복구기법 개발하는 것을 목적으로 한다. 우리나라의 복구기법은 피해시설물, 피해지점 중심의 구조적 기능복원에 초점을 두고 있으며, 개별시설 설계기준을 적용하여 복구하는 실정이다. 이러한 한계에 국내 해외사례, 현행 복구기법 제도, 재해영향 및 원인분석을 통해 다중방어체계 개념을 도입한 복구기법을 개발하였다. 이를 위해 도시차원 다중방어체계 복구기법 적용기준을 정립하였고, 현행 시설기준 및 방재신기술을 추가 조사하여 도시차원 다중방어체계 복구기법을 개발하였다. 본 연구를 통해 대규모 재해발생시 복구에 활용이 가능하며, 동일한 대규모 피해에 대한 재피해 방지 및 재해 이전보다 높은 안전을 확보하는데 기대된다.

핵심용어 : 다중방어체계 복구기법, 도시차원, 도시홍수

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

Member, Manager, Urban Safety

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

Member, General 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

최근 기후변화 영향으로 재해의 양상이 다양화, 대형화되고 있으며, 이로 인한 자연재난 발생이 급격하게 증가하고 있다. 자연재해에 따른 세계 경제 손실규모는 2016년 기준 약 2천100억 달러로 추산됐으며(World Economic Forum, 2018), 우리나라는 각종 자연재난으로 인해 최근 10년(2008~2017)간 연평균 약 3천5백억의 피해액과, 약 7천3백억원의 복구비가 투입되고 있다(National Disaster information Center, 2017).

재해발생에 따른 복구비는 대부분 공공시설 위주로 적용되고 있으며 공공시설에 대한 재해 복구기법은 피해시설물, 피해지점 중심의 구조적 기능복원에 초점을 두고 있다.

현행 공공시설 복구계획은 시설물 관리 주체별로 원상복구, 개량복구를 실시하며, 피해가 복합적으로 발생한 일정 지역에 대해 지구단위지역을 확정하고 시설물간의 연계를 고려하여 종합적으로 복구할 수 있도록 계획하는 지구단위 종합복구계획(「자연재해대책법」 제46조의 3)을 수립하도록 하고 있다(Eo et al., 2017). 또한, 기존 복구기법은 중·소 규모 재해에 대해 개별시설에 대한 기능복원의 방어체계 및 피해지점별 복구로 별도의 복구기법 없이 개별시설 설계 기준을 적용하여 복구하는 실정으로, 재해가 발생하더라도 피해재발이 발생되지 않고 재해발생 이전보다 더욱 안전한 도시가 되기 위한 근원적 피해원인을 해소하는 종합적인 복구기법이 필요하다.

본 연구의 목적은 홍수재해로 인해 피해 발생 후 도시를 복구하는데 있어 구조적(시설복구전략) 및 비구조적(토지이용전략) 복구기법을 적용한 도시차원의 홍수재해 다중방어체계 복구기법을 개발하고자 한다.

2. 도시차원 홍수재해 다중방어체계 복구기법 개발

도시차원 홍수재해 다중방어체계 복구기법 개발과정은 국내·외 홍수재해 저감 및 재해발생 후 복구기법을 조사·분석하여 토지이용기법과 시설기법으로 분류하였고, 분류된 복구기법을 도시차원 규모에 적용 가능한 구조적기법과 비구조적기법으로 재분류하였다. 또한 도시활성도와 재해피해 지역을 고려하여 복구기법의 적용 기준을 정립하였으며, 정립된 복구기법을 다중방어체계 개념을 도입하여 도시차원의 홍수재해 다중방어체계 복구기법을 개발하였다(Fig. 1).

2.1 복구기법 분류 및 다중방어체계 시설 설정

도시차원 다중방어체계 복구기법은 해외사례 조사·분석, 현행 복구기법 제도 및 사례분석, 국내 재해영향 및 원인 조사·분석을 통해 토지이용기법과 시설기법으로 분류하였다.

Fig. 1. Development Process

해외사례는 일본, 미국 중심으로 재해시 관련된 복구사업 및 관련계획을 조사·분석 하였다. 일본의 경우, 동일본대지진으로부터의 부흥 기본방침(Reconstruction Headquarters in response to the Great East Japan Earthquake, 2011), 동일본대지진에 대한 대응(Ministry of Land, Infrastructure and Transport Tourism, City Center City Maintenance Department, 2015), 미야기현의 부흥을 향한 대책에 관하여(Miyagi Prefecture, 2017)등 대부분 기존 도시의 재해위험을 근원적으로 저감 또는 방지하기 위한 토지이용전략을 적극 활용하는 복구기법을 제시하였고, 특히 해안제방, 방재녹지, 도로, 토지이용 재편 등 복구의 기법을 조합하여 삼층방어(다중방어) 체계를 구축하는 기법을 제시하였다. 미국의 경우, 플로리다 사전복구계획 Post-Disaster Redevelopment Plan (Florida Department of Community Affairs, 2010) 허리케인 카트리나 복구사례(USACE, 2011) 등 장기복구 측면의 시설물에 대한 기능 상향 및 강화에 대한 복구기법을 제시하였다.

국내 복구기법 제도 및 사례의 경우, 「자연재해대책법」, 재해복구계획 수립, 지구단위종합복구계획 수립, 재해복구추진지침, 지구단위계획 수립기준 등 법, 지침, 기준 중심으로 분석하였다. 현행 복구기법 관련 제도는 피해시설물(도로, 하천 등) 중심의 구조적 복원 계획, 배수펌프장, 우수유출저감시설 신설 등의 예방대책이 일부 포함되어 복구계획을 수립하고 있다.

국내 재해영향 및 원인분석을 위해 과거 피해이력(태풍 루사, 매미, 집중호우 등)을 조사·분석하였다. 태풍 루사의 경우, 저수지의 설계 부적절, 하천의 통수단면 부족이 주 원인이었으며, 태풍 매미의 경우, 홍수터 소멸에 따른 하천의 범람, 방파제 유실 등 이고, 집중호우의 경우, 토사유출로 인한 산간주변 도로의 소통장애 유발 및 도로 파괴, 소하천 범람, 하천변 제방파괴로 분석되었다(Eo et al., 2017).

앞서 설명한 바와 같이 해외사례, 현행 복구기법, 재해영향 및 피해원인 분석을 통해 토지이용기법과 시설기법으로 분류하였으며 분류된 복구기법을 시·군·구 지자체 단위인 도시차원 규모에 적용 가능한 구조적기법과 비구조적기법으로 재분류 하였다. 구조적기법 시설에는 하천, 녹지/방재림, 도로, 공원으로 설정했으며, 비구조적기법에는 기능이전, 시설이전으로 설정하였다.

2.2 도시차원 복구기법 적용기준 정립

도시차원 복구기법 적용기준은 지역활성도와 재해피해를 고려하여 전략모형 지역구분(A, B, C, D)을 통해 복구기법 적용기준을 수립 하였다.

지역활성도는 도시기본계획의 도시공간구조 중심지(도심, 부도심, 광역중심, 지역중심, 지구중심 등) 영향권을 바탕으로 용도지역, 사업구역 등을 포함한 구역으로 설정하였다. 중심지에 대한 권역이 미설정된 경우, 철도역, 상업지역, 용도지역, 산업구역 등을 분석하여 영향권역을 설정하고, 영향권역에 인접한 도로, 하천, 기반시설, 자연지형 등을 기준으로 경계를 정형화하였다.

재해피해는 건축물 및 기반시설에 대한 재해피해 현황조사를 통해서 피해현황을 평가하고, 향후 재해피해에 대한 위험성을 고려하여 관련법에 따른 법정 위험지구를 반영해 재해피해를 평가하였다.

재해피해의 경우, 피해규모 지표와 재해위험성 지표로 고려하여 구역을 설정하게 되는데 피해규모 지표로는 건물피해와 기반시설 피해로 구분되어진다. 건물피해의 경우, 유실, 반파, 전파 등 자연재난조사 및 복구계획 수립지침을 준용하였으며, 기반시설 피해는 라이프라인(상하수도, 전기, 가스 및 통신시설 등)의 피해로 긴급조치가 필요한 시설, 재해피해로 인하여 당해 시설의 기능유지가 어렵고, 복구에 많은 시일이 필요한 시설로 설정하였다. 재해위험성 지표로는 「자연대책법」에 따른 “풍수해저감종합계획” 상의 풍수해위험지구, 자연재해위험개선지구 등 법정 위험지구를 토대로 재해위험성을 평가하였다.

지역활성도와 재해피해를 고려하여 전략모형 지역(A, B, C, D)으로 구분되는데 A지역은 지역활성도가 높고 재해피해가 많은 지역, B지역은 지역활성도는 높으나 재해피해가 적은지역, C지역은 지역활성도가 낮고 재해피해도 적은

지역, D지역은 지역활성도는 낮으나 재해피해가 많은 지역을 의미한다. 전략모형 지역구분은 Fig. 2와 같다.

Fig. 2. Strategic Region Model

2.3 도시차원 다중방어체계 복구기법 개발

도시차원 다중방어체계 복구기법은 시·군·구 지자체 단위의 다중방어체계 복구기법으로 재해발생 이전보다 더욱 안전한 도시가 되기 위해 근원적 피해원인을 해소하는 종합적인 복구기법을 말하며 Fig. 3과 같이 재해취약요소(하천, 해안) 주변에 이중, 삼중으로 방어하는 기법을 개발하였다.

홍수재해를 방어하기 위해 하천/해안-방수벽/수표제방-녹지/하천방재림-도로-공원-업무공간/상업공간/주거공간 순으로 다중방어체계를 구축하며, 본 연구에서 개발된 도시차원 다중방어체계 복구기법은 Table 1과 같다.

도시차원의 다중방어체계 복구기법은 크게 구조적기법과 비구조적기법으로 구분되며, 구조적기법으로는 하천(제방), 녹지/하천방재림, 도로, 공원으로 구분되며, 비구조적 기법으로는 기능이전, 시설이전으로 구분하여 복구기법 개발하였으며 복구기법별 구조·설계·배치기준의 세부내용은 다음과 같이 제시하였다.

- (1) 하천(제방)시설의 현행 설계기준은 하천규모(국가하천, 지방하천)에 따라 설계빈도가 결정되며, 설계빈도에 따라 제방의 폭과 여유고가 결정되는 반면 본 연구에서 개발된 재해지역 내 하천·해안 제방 기능 강화는 재해 발생후 복구기법 적용시 기존 설계빈도에서

Fig. 3. Conceptual Diagram of Urban Flood Disaster Multilayer Defenses

Table 1. Urban Flood Disaster Multilayer Defenses Recovery Techniques

Division		Recovery Techniques
Structural techniques	River	Enhancement of function of river and coastal dike in disaster area
	Seawall	Enhancement of seawall
	Green space / Disaster prevention forest	Construction of green space/disaster prevention forest (river, coast) around Disaster vulnerable elements
	Park	Major park with disaster prevention function
	Road	Construction of a dike road resistant to disasters
Non-Structural techniques	Transfer of function	Transfer of city central function (public function, commercial function and etc.) in disaster area
	Transfer of facility	Transfer of large-scale infrastructure(road, railway, waterworks facility) in disaster area

기왕최대의 제방일류고를 고려하여 제방 설계빈도를 상향 조정하거나 재해피해 방지와 신속한 복구를 위해 방수벽, 임플란트 방수벽 등 방재신기술의 적용하는 복구기법을 말한다.

- (2) 녹지/하천방재림의 현행 설계기준은 해안 및 하천 여건에 따라 조성폭이 다르며, 해안방재림의 경우, 현지 여건을 고려하여 폭 60 m 이상으로 조성하고, 위험지역인 경우 폭 100 m 이상으로 조성한다. 하천방재림의 경우, 하천규모(국가하천, 지방하천)에 따라서 폭 40 m, 20 m 내외로 조성한다. 본 연구에서 개발된 재해취약요소(하천, 해안) 주변 녹지/방재림 조성의 경우, 기존 조성 폭 기준을 준용하되 침엽수와 활엽수를 혼용하여 조성하고, 저류·침투기능을 확보하기 위하여 주변 지반고 보다 30 cm 낮게 조성하여 옴목한 형태의 저류·침투기능의 복구기법을 말한다.
- (3) 현행 도로 설계기준의 비탈면 경사는 토질조건에 따라 최대 1:1.5이지만 본 연구에서 개발된 재해에 강한 제방도로 건설은 재해피해가 많은 지역 내 하천 또는 해안을 따라 제방도로 높이를 재해시 발생한 최대 침수위 이상으로 설계해야되며, 도로 비탈면 경사는 1:3의 완경사로 조성하는 복구기법을 말한다.
- (4) 공원의 현행 설계기준은 따로 존재하지 않고, 조경설치 기준을 따르고 있으며, 공원의 종류로는 국가공원, 생활공원, 주제공원으로 분류한다. 또한 공원 부지면적당 공원시설에 제한을 두어 공원을 조성하고 있다. 본 연구에서 개발된 방재기능을 갖춘 거점공원은 현행 설계기준이 따로 없기 때문에 배치기준을 중점적으로 개발하였다. 방재기능을 갖춘 거점공원은 기존 공원을 활용하되 오픈스페이스 확보 가능한 국가공원, 주제공원을 활용하여 설치한다. 설치 시 관리동은 공원 출입구 주변과 오픈스페이스 가장자리에 설치하고 대피소의 기능을 갖도록 설치해야 하며, 전력공급을 신속하게 사용할 수 있도록 관리동 옆 비상용전원설비를 해야한다. 그 밖에 저류지는 주변지역보다 낮게 조성하여

노면 유출수가 집수되도록 하며, 공원 부지내 저류시설 면적은 현행기준(50% 이하)을 준용하여 설치한다. 벤치는 가급적 공원 외곽에 배치하고, 유사시 이동이 가능한 형태로 설치한다. 특히, 광장은 장비·물자 집결지로 활용할 수 있게 주차장과 인접하게 설치하는 복구기법을 말한다.

- (5) 비구조적 기법의 재해지역 내 도시중추기능(공공기능, 상업기능 등)이전은 도시 중추기능을 회복할 수 있도록 우선 복구하고, 공공/상업기능의 피해가 막대한 경우, 도시발전 전략에 부합하도록 이전계획을 도시계획팀과 협의를 통해 검토하는 방식의 복구기법을 말한다.
- (6) 마지막으로 재해지역 내 대규모 기반시설(전력, 도로, 철도, 상수도시설 등) 이전은 대규모 재해시 주요시설인 전력시설(송전탑, 변전소 등)을 우선 복구하여 위험지역의 복구가 신속히 이루어질 수 있도록 해야되며, 심각한 피해가 발생한 경우, 도시발전 전략에 부합하도록 이전계획을 도시계획팀과 협의를 통해 검토하는 방식의 복구기법을 말한다.

3. 도시차원 다중방어체계 시범적용

본 절에서는 앞서 개발된 도시차원의 다중방어체계 복구기법을 시범지역인 춘천에 적용하기 위한 상세절차를 마련하고, 상세절차에 따른 다중방어체계 복구기법을 적용하고자 한다.

도시차원 다중방어체계 복구기법 목적은 하천, 해안 주변의 도시활성도가 높고, 재해피해가 많은 지역을 방어하기 위한 이중, 삼중의 재해대책 마련이다.

다중방어체계 적용 대상지역의 입지 기준은 지역활성도가 높고, 재해피해가 높은 지역인 전략모형 지역구분 중 A지역에 해당되며 입지선정 프로세스는 기초자료 구축, 위험지역 분석, 전략모형 지역구분 설정, 도시차원 다중방어체계 구축지역 선정, 대상지역 상세분석, 다중방어체계 적용 순이다.

3.1 대상지역 선정 및 기초자료 분석

3.1.1 대상지역 선정

도시차원의 다중방어체계 적용 대상지역은 춘천시로 선정하였다. 춘천시는 홍수재해 발생시 하천제방 및 댐 홍수위 범람, 댐 붕괴 등으로 인한 홍수재해 피해위험이 높고, 대부분 춘천 도심지역은 저지대에 위치하고 있어 토사유출, 사면붕괴 및 산사태 등과 함께 발생할 위험이 높은 지역이다.

또한, 춘천의 경우 춘천댐과 소양강댐이 만나는 합류점에 도시가 위치해 있어 홍수재해에 대한 위험성이 큰 것으로 판단된다. 과거 춘천시는 집중호우로 인하여 도심 주택, 도로 등 침수가 되었고, 공지천 일대 저지대 주변은 침수가 빈번히 발생한 지역이기도 하다. 본 연구에서는 도시차원의 홍수재해 피해시 도시침수 피해가 상당히 높을 것으로 예상되는 춘천지역을 대상지역으로 선정하였다.

3.1.2 기초자료 구축

대상지역 내 도시차원 다중방어체계 적용지역을 분석하기 위해 인구, 건축물, 하천망 등 관련된 기초자료를 구축한다 (Table 2). 현재 국토교통부 국가공간정보포털에서 제공하고 있는 행정구역경계, 건축물, 하천망, DEM (Digital Elevation Models), 공원, 학교 등과 통계청 통계지리정보서비스(SGIS)에서 제공하는 인구, 도로망 등 관련된 DB를 확보하여 구축하였다.

구축하는데 앞서, 국가공간정보포털과 통계지리정보서비스(SGIS)에서 제공하는 기초자료의 좌표체계가 서로 상이하여 하나의 좌표체계로 표준화 하였다. 기초자료 중 대부분이 국가공간정보포털에서 제공하는 자료를 사용하기 때문에 국가공간정보포털에서 사용하는 GRS80/TM 좌표 기준으로 모든 자료를 표준화하였다.

3.2 위험지역 분석 및 확인

홍수재해 위험지역을 파악하기 위해 춘천시 내 홍수재해 위험지역과 앞서 설명한 전략모형 지역구분(A,B,C,D)을 활

용한다.

홍수재해 위험지역의 경우, 소양강댐, 춘천댐 붕괴시 춘천 지역의 피해범위 및 제방붕괴에 따른 유속흐름을 분석하기 위해 2DFM 모형을 사용하였고, 침수피해 모델링을 실시하여 홍수범람도를 작성하였다. 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 홍수재해 위험지역을 산정한 결과, 소양강댐 및 춘천댐을 기점으로 댐과의 거리가 가까운 지역에 피해가 가장 큰 것으로 분석되었다. 또한, 하천의 흐름을 따라 지반고가 낮은 지역에 대하여 침수피해가 발생한 것으로 분석되었다. 다음 Fig. 4와 같이 홍수재해 위험지역을 지역특성과 규모에 따라 3개의 지역을 다음과 같이 분류하였다. 소양강댐 좌안(1지역), 소양강댐 우안(2지역), 춘천댐 상류(3지역)의 총 3개 지역으로 소양강댐 우안(2지역)은 3개 지역 중 평균침수심이 6 m로 가장 높게 분석되었으며, 소양강댐 좌안(1지역)은 3 m, 춘천댐 상류(3지역)는 4 m로 분석되었다.

Fig. 4. Inundation Map (Chun-cheon city)

Table 2. NSDIP and SGIS Service Basic Data Status

Division	Title	Details	Data Type
National Spatial Data Infrastructure Portal (NSDIP)	Buildings	Residential / commercial / business etc.	shp
	Stream network	National River / Local River	shp
	DEM	Digital Elevation Models	raster
	Parks	Neighborhood Park / Theme Park / Life Park (small parks, children's park) / historical park / cultural park / etc.	shp
	schools	Elementary / Middle / High School / University	shp
Statistics Geographic Information System (SGIS)	Road network	Highways / Main roads / Sub roads / Underpasses / Tunnels / Bridges	shp
	Census Boundary	City / Town / District	shp
	Count Boundary	A more detailed boundary than district	shp
	Population	Population data by count boundary	txt

이러한 홍수재해 위험지역 중 다중방어체계 적용 대상지역의 입지 기준인 지역활성도가 높고, 재해피해가 높은 A지역에 해당하는 지역은 소양강댐 좌안(2지역)이다(Fig. 5).

Fig. 5. Classification of Strategic Region Model (Chun-cheon city)

3.3 도시차원 다중방어체계 적용

3.3.1 도시차원 다중방어체계 구축지역 선정

홍수재해 위험지역 분석 및 전략모형 지역구분과 중첩결과, 홍수재해 위험지역 중 지역활성도가 높고, 재해피해가 많은 소양강댐 좌안(2지역)으로 소양동, 효자동, 역사명동, 석사동, 후평동 일대로 선정하였다(Fig. 6).

Fig. 6. Application of Urban Flood Disaster Multilayer Defenses

또한, 도시차원 다중방어체계 구축지역의 선정기준은 다음 3가지로 정의할 수 있다. 첫째, 지역활성도가 높고 재해피해가 높은 지역(전략모형 지역구분: A지역), 둘째, 하천변 침수심이 높은지역(홍수재해 위험지역: 2지역 평균침수심 6m), 마지막으로 보호할 대상(인구, 중요시설) 밀집도가 높은지역을 의미한다.

3.3.2 대상지역 상세분석

대상지역 내 다중방어체계 구축지역을 4개 지역(1, 2, 3, 4)으로 구분하여, 지역별 용도지역, 도로, 철도, 지형 등을 상세분석하였다(Fig. 7).

Fig. 7. Study Site

1지역의 용도지역은 주거지역과 산업지역(춘천후평 일반산업단지)으로 구성되어 있으며, 간선도로를 경계로 소양강과 직접 맞닿아 있다.

2지역의 용도지역은 상업·주거지역으로 간선도로를 경계로 북한강과 직접 맞닿아 있다. 3지역은 공장, 전시장 등이 위치한 업무지역으로 경춘선인 춘천역사가 위치해 있으며, 뒤편으로 생태공원 조성 예정부지가 있다. 3지역과 북한강 사이에 춘천도시첨단정보산업단지가 위치해 있다.

4지역은 상업·주거지역으로 C지역과 북한강 사이에 춘천도시첨단정보산업단지가 위치해 있으며, 뒤편에 경춘선이 지나가고 있다.

(1) 1지역

1지역은 하천변 도로(1-1), 하천변 산업단지(1-2), 산업단지 중심(1-3)의 세부 지역으로 구분하여 주변 현황을 분석하였다(Table 3).

하천변 도로(1-1)는 제방도로 역할을 하는 왕복 4차선 도로이며, 도로 우측은 약 3m 아래에 소양강이 흐르고 있고, 좌측에는 산업단지가 형성되어 있다.

공장 등 산업시설이 조성된 하천변 산업단지(1-2)는 제방도로 인근에 위치하며, 제방도로의 지반고와 동일하다.

산업단지 중심(1-3) 지역은 산업시설이 조성되어 있으며, 1-2 지역과 마찬가지로 제방도로의 지반고와 동일하다.

(2) 2지역

B지역은 하천변 도로(2-1), 하천변 상업 및 주거지역(2-2), 상업 및 주거지역 중심(2-3)으로 구분하여 주변 현황을 분석하였다(Table 4).

하천변 도로(2-1)는 제방도로 역할을 하는 왕복 6차선

Table 3. Status and Satellite View of 1 Region

Division	Status	Satellite View	
1-1	Riverside Road
1-2	Riverside industrial complex
1-3	Industrial complex

Table 4. Status and Satellite View of 2 Region

Division	Status	Satellite View	
2-1	Riverside Road
2-2	Riverside commercial and residential district
2-3	Industrial and residential complex

도로이며, 도로 우측은 약 10 m 아래에 소양강이 흐르고 있고, 좌측에는 상업 및 주거지역과 공용주차장 등이 구성되어 있다. 상업 및 주거지역, 공용주차장 등이 조성된 하천변 상업 및 주거지역(2-2)은 제방도로 인근에 위치하며, 제방도로의 지반고와 동일하다.

상업 및 주거지역 중심(2-3) 지역은 상가 등 상업시설과 주거지역이 구성되어 있으며, 제방도로의 지반고와 동일하다.

(3) 3지역

3지역은 하천변(3-1), 하천변 제방도로(3-2), 춘천역 및 상업시설(3-3), 생태공원 조성부지(3-4)로 구분하여 주변 현황을 분석하였다(Table 5).

하천변(3-1)은 소양강에 인접한 하천변으로 정면에는 자전거 도로, 산책길 등이 위치해 있으며, 우측으로는 약 3 m 정도 위에 공터 및 상업시설이 있고, 좌측에는 약 2 m 아래 소양강이 흐르고 있다. 하천변 제방도로(3-2)는 제방도로

역할을 하는 왕복 6차선 도로로 소양강보다 약 3 m 정도 위에 위치해 있으며, 우측에(3-3)는 도로와 동일선상에 춘천역과 자동차운전학원 등 상업시설이 있으며, 좌측에는 공터 및 상업시설이 위치해 있다. 생태공원 조성부지(3-4)는 춘천역 뒤편으로 대규모 생태공원 조성 예정부지가 위치해 있다.

(4) 4지역

4지역은 하천변(4-1), 하천변 제방도로(4-2), 상업 및 주거지역(4-3)으로 구분하여 주변 현황을 분석하였다(Table 6).

하천변(4-1)은 소양강과 제방도로 사이 하수배수지와 유원지가 형성되어 있으며, 소양강에서 2 m 정도 위에 위치해 있고, 제방도로와 동일선상에 위치하고 있다.

하천변 제방도로(4-2)는 제방도로 역할을 하는 왕복 6차선 도로로 소양강보다 약 2 m 정도 위에 위치해 있으며, 우측에는 도로와 주거지역이 형성되어 있고, 좌측에는 하수배수지와 유원지 등이 형성되어 있다. 상업 및 주거지역(4-3)은 제방도로의 지반고와 동일선상에 위치한다.

Table 5. Status and Satellite View of 3 Region

Division	Status	Satellite View	
3-1	Riverside Road
3-2	Riverside dike road
3-3	Chuncheon station and commercial facilities
3-4	Ecological park site

Table 6. Status and Satellite View of 4 Region

Division	Status	Satellite View	
4-1	Riverside
4-2	Riverside dike road
4-3	Commercial and residential district

3.3.3 도시차원 다중방어체계 구축방향 설정

다중방어체계 구축방향은 앞서 분석한 바와 같이 도시차원 다중방어구축 지역선정 및 상세분석을 통해 선정된 1, 2, 3, 4지역 기준으로 방향을 설정하고 주변 지형과 여건을 고려하여 구축방향 설정하였다(Fig. 8).

1지역은 산업지역과 주거지역으로 형성된 축으로 다중방어체계 구축방향으로 설정하고, 2지역은 봉의산 방향을 제

외하고 상업지역과 주거지역 형성된 축으로 다중방어체계 구축방향을 설정한다.

3지역은 간선도로, 경춘선, 생태공원조성부지에서 춘천 시청 방향 축으로 다중방어체계 구축방향을 설정하고, 4지역은 상업지역과 주거지역으로 형성된 축으로 다중방어구축지역 설정한다.

Fig. 8. Establish of Direction to Urban Flood Disaster Multilayer Defenses

3.4 도시차원 다중방어체계 구축결과

다중방어체계 구축방향으로 설정된 1, 2, 3, 4지역과 개발된 복구기법을 적용하여 시범지역에 대해 도시차원 다중방어체계 복구기법을 적용하였다(Fig. 9).

1지역의 경우, 부력식 방수벽, 도로 노면배수로, 방재림, 유압식 방수벽 순으로 다중방어체계 복구기법을 적용한다.

1지역의 평균 침수심은 3 m로 부력식 방수벽 설치시 3 m 이상으로 높이를 확보하여 방수벽을 설치한다. 1지역 도로는 현재 왕복 4차선 도로로 그대로 유지하되 노면수를 배출할 수 있는 배수로를 설치한다. 또한, 기존 산업지역과 주거지역을 일부 제거하여 오목한 방재림을 조성하고 대규모 재해시 물이 고일 수 있도록 조성한다. 또한, 비상시 방재림 끝 경계에 유압식 방수벽을 설치하여 홍수를 방어할 수 있게 조성한다.

모 재해시 저류지 역할로 활용할 수 있게 조성한다. 비상시 방재림 끝 경계에 유압식 방수벽을 설치하여 홍수를 방어할 수 있게 조성한다. 1지역의 경우, 침수 및 파손이 심한 00고등학교는 안전한 지역(전략모형 지역구분 B지역)으로 이전을 권고하며, 추후 도시계획팀과 협의를 통해 재설치 또는 이전을 확정할 필요가 있다.

2, 4지역의 경우, 부력식 방수벽, 도로 노면배수로, 방재림, 유압식 방수벽 순으로 다중방어체계 복구기법을 적용한다. 평균 침수심은 6 m이므로 부력식 방수벽 설치시 6 m 이상으로 높이를 확보하여 방수벽을 설치한다. 2, 4지역 도로는 현재 왕복 4차선 도로로 그대로 유지하되 노면수를 배출할 수 있는 배수로를 설치한다. 2지역은 기존 상업 및 주거지역, 공용주차장을 일부 제거하고, 4지역은 주거지역을 일부 제거하여 오목한 방재림을 조성하고 대규모 재해시 물이 고일 수 있도록 조성한다. 또한, 비상시 방재림 끝 경계에 유압식 방수벽을 설치하여 홍수를 방어할 수 있게 조성한다.

3지역의 경우, 부력식 방수벽, 도로 노면배수로, 방재림, 유압식 방수벽, 방재기능을 갖는 거점공원 순으로 다중방어체계 복구기법 적용한다. 3지역의 평균 침수심은 6 m이므로 부력식 방수벽 설치시 6 m 이상으로 높이를 확보하여 방수벽을 설치한다. 3지역 도로는 현재 왕복 4차선 도로로 그대로 유지하되 노면수를 배출할 수 있는 배수로 설치한다. 기존 자동차운전학원 및 상업시설 일부를 제거하여 오목한 방재림을 조성하고 대규모 재해시 물이 고일 수 있도록 조성한다. 비상시 방재림 끝 경계에 유압식 방수벽을 설치하여 홍수를 방어할 수 있게 조성한다. 춘천역 뒤편으로 생태공원 조성 예정부지임으로 생태공원 조성시 방재기능을 갖는 거점공

Fig. 9. Result of Application to Urban Flood Disaster Multilayer Defenses

원으로 조성한다. 3지역의 경우, 침수 및 파손이 심한 주민센터, 학교는 안전한 지역(전략모형 지역구분 B지역)으로 이전을 권고하며, 추후 도시계획팀과 협의를 통해 재설치 또는 이전을 확정할 필요가 있다.

4. 결 론

본 연구는 국내 홍수재해로 인한 대규모 홍수피해 발생시 근원적 피해해소와 재피해 방지를 위해 시·군·구 지자체 단위인 도시차원의 다중방어체계 복구기법을 개발하였다.

도시차원 홍수재해 다중방어체계 복구기법은 해외사례, 현행 복구기법 제도, 재해영향 및 원인분석을 통해 다중방어체계 개념을 도입한 복구기법을 개발하였다. 다중방어체계란 재해취약요소(하천, 해안)주변에 이중, 삼중으로 홍수를 방어하는 기법을 말하며, 본연구에서는 도시차원 다중방어체계 복구기법 적용기준을 수립하기 위해 지역활성도와 재해피해를 고려하여 전략모형 지역구분(A,B,C,D)로 구분하여 적용기준을 정립하였다. 도시차원 다중방어체계 복구기법을 적용하기 위해 시범대상지역인 춘천시에 적용하였다. 적용하기 앞서, 시범지역에 대한 상세분석을 통해 주변지역 현황 및 위험지역을 파악하였고, 개발된 도시차원 다중방어체계 복구기법을 적용하였다.

춘천시 도시차원 다중방어체계 복구기법 적용결과 부력식 방수벽, 제방도로, 녹지/방재림, 유압식 방수벽, 방재공원 순으로 적용하였다.

본 연구에서 개발된 도시차원 복구기법은 대규모 홍수재해시 복구기법에 활용이 가능하며, 현행 지구단위종합복구계획에 일부 적용 및 개선이 가능하다. 또한 동일한 대규모 홍수피해에 대한 재피해 방지와 재해 이전보다 높은 안전확보가 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발

사업단의 지원을 받아 수행된 연구임[MOIS-재난-2014-02].

References

- Disater 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*.
- Eo, G., Lee, C.H., and Sim, O.B. (2017). Development of a new concept of public facility recovery for large-scale disasters. *Crisisonomy*, Vol. 13, No. 12, pp. 17-31.
- 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*.
- National Disaster information Center. (2017). *Disaster year book*.
- Reconstruction Headquarters in response to the Great East Japan Earthquake. (2011). *Basic guidelines for reconstruction in response to the Great East Japan Earthquake*.
- USACE. (2011). *Greater New Orleans hurricane and storm damage risk reduction system (HSDRRS)*.
- World Economic Forum. (2018). *Which natural disasters hit most frequently?* Retrieved from <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/which-natural-disasters-hit-most-frequently>

Received	September 27, 2018
Revised	October 1, 2018
Accepted	October 10, 2018