

석사학위논문

자연재해 대응전략의 개선방안에
관한 연구

—도시지역의 태풍, 가뭄, 폭염, 지진을 중심으로—

2025년

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전정책전공

박 상 진

석사학위논문
지도교수 류종용

자연재해 대응전략의 개선방안에 관한 연구

—도시지역의 태풍, 가뭄, 폭염, 지진을 중심으로—

A Study on the Improvement of Natural
Disaster Response Strategies

— Focusing on Typhoons, Droughts, Heatwaves, and
Earthquakes in Urban Areas—

2024년 12월 05일

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전정책전공

박상진

석사학위논문
지도교수 류종용

자연재해 대응전략의 개선방안에 관한 연구

—도시지역의 태풍, 가뭄, 폭염, 지진을 중심으로—

A Study on the Improvement of Natural
Disaster Response Strategies

— Focusing on Typhoons, Droughts, Heatwaves, and
Earthquakes in Urban Areas—

위 논문을 사회안전학 석사학위 논문으로 제출함

2024년 12월 05일

한성대학교 행정대학원

사회안전학과

사회안전정책전공

박상진

박상진의 사회안전학 석사학위 논문을 인준함

2024년 12월 05일

심사위원장 김 진 수 (인)

심 사 위 원 공 평 원 (인)

심 사 위 원 류 종 용 (인)

국 문 초 록

자연재해 대응전략의 개선방안에 관한 연구 :
도시지역의 태풍, 가뭄, 폭염, 지진을 중심으로

한 성 대 학 교 행 정 대 학 원
사 회 안 전 학 과
사 회 안 전 정 책 전 공
박 상 진

급속도로 진행되는 기후변화는 우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로도 심각한 재해 상황을 초래하고 있는 심각한 재해상황이다. 이러한 기후변화로 인한 극심한 기상이변으로 인한 자연재해는 지구 어느곳에서도 지속적으로, 빈번하게 발생함에 따라 중요한 문제로 대두되고 있다. 이에 맞춰 우리나라 도시지역에서 발생하고 있는 주요 자연재해를 중심으로 자연재해로 인한 피해 영향과 대응전략을 분석하였다. 특히 도시지역에서는 인구밀집, 생활권 밀집, 도시기반시설 등 복잡한 인프라의 구성, 경제적 중심인 특성으로 인해 자연재해로 인한 재난 발생 시 더욱 극심한 피해를 경험할 가능성이 높다.

본 연구에서는 자연재해의 발생 원인에 대한 분석, 자연재해별 피해 현황 및 피해 양상, 그리고 기존 대응체계에서의 자연재해로 인한 피해 예방, 대비, 대응, 복구의 한계점에 대해 검토한 결과 최근 기후변화로 인한 더욱 잦아진 자연재해와 수도권을 비롯한 도시 지역에서의 피해가 비도시 지역에 비해 2차피해가 더욱 극심하게 나타나고, 대응과 복구과정에서의 피해액이 높게 나타나는 것으로 나타났다. 이를 기반으로 통합적이고 효

과적인 대응 방안을 제언하고 있으며, 자연재해 교육을 통해 심리적, 육체적, 사회적, 경제적 문제들에 대해 시민들이 직접 대비할 수 있는 지식을 함양한다. 일관적이고 소규모 도시에서도 즉각적인 대처와 대응이 가능한 조직적 구조를 개편하여 재난발생에 대한 대비가 필요하다. 과학화된 감시 및 대응 시스템을 도입하여 재난이 발생할 경우 더욱 많은 정보와 상황공유가 가능하고 이후 복구단계에서도 축적된 데이터를 활용하여 도시 재건 및 피해에 대한 복구 시 우선순위를 더욱 현명하고 신속하게 정할 수 있게 도움이 된다. 이러한 단계별 조치를 개선함으로써, 추후 도시 지역의 자연재해 대응력을 강화하고 재난관리체계의 개선에 기여할 수 있다.

【주제어】 자연재해, 기후변화, 자연재해대책법, 재난 및 안전관리기본법, 도시방재

목 차

I. 서론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적 및 필요성	3
1.3 연구 범위 및 방법	6
II. 이론적 고찰	10
2.1 자연재해의 정의 및 종류	10
2.2 도시지역의 특성과 취약성	12
2.3 자연재해 대응전략의 이론적 고찰	18
2.4 선행연구 검토	23
III. 도시지역 자연재해 피해 현황 분석	27
3.1 자연재해 현황 및 피해사례 분석	27
3.2 시사점	49
IV. 도시지역 자연재해 재난관리 개선방안	52
4.1 예방단계	52
4.2 대비단계	53
4.3 대응단계	56
4.4 복구단계	61
V. 결론	64
5.1 연구결과	64
5.2 연구의 한계	67
참 고 문 헌	68

ABSTRACT	72
----------------	----

표 목 차

[표 2-1] 피해지역 기상관측 결과(8.8 ~ 8.17)	14
[표 2-2] 피해지역 피해액 현황(8.8 ~ 8.17)	15
[표 2-3] 최근 10년간 원인별 피해액 현황	17
[표 3-1] 태풍과 열대저압부의 구분	28
[표 3-2] 태풍의 강도 구분	30
[표 3-3] 태풍의 크기 구분	30
[표 3-4] 최근 10년(2014년~2023년) 우리나라에 영향을 준 태풍 현황	32
[표 3-5] 우리나라에 영향을 미친 주요 태풍 현황(2016~2022)	33
[표 3-6] 태풍 마이삭, 하이선으로 인한 사유시설 피해 현황	34
[표 3-7] 태풍 마이삭, 하이선으로 인한 공공시설 피해 현황	35
[표 3-8] 역대(1974년 이후) 기상가뭄 발생일수 순위	37
[표 3-9] 여름철 전국 폭염 및 열대야 일수 순위 현황	40
[표 3-10] 기상관측 시작 이래 최고기온 극값 경신 주요지점	42
[표 3-11] 기상관측 시작 이래 최저기온 극값 경신 주요지점	42
[표 3-12] 2011년 이후 폭염 인명피해 현황	43
[표 3-13] 최근 10년간 연도별 최대 규모 지진 발생 현황	45
[표 3-14] 2016 경주 지진 사유시설 피해 현황	47
[표 3-15] 2016 경주 지진 공공시설 피해 현황	48
[표 3-16] 2016 경주 지진 시·도별 피해 현황	48
[표 4-1] 우리나라와 일본의 조직적 대응체계 구축 비교	55
[표 4-2] 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리 시스템 자연재해 분류 및 단계별 정보 생성표	58

그림 목 차

[그림 1-1] 연구흐름도	9
[그림 2-1] 최근 10년간 원인별 피해액 현황	16
[그림 3-1] 태풍이 주로 발생하는 지역	29
[그림 3-2] 2022년 기상가뭄 현황(매월 마지막날 기준)	38
[그림 3-3] 2016년 경북 경주지진(본진)	46
[그림 3-4] 2016 경주 지진으로 인한 불국사 벽면 균열	49
[그림 4-1] 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리 시스템 자연재해 현장 데이터 취득	59
[그림 4-2] 상황전파 관리시스템의 재난·재해 정보 제공 흐름도	60

I. 서론

1.1 연구 배경

20세기 중반 이후 세계는 급속한 도시화를 진행하며 발달하고 있으며, 현재 전 세계 인구의 절반 이상이 도시에 거주하고 있을 만큼 이 비율은 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 도시화는 경제적 발전과 생활 수준의 향상을 가져왔지만, 동시에 다양한 사회적, 환경적 문제가 제기되고 있다.

21세기 이후에는 전 지구에서는 기후변화에 대한 우려와 관심이 지속되고 증가되고 있으며, 2004년에는 영국 정부의 과학 고문인 King(2004)는 테러로 인한 피해보다도 기후변화로 인한 피해가 크다는 주장을 하였다(조민경, 2017). 이러한 기후변화로 인해 과거 사례가 드문 초대형 재난이 발생하기도 하면서 기후변화로 인한 자연재해로 인한 재난은 발생 장소나 시간 등을 정확하게 예측하기 힘들기 때문에 사전 예방이나 대응을 위한 대책이 없다면 자연재해로 인한 재난 피해는 기하급수적으로 늘어날 수밖에 없다.

특히, 인구 밀집 지역인 도시는 자연재해에 특히 취약하며 기후변화로 인해 극단적인 기상 현상이 빈번해지고 있으며 그 결과 도심지역에서 발생하는 자연재해의 빈도와 강도도 꾸준히 증가하고 있다.

예를 들어 폭우로 인한 홍수, 해수면 상승에 따른 해안 도시 침수, 지진 및 그로 인한 여파로 인한 도시 인프라의 붕괴 등이 주요 문제로 대두되고 있다.

자연재해는 피할 수 없는 자연현상으로 인해 발생하는 것이기 때문에 발생의 장소나 시기를 예측하기 어렵고, 피해 대상의 범위는 불특정 다수이다. 또한, 자연재해로 인한 피해의 범위는 정도나 강도에 따라 다르지만 대부분 광범위한 경우가 많다. 따라서 자연재해를 사전에 대비하고 예방하는 것은 매우 중요한 사항이라 할 수 있다(서만훈 외, 2016).

도시지역은 다양한 기능이 복합적으로 얹혀 있어 자연재해 발생 시 그

피해가 더욱 심각할 수밖에 없다. 예를 들어 고층 건물, 도로, 지하철 등의 밀집된 인프라는 지진, 홍수와 같은 자연재해에 취약하다.

또한, 유동인구나 인구의 밀도가 높아 재해 발생 시 인명피해가 클 가능성이 높다. 대표적인 사례로 2011년 일본의 동일본 대지진¹⁾이나 2005년 미국 뉴올리언스에서 발생한 허리케인 카트리나²⁾ 같은 사례는 도시지역이 특히 자연재해에 얼마나 취약한지를 보여주는 대표적인 사례이다. 이러한 사례들은 도시의 복잡성과 밀도가 자연재해의 위험을 크게 증가시킨다는 점을 시사한다.

자연재해는 피할 수 없는 자연 현상이지만, 그로 인한 피해를 최소화하기 위한 대비와 대응은 충분히 가능하며, 도시화가 진행될수록 효과적인 자연재해 대응전략의 필요성은 더욱 커지고 있다. 대응 전략에는 재해 발생 전의 예방 및 대비, 재해 발생 시의 긴급 대응, 재해 이후의 복구 및 재건 등 다양한 단계가 포함된다.

각 단계에서의 대응이 적절하게 이루어질 때, 도시의 피해를 최소화하고 복구 속도를 높일 수 있으며 특히, 재난 발생 전의 예방적 조치가 재난의 피해를 크게 줄일 수 있다는 연구 결과는 다양한 연구 결과에서 일관되게 주장하고 있다.

현대 사회에서 자연재해의 빈도와 강도가 증가함에 따라, 도시지역에서의 자연재해 대응전략은 더욱 중요해지고 있다. 그러나 많은 도시들이 여전히 이러한 재난에 효과적으로 대응하지 못하고 있으며, 그 결과 자연재해로 인한 큰 피해를 지속적으로 입고 있다. 2022년 8월 이틀간 내린 집중호우로 서울 강남 일대가 침수되고 인명피해까지 발생하면서 도시의 치수와 방재대책을 새롭게 설계해야 한다는 의견이 나오고 있다. 서울은 2010년, 2011년, 2018년에는 심각한 침수피해를 겪었고, 지속되는 강남 일대의 침수피해를 막기 위해서 지난 2015년부터 총예산 1조 4000억 원을 투자하여 하수관의 용량 확대 등 지속적으로 개선 사업을 진행했지만,

1) 2011년 3월 11일에 발생한 거대한 지진으로 3개의 대재난(대지진, 쓰나미, 원전 폭발)이 동시에 발생한 인류 역사상 자연재해에 따른 재산 피해액이 가장 큰 참사

2) 2005년 8월 29일 최대풍속 75m/s, 직경 700km의 허리케인으로 2,541명의 인명피해가 발생하였다.

매년 집중호우에는 속수무책이었던 셈이다. 100년 혹은 200년 빈도의 집중호우는 ‘예기치 못한’ 강우 현상이 아니라 이제는 기후 위기의 영향으로 일상이 되고 있으며 과거 경험을 바탕으로 한 ‘빈도 예측’보다 재해예방에 방점을 둔 정책을 서둘러야 할 시기라고 할 수 있다(김병식 외, 2024).

극심한 기후변화가 다양한 문제들을 야기하며, 기온 상승으로 인한 폭염은 사람과 가축들의 열 스트레스 및 사망에 대한 위험을 높이고 농업 수확량을 줄이며 극단적인 강수량 변화는 홍수로 인한 거주지, 농작물, 생태계 파괴, 침식 증가 등으로 이어질 것으로 분석되며 변화의 정도가 극심해질수록 인간의 대응 능력이 떨어진다는 점에서 전례 없는 위험 상황이 펼쳐질 수도 있을 것으로 예측했다(문세영, 2024).

이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존의 대응전략을 재검토하고, 새로운 기술과 정책을 반영한 효과적인 대응 방안을 모색해야 한다.

본 연구는 이러한 문제의식을 바탕으로 도시지역의 자연재해 대응 전략을 분석하고, 개선방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구 목적 및 필요성

현대 도시는 급속한 도시화와 기후변화의 영향으로 자연재해에 대한 취약성이 증가하고 있으며, 이러한 환경에서 자연재해가 발생하면 인명과 재산 피해가 커지며, 도시 인프라와 경제 시스템이 심각하게 손상될 수 있다.

기후변화에 대하여 국가 정부 간 협의체인 IPCC³⁾(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 발간한 기후 평가 보고서에서는 지구 온난화로 인한 기상이변과 기후변화는 명백한 사실이고, 지구의 대기 중 온도와 수온이 따뜻해지고 있으며 이로 인하여 남극과 북극의 빙하의 양이 줄어들어 해수면이 상승하는 등 기후변화에 관한 대응을 주로 담고 있다. 매년 전 세계적으로 기후변화로 인한 자연재난에 대한 피해는 과거 기록

3) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) : UN의 전문 기관인 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획(UNEP)에 의해 1988년 설립된 조직으로 인간 활동에 대한 기후변화의 위험을 평가하는 것이 주 임무이다.

이 유지되는 시점으로부터 역대급 자연재난에 대한 규모를 갱신하고 있으며 이로 인한 피해는 나날이 증가하는 추세이다. 우리나라 역시 기상이변과 기후변화로 인한 재난의 특성과 양상이 변하게 되면서 집중호우로 강남 일대가 침수되는 피해가 발생하고 광화문이 침수되며 2011년에는 서울 내에만 하루에 301.5mm의 폭우로 인해 우면산에서는 산사태가 발생하기도 하였다. 지난 10년간에도 1일 100mm 이상의 집중호우의 발생 빈도가 약 1.5배가량 증가하였고, 매년 마른장마가 이어지면서 폭염, 가뭄 등의 재해도 발생하면서 안정화된 도시화와 도시관리시스템이 구축되어 충분한 인프라를 갖춘 것으로 여겨지던 서울에서 이상 기상 현상으로 인해 전보다 대형화된 재난이 발생하면서 큰 피해를 낳고 있다(조민경 외, 2017). 기후변화로 인한 자연재해로 피해는 더욱 잦아지고 현재의 방재시스템이 온전한 효과를 발휘하지 못하면서 피해가 증가되며, 현재 상황에 맞는 더욱 발전된 방재시스템과 인프라, 그리고 자연재해에 대한 새로운 대책이 필요한 시점이다.

본 연구의 주요 목적은 우리나라의 도시지역에서 발생하는 자연재해에 대한 현황을 분석하고, 이러한 자연재해에 효과적으로 대응할 수 있는 전략을 제시하는 것을 목적으로 한다.

이러한 연구 목적에 따라 다음과 같은 연구문제를 설정하였다.

첫째, 자연재해의 특성과 피해 분석을 연구한다. 지난 10년간 대한민국에서 발생한 주요 자연재해의 사례를 중심으로 각 재해의 특성과 피해 양상을 분석한다. 이를 통해 도시지역에서 빈번하게 발생하는 재해 유형과 그로 인한 피해의 주요 원인을 파악한다.

둘째, 도시지역의 재해 대응 현황을 연구한다. 대한민국 도시지역의 자연재해 대응체계를 평가하여, 현행 대응 전략의 강점과 약점을 분석한다. 이를 통해 재해 대응에 있어서 문제점과 개선이 필요한 부분을 도출한다.

셋째, 효과적인 재해 대응전략 연구한다. 분석된 자료를 바탕으로, 도시지역에서의 재해 피해를 최소화할 수 있는 효과적인 대응 전략을 제안한다. 이 전략에는 재해 발생 전의 예방적 조치, 재해 발생 시 신속한 대응, 재해 이후의 복구 및 재건 방안이 포함된다.

도시화와 기후변화는 자연재해의 양상과 그로 인한 피해를 급격히 변화시키고 있으며, 특히 대한민국은 인구 밀집 지역이 많고, 자연재해 발생 빈도가 증가하는 추세다. 이러한 상황에서 도시지역의 자연재해 대응전략이 더욱 중요해지고 있으며, 그 필요성은 다음과 같은 이유에서 더욱 강조된다.

첫째, 인구 밀집 지역의 취약성이 부각된다. 대한민국의 대도시들은 높은 인구 밀도와 복잡한 인프라 구조를 가지고 있어 자연재해 발생 시 막대한 재산 및 인명 피해가 발생할 수 있다. 예를 들어, 태풍이나 홍수와 같은 재해는 도시의 교통망, 전력망, 통신망 등을 마비시켜 사회적 혼란을 야기할 수 있다. 이러한 취약성을 고려할 때, 도시지역에서의 효과적인 재해 대응 전략이 필수적이다.

둘째, 기후 변화로 인한 재해 빈도가 증가한다. 최근 기후변화로 인해 대한민국에서의 자연재해 발생 빈도와 강도가 증가하고 있다. 과거에는 드물게 발생했던 극한 기상 현상들이 이제는 더 빈번하게 나타나고 있으며, 이에 따른 피해도 증가하는 추세이다. 이러한 변화는 기존의 재해 대응 전략이 더 이상 충분하지 않을 수 있음을 시사한다.

셋째, 재난관리 체계의 한계점이 드러난다. 대한민국은 다양한 재난관리 체계를 갖추고 있지만, 실제 재해 발생 시 대응의 미흡함이 지적되고 있다. 예를 들어, 경주와 포항 지진⁴⁾ 당시 초기 대응의 부족과 복구 과정에서의 어려움이 드러났다. 포항 지진은 규모가 5.4, 경주 지진은 5.8로 경주 지진에 비해 규모는 단순 수치는 0.4 작지만 경주 지진으로 인한 인명피해는 부상자가 23명인데 비해 포항 지진으로 인한 부상자는 세 배가 넘는 77명으로 집계되었다. 또한 경주 지진으로 인한 재산피해는 지진 발생 이후 이틀 동안 1115건이 접수된 것에 비해 포항은 1,300여 건으로 이러한 재산, 인명피해가 많이 발생한 가장 큰 이유는 인구 밀집도에서 찾을 수 있다(이근영, 2017). 이러한 사례들은 현재의 재난관리 체계가 모든 유형의 자연재해에 대해 충분히 대비하고 있지 않음을 나타낸다. 따라서 보다 체계적이고 통합된 재해 대응전략이 필요하다.

4) 2016년 9월 12일 경주에서 발생한 리히터 규모 5.8의 대한민국 최대 규모의 지진

넷째, 사회적 및 경제적 영향이 증가한다. 자연재해는 단순히 물리적인 피해를 넘어서 사회적, 경제적 파급효과를 초래한다. 예를 들어, 재해로 인해 지역 경제가 마비되거나, 대규모 이재민이 발생할 경우 사회적 불안정이 초래될 수 있다. 또한, 재해 복구에 필요한 막대한 비용은 국가 경제에 큰 부담이 되고 복구를 위한 기간이 길어질수록 피해 지역 경제활동의 제한으로 인해 2차적인 재산 피해도 따르게 된다. 이를 예방하기 위해 자연재해로 인한 피해 최소화를 하기 위한 방재계획에 대한 연구와 자연재난으로부터의 대비가 필수적이다.

1.3 연구 범위 및 방법

본 연구는 대한민국 도시지역에서 발생하는 자연재해에 대한 대응전략을 분석하고 제안하는 것을 목표로 하며, 연구의 범위는 다음과 같다.

첫째, 대상 재해 유형이다. 태풍, 지진, 강풍, 폭염, 한파, 강설 등 대한민국의 도시지역에서 빈번하게 발생하는 자연재해를 중심으로 분석한다. 각 재해가 도시지역에 미치는 영향을 중점적으로 다루며 특히 자연재난 발생이 지속적으로 나타나고 있는 태풍, 가뭄, 폭염, 지진을 중심으로 연구한다.

둘째, 대상 지역이다. 서울, 부산, 대구, 인천, 광주 등 대도시와 중소도시를 포함한 대한민국의 도시지역을 연구 대상으로 설정한다. 이를 통해 다양한 규모와 지형적 특성이 있는 도시에서의 효과적인 자연재난 대응전략을 제안하고자 한다.

셋째, 분석 기간이다. 최근 10년간(2013년~2022년)의 자연재해 발생 현황과 자연재난 피해가 큰 사례를 중심으로 분석을 진행하여 현재 대한민국 도시지역의 자연재난 발생률 및 피해 현황을 분석하고자 한다.

본 연구에서는 대한민국 도시지역에서의 자연재해 대응전략을 체계적으로 분석하기 위해 다음과 같은 연구 방법을 활용한다.

첫째, 문헌을 통한 연구를 진행한다. 문헌 연구는 본 연구의 이론적 기초를 형성하는 핵심 방법론이다. 자연재해 대응에 관한 기존의 학술 논문,

정부 보고서, 국제기구의 자료 등을 체계적으로 수집하고 분석한다. 이를 통해 국내외에서 적용된 자연재해 대응전략의 원칙과 기법을 파악하고, 대한민국의 도시지역에 적용 가능한 이론적 모델을 제안하고자 한다.

또한, 대한민국의 도시지역에서 발생한 주요 자연재해 사례에 대한 기존 연구를 검토하여, 해당 사례들이 어떻게 분석되었고, 어떠한 대응전략이 제안되었는지를 종합적으로 파악한다. 이러한 문헌 연구를 통해 대한민국 도시지역에서의 자연재해 대응전략의 현황과 문제점을 체계적으로 정리할 수 있다.

둘째, 자연재해로 인한 사례를 분석한다. 사례 분석은 문헌 연구에서 도출된 이론적 모델과 실제 발생한 자연재해 간의 연관성을 검토하는 것을 중점으로, 대한민국의 주요 도시에서 발생한 최근 10년간의 자연재해 사례를 선정하여, 해당 재해가 도시지역에 미친 영향을 다각도로 분석하였다.

첫째, 재해 발생 배경 분석이다. 재해 발생 당시의 기후 조건, 지형적 특성, 도시 인프라 상태 등을 분석하여 재해의 발생 원인과 영향을 도출한다.

둘째, 피해 규모와 유형 분석이다. 각 재해로 인한 인명피해, 재산 피해, 인프라 손상 등을 정량적으로 분석하고, 피해 유형을 체계적으로 분류한다.

셋째, 대응전략 평가이다. 재해 발생 후 적용된 대응전략의 효과성을 평가한다. 이에 대한 평가는 재해 대응의 신속성, 피해 감소 효과, 복구 기간 등을 기준으로 이루어진다.

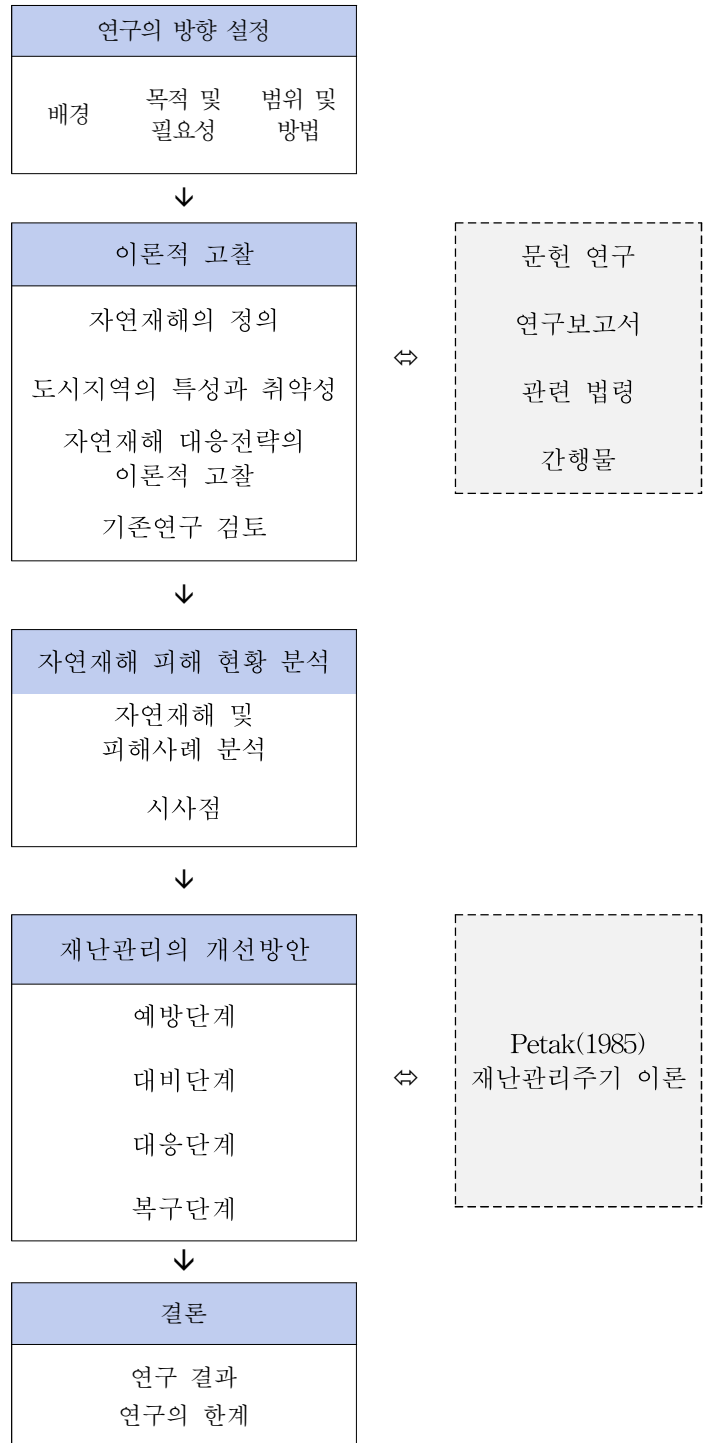
넷째, 성공 사례와 문제점 도출 사례 분석을 통해 성공적인 대응전략과 문제점이 드러난 부분을 식별한다. 이 과정에서 발견된 문제점들은 Petak(1985)의 재난관리 주기이론에 적용하여 향후 대응전략 개선을 위한 기초 자료로 활용한다.

결론적으로, 본 연구는 문헌 연구를 통해 이론적 근거를 마련하고, 사례 분석을 통해 실질적인 대응전략을 검토함으로써 대한민국 도시지역에서의 자연재해 대응전략에 대한 심도 있는 분석을 수행한다. 이러한 방법

론적 접근은 연구 결과의 신뢰성을 높이고, 실질적인 정책 방안에 대하여 제시하고자 한다.

위와 같은 내용을 통해 전체적인 흐름을 나타내면 다음[그림 1-1]과 같이 표현된다.

[그림 1-1] 연구흐름도



II. 이론적 고찰

2.1 자연재해의 정의 및 종류

2.1.1 자연재해(Natural disaster)의 정의

자연재해는 인간의 통제 범위를 벗어난 자연현상으로 인해 발생하는 재해를 의미한다. 자연재해는 지구의 자연적 과정이나 기후변화에 의해 발생하며, 인류의 통제 범위를 벗어나기 때문에 예측이 어렵고 인명피해, 재산피해, 환경파괴 등 피해 규모가 크다는 특징이 있다. 일반적으로 자연재해에는 태풍, 지진, 홍수, 폭설, 가뭄, 산사태, 해일, 화산 폭발 등이 포함된다(서민경, 2020).

우리나라의 법령에서는 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조에서는 태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 대설, 한파, 낙뢰, 가뭄, 폭염, 지진, 황사, 조류 대발생, 화산활동, 자연 우주물체의 추락·충돌, 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해로 규정하고 있으며, 「자연재해대책법」 제1조 태풍, 홍수 등 자연현상으로 인한 재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명·신체 및 재산과 주요 기간시설을 보호하기 위해 자연재해 예방·복구 및 그 외의 대책에 관하여 필요한 사항을 규정하여 자연재해로부터의 방재규정 및 필요한 사항을 지정하고 있으며, 자연재해로 인한 피해가 일정 기준 이상이 되어 국가 및 지자체가 법적으로 대응해야 하는 즉, 자연재해가 사람과 사회에 심각한 영향을 미칠 때 상황을 자연재난이라 정의할 수 있다. 이러한 자연재해와 자연재난은 법적 근거로 볼 때 자연재해는 「자연재해대책법」을 통해 기상청(Korea Meteorological Administration), 환경부(Ministry of Environment)등 관련 기관에서 자연재해의 예보, 실시간 모니터링, 예방대책 등을 수립하여 예방하고 있으며, 자연재난이 발생할 경우 「재난 및 안전 관리 기본법」을 근거로 국가, 지방자치단체, 재난안전본부 등 관련 조직에서 긴급 구조, 복구, 피해

지원 등 자연재난에 대한 대응을 하고 있다.

자연재해는 인류의 활동과 무관하게 발생하는 자연적 현상이지만, 그 영향은 인간사회에 직접적으로 영향을 미친다. 또한, 특정 지역이나 사회의 인프라, 인구 밀도, 대비 상태 등에 따라 그 영향이 달라질 수도 있게 된다. 예를 들어, 동일한 강도의 지진이 발생하더라도, 건축물의 내진 설계 수준이나 지역 주민의 대응 능력 등에 따라 피해 규모는 크게 차이 날 수 있다.

2.1.2 자연재해의 종류

자연재해는 크게 두 가지로 분류되며, 다음과 같다.

첫째, 기상재해(Meteorological Disasters)이다. 기후 및 대기 조건과 관련된 재해로, 가뭄, 황사, 태풍, 폭우, 폭설, 우박, 한파, 폭염 등이 이에 해당된다. 이러한 재해는 주로 기후변화, 대기 중의 불안정한 기류, 해양 온도 변화 등에 의해 발생한다.

둘째, 지질 재해(Geological Disasters)이다. 지구의 지질학적 활동과 관련된 재해로 지진, 화산 폭발, 해일, 눈사태, 산사태, 싱크홀 등이 포함된다. 이러한 재해는 지구 내부의 판 구조 활동이나 지하수 흐름, 지형 변화 등에 의해 발생한다. 위와 같은 자연재해는 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

첫째, 자연에 의해 발생한다. 인간 활동과는 무관하게 발생하는 자연적 현상으로, 인간이 통제할 수 없는 힘으로 발생하며, 주로 지구의 기후, 대기, 지질학적 활동에 의해 발생한다.

둘째, 자연재해는 예측이 어려운 경우가 많다. 21세기 현재에도 과학기술이 발전하여 일부 자연재해는 예측이 가능하지만 그럼에도 여전히 완벽한 예측은 불가능하다. 특히, 지진이나 화산 폭발과 같은 지질 재해는 예측이 매우 어려운 편이다.

셋째, 자연재해는 광범위한 영향력을 가진다. 광범위한 지역으로 영향을 미칠 수 있으며, 이로 인한 피해는 인명, 재산, 환경파괴 등 심각한 결

과를 초래할 수 있다. 인구 밀집 지역에서 발생할 경우 그 피해 규모는 침수, 건물의 무너짐, 화재, 전기누전 등 2차 피해를 가져와 기하급수적으로 커질 수 있다.

자연재해의 정의와 그 특성을 이해하는 것은 재해 발생 시 효과적인 전략을 수립하고, 피해를 최소화하기 위한 첫걸음이다. 특히 대한민국과 같은 고밀도 도시지역에서는 자연재해의 위험성을 사전에 인지하고, 이에 대한 철저한 대비와 대응체계를 마련하여 피해를 최소화하는 것이 중요하다.

2.2 도시지역의 특성과 취약성

도시지역은 인구 밀집도가 높고 건축물, 인프라, 경제 등이 집중되어 있는 지역이다. 이러한 특성으로 인해 도시지역은 자연재해 발생 시 특히 높은 취약성을 보인다. 도시의 구조적, 사회적, 경제적 특성은 자연재해에 대한 노출을 증가시키고, 피해를 복구하는데 더욱 많은 시간과 자원이 필요하게 된다.

2.2.1 도시지역의 주요 특성

도시는 인구 밀도가 매우 높은 지역이다. 대표적으로 대한민국의 수도 서울을 비롯한 수도권 지역, 인천, 대전, 대구, 광주, 부산, 울산과 같은 광역시를 비롯한 여러 도시지역에서는 제한된 공간에 고층 건물들과 많은 사람들이 거주하고 있어, 자연재해 발생 시 인명피해의 위험이 높다(심재현 외, 2012). 예를 들어 대규모 지진이 발생할 경우 건물이 붕괴되거나 화재가 발생할 가능성이 크며, 이로 인한 인명피해는 상당할 수 있다. 도시지역의 대표적인 특성은 크게 다섯 가지로 나뉜다.

첫째, 인구 밀도가 높은 도시는 재해 발생 시 대피 경로 확보와 응급 구조 활동이 어려울 수 있다. 도로를 이용한 교통의 혼잡이나 대피를 위한 피난처가 부족한 경우가 많기 때문에 신속하고 효율적인 대응이 필요

하다.

둘째, 도시지역 내 연결된 복잡한 상호 인프라가 존재한다. 전기, 가스, 수도, 통신망 등이 집중적으로 밀집되어 있어, 자연재해로 인해 이러한 인프라가 손상되면 대규모 정전, 단수, 통신 두절 등의 문제가 발생할 수 있다. 특히, 지하에 매설된 인프라는 지진, 홍수, 산사태 등으로 쉽게 손상될 수 있으며, 복구에 상당한 시간과 비용이 소요될 수 있다. 이로 인해 시민들의 일상생활에 심각한 영향을 끼치고, 경제 활동이 중단될 수 있다. 또한 상시 전력이 유지되어야 하는 병원과 같은 의료 시설에서는 정전이 장기간 지속될 경우 기존의 환자들부터 응급환자가 발생할 경우 즉각적인 대응이 제한되어 더 많은 사상자가 발생할 수도 있다.

셋째, 도시는 고층 건물을 비롯한 다양한 건축물이 밀집되어 있다. 이러한 건축물은 자연재해 발생 시 붕괴, 화재, 파손 등의 위험에 노출이 된다. 내진설계가 충분하지 않은 구형 건축물이나 부실 건축물의 경우 지진 발생 시 큰 피해를 야기할 수 있다. 건축물의 밀집은 지진의 경우에만 피해를 확산시키는 것이 아닌 화재에도 취약하다. 화재가 발생하면 초기 진압이 제한되는 경우 주변으로 급속도로 확산될 가능성이 높고, 소방 활동이 어려워질 수도 있다. 이러한 이유로 도시의 건축물은 자연재해에 대한 취약성이 매우 크다.

넷째, 도시에는 경제활동이 집중되어 있다. 다양한 기업과 산업시설이 위치한 도시의 경우 자연재해로 인해 경제활동이 중단될 경우 국가 경제에도 큰 영향일 미칠 수 있으며 특히, 금융 중심지, 산업 단지, 상업 지구 등이 자연재해로 인하여 심각한 피해를 입을 경우 복구와 정상화에 시간이 걸리며, 이는 곧 경제적 손실로 이어진다.

다섯째, 사회적 취약성이 존재한다. 도시는 다양한 계층의 사람들이 거주하고 있다. 이들 중 자연재해에 대한 대비가 부족한 사회적 약자들도 포함되어 있다. 예를 들어 저소득층, 노인, 장애인 등 재해 발생 시 대피나 복구 과정에서 더 큰 어려움을 겪을 수 있다. 이 외에도 이주민이나 외국인 노동자들은 정보에 대한 접근성이 낮고, 언어적 장벽으로 인하여 재해에 대한 정보를 얻지 못하거나 즉각적인 대처가 어려워 더 큰 피해를

입을 가능성이 높다.

2.2.2 도시지역의 자연재해에 대한 취약성

도시지역에서는 인구밀집이 높아 주거지역이 발달하여 있고, 주변으로는 산업시설들이 밀집되어 있는 주변 경제활동에서 중심지의 역할을 하고 있어 자연재해로 인한 피해가 발생할 경우 시골지역이나 인구 밀집이 낮은 지역에 비해 취약성이 많다. 실제 사례로 살펴보면 2022년 8월 8일 ~ 17일에 전국적으로 발생한 집중호우의 사례만 살펴보다도 서울지역에는 최대 누적강수량이 583mm, 경기 양평에서는 최대 누적강수량이 680mm, 충남 부여에는 최대 누적강수량이 504mm로 많은 양의 강수가 있었고 이로 인한 피해는 서울지역 사유시설 397억 9,300만 원, 공공시설 285억 1,000만 원으로 총 683억 300만 원의 피해가 발생하였고 경기지역은 사유시설 212억 7,100만 원, 공공시설 1263억 7,300만 원으로 총 1,476억 4,400만 원의 피해가 발생, 충남지역의 경우 사유시설 75억 6,000만 원, 공공시설 515억 2,200만 원으로 총 590억 8,200만 원으로 비슷한 강수량이더라도 1,363.1만 명이 거주 중인 경기지역과 938.6만 명이 거주 중인 서울에서의 피해액은 213만 명이 거주 중인 충남지역에 비해 경기도는 약 2.5배, 서울지역은 약 1.2배로 높게 나타나고 있다.

[표 2-1] 피해지역 기상관측 결과(8.8 ~ 8.17)

지역	누적강수량(mm)
서울 동작	583.0
경기 양평	680.2
충남 부여	504.3

(출처) 2022재해연보, p.96 재구성

[표 2-2] 피해지역 피해액 현황(8.8 ~ 8.17)

(단위 : 백만원)

시·도	피해액		
	계	사유시설	공공시설
서울	68,303	39,793	28,510
경기	147,644	21,271	126,373
충남	59,082	7,560	51,522

(출처) 2022재해연보, p.99 재구성

[표 1-1]과 [표 1-2]와 같은 단순한 피해액의 수치로만 보더라도 비교적 도시화 발달이 많이 되어있고 많은 인구가 거주 중인 서울·경기권이 타 지역에 비해 비슷한 자연재해로 인한 재난이 발생하여도 더 큰 피해를 불러오게 된다는 것은 한눈에 알 수 있다.

우리나라는 도시지역에 인구 중 91.7%가 거주하는 비교적 높은 도시화가 이루어진 국가이다. 그리고 우리나라는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 단일체계로 국토 전체를 관리 및 계획하고 있다. 즉, 우리나라에서는 국토 전반을 도시 계획적으로 관리하고 있는 것으로 이에 따라 도시특성 요소는 행정구역상의 도시에만 국한되는 것이 아니라 도시 이외에 지역에서도 일정 부분 해당되는 사항이라고 할 수 있다(서만훈 외, 2016).

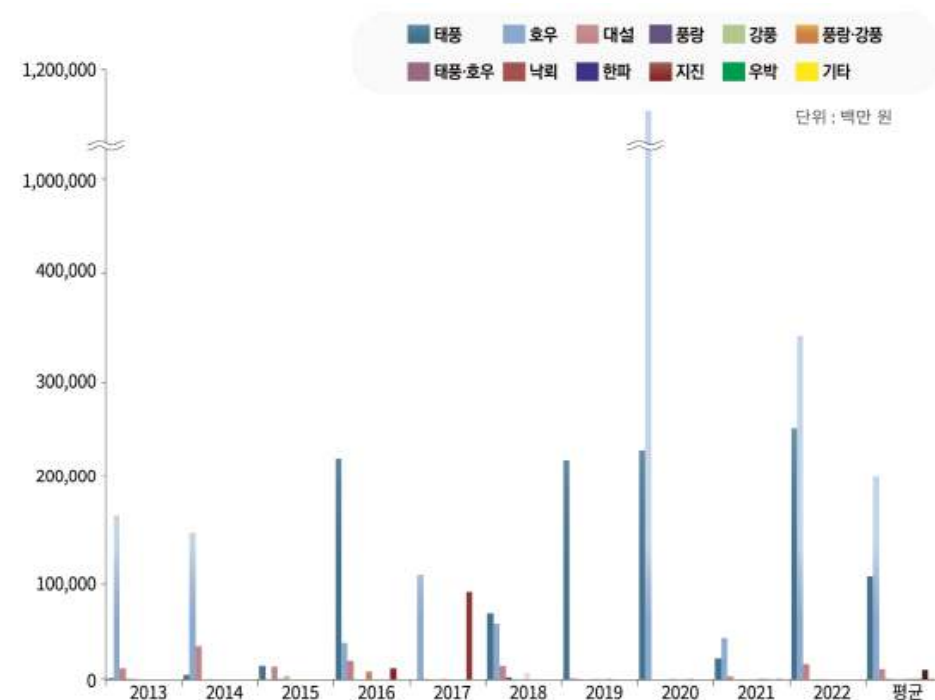
첫 번째로 재해 대응의 복잡성이다. 도시지역은 고밀도 인구와 복잡한 인프라로 인해 재해 대응이 매우 복잡해질 수 있다. 재해 발생 시 대규모 대피가 필요할 수 있으며, 이는 교통 혼잡과 인명피해를 초래할 수 있다. 또한, 도시의 인프라는 상호 연결되어 있어, 어느 한 부분에서의 손상이 다른 인프라의 부분으로도 확산이 될 수 있다. 예를 들어, 전력망이 손상되면 교통 신호체계가 마비되거나, 통신 두절로 인해 재난 경보가 적시에 발령되지 않아 정보 전달에 어려움이 있고, 많은 인파에 대한 군중 통제가 어려워질 수 있다.

두 번째는 피해복구의 어려움이다. 도시의 밀집된 구조와 복잡한 인프라

는 피해 복구를 어렵게 만든다. 예를 들어, 지진으로 인한 붕괴된 건축물을 복구하는데 오랜 시간이 소요될 수 있으며, 도로 파손으로 인해 복구 작업이 지연될 수 있다. 경제 활동의 중심지인 도시에서의 피해복구가 지연되면, 경제적으로도 지속적인 손실이 생기고 이는 곧 지역경제뿐만 아니라 크게는 국가 경제에도 큰 타격을 입힐 수 있다.

아래 [그림 2-1]과 [표 2-3]과 같이 최근 10년(2013~2022) 간의 자연재해로 인한 피해 금액 또한 약 3조 1,945억 원으로 국가 시설 및 기업 또는 다양한 분야에서 피해가 나타나고 있다.

[그림 2-1] 최근 10년간 원인별 피해액 현황



(출처) 행정안전부. 2022 재해연보. p19.

최근 10년간 피해액을 표현한 그래프로 보아도 태풍 및 호우로 인한 피해액이 매년 높은 수치로 기록되고 있으며, 특히 2020년에는 7월 28일 ~ 8월 11일 기간 집중호우에 이어서 전국에 산발적인 잦은 호우로 인해 지반 내 함수량이 포화상태에서 태풍 마이삭과 하이선이 연이어 오면서

호우와 강풍의 피해가 가중되었다. 또한, 앞선 집중호우로 인해 피해를 입은 하천·도로·산림 등 복구작업을 하는 도중 연이은 태풍으로 피해가 더욱 가중되었으며 강한 풍랑으로 인해 항만 등 공공시설에 대한 피해가 극심해서 피해액은 기하급수적으로 늘어나게 되었다.

[표 2-3] 최근 10년간 원인별 피해액 현황

단위 : 백만원

구분	2013	2014	2015	2016	2017	합계
태풍	1,690	5,291	13,404	214,965	-	235,350
호우	158,130	142,210	1,213	35,888	101,592	439,033
대설	11,341	32,421	13,020	18,689	83	75,554
풍랑	44	-	333	-	-	377
강풍	932	95	3,891	-	-	4,918
풍랑·강풍	-	-	-	8,302	605	8,907
태풍·호우	-	-	-	-	-	0
낙뢰	-	-	-	-	-	0
한파	-	-	-	-	-	0
지진	-	-	-	11,020	85,022	96,042
우박	-	-	-	-	-	0
기타	미산정					0
합계	172,138	180,019	31,863	288,862	187,302	860,184
구분	2018	2019	2020	2021	2022	합계
태풍	64,200	212,778	222,541	21,086	244,046	764,651
호우	53,801	1,651	1,095,171	40,646	332,559	1,523,828
대설	14,032	671	-	3,527	15,439	33,669
풍랑	2,823	-	-	-	-	2,823
강풍	7	7	-	445	26	485
풍랑·강풍	-	474	319	-	585	1,378
태풍·호우	6,416	-	-	-	-	6,416
낙뢰	-	26	-	52	-	78
한파	-	-	145	280	-	425
지진	-	-	-	-	-	0
우박	-	-	-	16	-	16
기타	7	618	-	-	-	625
합계	141,285	216,226	1,318,176	66,053	592,656	2,334,396

※각 당해연도 가격 기준

(출처) 행정안전부. 2022 재해연보. p19.

세 번째는 2차 피해의 가능성이 높다. 도시지역의 지하에는 수도관, 오수관, 가스관, 전기시설 등 다양한 편의를 위한 시설관로들이 설치되어 있

다. 이러한 관로들이 지진으로 인해 파손될 경우 가스폭발, 합선으로 인한 화재발생이나 홍수 발생 시 오수관이 넘치게 되면 오염물이 흘러나와 전염병의 확산으로도 이어질 수 있다.

이러한 2차 피해는 재해 대응과 복구 작업을 더욱 복잡하고 심화되게 만들고, 피해 규모를 확대시킬 수 있다.

마지막은 사회적 불평등이 심화된다. 자연재해로 인해 침수피해나 화재, 지진 등으로 직접적으로 피해를 입게 되었을 때 비교적 저지대에 위치한 지역이나 반지하에 위치한 곳에서는 직접적인 침수피해에 더욱 취약하고 화재, 지진이 발생하였을 때도 방재시스템에 대한 유무성이나, 조기 안전 설계, 내진설계로 인하여 상대적으로 더욱 보호를 받을 수 있지만 그렇지 않은 건물에 대해서는 같은 규모의 재해로도 다른 규모의 피해가 일어날 수 있게 된다.

도시는 자연재해로부터의 피해, 특히 태풍, 풍수해로 인한 피해에 매우 취약한 구조적 약점을 포함하고 있다. 자연상태의 지세와 지형을 인위적으로 변화시키고, 인공적인 구조물로 건축되어 있으며, 많은 사람들이 비교적 좁은 지역에 밀집하여 거주하고 있기 때문에 동일한 강도의 자연재해라 하여도 자연상태의 지형상태보다 더 많은 피해가 발생하게 된다. 이러한 이유로 도시를 계획할 때 있어 방재부문이 중요하게 다루어지고 있고, 도시기본 계획에서 의무적으로 수록해야 할 내용이기도 하다(서만훈 외, 2016). 도시지역의 위와 같은 특성과 취약성을 고려할 때, 자연재해에 대비하여 철저한 계획과 대응이 필요하다. 특히, 도시별 지형과 주변 환경을 고려하여 해당 도시의 특성에 맞는 맞춤형 재해 대응전략이 중요하며, 이를 통해 재해 발생 시 피해를 최소화하고, 신속한 복구가 가능하도록 해야 한다.

2.3 자연재해 대응전략의 이론적 고찰

자연재해 대응전략은 도시의 안전을 보장하고 재해로 인한 피해를 최

소화하기 위해 중요한 역할을 한다. 이 전략은 다양한 이론적 관점에서 연구되었으며, 그중에서도 재난관리주기 이론, 위험관리 이론, 회복탄력성 이론, 취약성 이론이 대표적이다. 이러한 이론적 배경을 바탕으로 자연재해에 대한 효과적인 대응전략을 구축할 수 있게 된다.

2.3.1 재난관리 주기 이론(Disaster Management Cycle Theory)

Petak(1985)이 주장한 재난관리주기 이론은 재난 대응의 전 과정을 사전 예방부터 복구까지 하나의 순환 주기로 보고, 각 단계에서 필요한 대응전략을 체계적으로 설명하는 이론으로 총 네 단계로 구성된다.

첫째, 사전 예방(Mitigation)

사전 예방단계는 재해가 발생하기 전에 그 위험을 최소화하기 위한 조치를 마련하는 것을 목표로 하며, 이 단계에서의 전략은 자연재해로 인한 피해를 줄이는데 중점을 둔다.

도시지역에서 사전 예방 전략은 내진설계, 방재 인프라 강화, 하천 정비와 같은 물리적 인프라 보강뿐만 아니라, 재해 위험 지역의 개발 제한, 건축물의 안전 규정 강화 등 정책적 조치도 포함하고 있다.

둘째, 대비(Preparedness)

대비단계에서는 재해 발생에 대비해 대응 계획을 수립하고, 시민과 정부 기관의 준비태세를 강화한다. 이를 위해 비상 대피 계획 수립, 응급 구조 훈련, 시민 교육, 재난 경보시스템 구축 등이 포함된다.

특히, 도시지역에서 중요한 대비 전략은 인구 밀도가 높기 때문에 대피 경로와 대피소 마련이 필수적이다. 또한, 비상 상황에서 통신 체계를 유지하고 인프라 손상을 최소화하기 위한 대응 시나리오가 준비되어야 한다.

셋째, 대응(Response)

대응단계는 재해 발생 직후 즉각적으로 피해를 줄이기 위한 활동을 포함한다. 비상 구조 활동, 구호물자 지원, 인명 구조 등이 핵심이며, 재난 상황에서의 신속한 의사결정 지원과 자원 동원이 중요하다.

도시지역에서는 빠른 구조 활동과 교통망 복구, 공공 서비스 재개가 우선 과제가 되며, 피해 최소화를 위한 정확한 정보 전달이 필수적이다.

넷째, 복구(Recovery)

복구단계는 재해로 인한 피해를 복구하고, 재해 발생 이전 상태 및 상황으로 회복하는 것을 목표로 한다. 단기 복구와 장기 복구로 나뉘며, 단기 복구는 생존과 안전을 보장하는데 중점을 두게 되며, 장기 복구는 경제적, 사회적, 물리적 회복에 초점을 맞춘다.

도시지역에서 복구는 특히 건축물 재건, 인프라 복구, 경제 활동의 재개와 관련이 깊다. 재해로 손상된 건축물이나 공공시설을 복구하는데 시간이 소요되며, 사회적 취약계층의 복구 지원도 중요하다.

재난관리 주기이론의 주요 특징은 순환적 과정이라는 점으로, 즉 복구가 완료되면 다시 사전 예방으로 돌아가 미래 재난에 대비하는 단계로 이어지며, 이를 통해 재난관리 시스템이 지속적으로 개선되어야 한다. 이 주기가 반복적이면서도 유연하게 적용될 수 있어, 재난의 종류나 지역의 특성에 맞게 각 단계가 조정되어야 한다(신희영 외, 2022).

2.3.2 위험관리 이론(Risk Management Theory)

Kaplan(2012)이 주장한 위험관리 이론은 자연재해와 같은 재해에 대한 위험을 평가하고, 이에 따라 위험을 최소화하기 위한 예방 조치를 마련하는 이론이다. 이 이론은 위험 인지, 평가, 관리의 3가지 단계로 나누어진다.

첫째, 위험 인지(Risk Identification)이다. 위험 인지 단계에서는 자연재해가 발생할 수 있는 가능성과 잠재적인 위험 요소를 파악한다. 이는 과거 재해 기록, 기후변화 경향, 지리적 특성 등을 고려하여 이루어진다.

도시지역에서는 지진, 태풍, 홍수 등 각 지역에서 발생할 수 있는 자연재해를 면밀히 분석하여, 이에 맞는 위험요소를 사전에 파악하는 것이 중요하다.

둘째, 위험 평가(Risk Assessment)이다. 위험평가 단계에서는 인지된

위험이 실제로 발생할 가능성과 그로 인한 피해 규모를 분석한다. 위험평가의 목표는 어떤 재해가 얼마나 큰 영향을 미칠 것인지 예측하고, 이에 대한 우선순위를 정하는 것이다. 도시지역에서의 위험평가는 인구 밀도, 건축물 구조, 인프라 취약성 등을 고려하여 재해 발생 시 예상되는 피해를 전략적으로 평가하는 것을 포함한다.

셋째, 위험관리(Risk management)이다. 위험관리 단계는 평가된 위험에 대해 적절한 대응책을 마련하는 단계이다. 이는 사전 예방 조치, 재해 대비 훈련, 복구 계획 수립 등의 실질적인 조치를 포함한다.

도시지역에서 위험관리 전략은 인프라의 내구성 강화, 긴급 대응체계 구축, 재난 경보시스템 개발 등과 같은 실질적인 준비 활동을 포함한다.

즉, 예방 가능한 위험은 내부 통제 시스템과 규정 준수를 통해 최소화할 수 있으며, 위험을 사전에 차단하는 것이 가장 효과적이며, 전략적 위험은 이를 관리할 때는 혁신을 촉진하면서도 위험을 줄이는 방안을 찾아야 한다. 리스크를 완전히 피하는 것이 아니라 감수할 수 있는 위험과 감수하지 못하는 위험을 구분하는 것이 중요하다.

외부적 위험은 완전히 예측하거나 통제할 수 없기 때문에 위험에 대한 시나리오 계획, 대체 전략 수립, 보험 등의 방안을 통해 인프라나 재산에 대한 충격을 완화하고, 비상 대응 시스템을 강화하는 것이 필요하다.

2.3.3 회복탄력성 이론(Resilience Theory)

회복탄력성 이론은 자연재해 발생 후 사회나 시스템이 어떻게 신속하게 회복하고, 이전 상태로 복귀하거나 더 나은 상태로 전환할 수 있는지에 대한 것이 중점이다. 탄력성은 주로 재난 후의 회복 능력을 의미하며, 도시지역에서의 회복 탄력성은 특히 재난 대응평가에서 중요하다.

첫째, 도시 인프라의 회복력(Urban Infrastructure Resilience)

도시 인프라가 재해 후 얼마나 빨리 복구될 수 있는지는 도시의 회복력을 평가하는 중요한 요소이다. 도로, 전기, 수도 등의 주요 인프라가 빠르게 복구되지 않으면 경제활동과 사회 기능이 마비될 수 있다.

둘째, 사회적 탄력성(Social Resilience)

도시의 사회적 구조 역시 자연재해로부터 회복할 수 있는 능력을 나타낸다. 특히, 사회적 약자나 취약계층에 대한 복구 지원과, 시민들이 공동체로서 재해에 대응하는 협력 수준이 중요하다.

셋째, 경제적 탄력성(Economic Resilience)

재해로 인해 경제적 피해를 입은 도시가 얼마나 빠르게 경제적 기능을 회복하고, 도시 내의 기업과 산업이 정상화가 될 수 있는지가 탄력성의 중요한 측면이다.

회복 탄력성 이론에 대해 Alexander(2013)는 재해로부터의 위험 감소의 핵심 요소로서 물리적, 사회적, 경제적 시스템에서 중요한 역할을 한다고 강조하였으며 재해로부터의 대응과 복구에 있어 탄력성은 단순한 복구를 넘어 더 나은 상태로의 회복(Building Back Better) 개념과 연결되기도 한다. 이는 즉 단순히 재해로 인한 피해 이전 상태로의 복구뿐 아니라 재해를 계기로 더 나은 준비와 대응체계를 구축하는 것을 목표로 해야 한다고 주장했다(이대웅, 2021).

2.3.4 취약성 이론(Vulnerability Theory)

취약성 이론은 특정 지역이나 해당 지역에 거주하는 인구가 자연재해에 얼마나 취약한지를 분석하는 이론이다. 특히, 도시지역에서 취약성은 여러 요인에 따라 달라지며, 이에 따른 맞춤형 대응전략이 필요하다.

첫째, 인프라 취약성(Infrastructure Vulnerability)

노후화된 건물이나 시설, 또는 내진 설계가 미흡한 건축물은 지진 등 자연재해에 매우 취약하다. 도시지역에서 인프라의 취약성은 자연재해 발생 시 피해 규모를 증폭시키는 주요 원인 중 하나로 작용한다.

둘째, 사회적 취약성(Social Vulnerability)

사회적 계층에 따른 불평등으로 인해 저소득층, 노인, 장애인 등은 자연재해에 대해 더 큰 취약성을 보이며 이러한 계층을 위한 별도의 보호 조치와 대응전략이 요구된다.

셋째, 경제적 취약성(Economic Vulnerability)

경제적으로 불안정한 지역은 자연재해 이후 경제적 어려움으로 인해 복구에 어려움이 있고, 재난 이후 경제적 회복이 더디며, 이로 인해 위기를 더욱 심화시킬 가능성이 크다. 도시지역에서 경제적 취약성을 줄이기 위한 전략도 중요한 요소로 작용된다.

Adger(2006)은 자연재해가 사회와 환경에 미치는 영향을 효과적으로 줄이기 위해서는 취약성을 줄이는 전략이 필요하다고 주장하였으며, 이를 위해 기후변화 대응 정책, 재난대비 시스템, 사회적 안전망 등이 종합적으로 작동해야 하며, 특히 취약계층에 대한 지원이 강화되어야 한다고 주장했다. 이를 통해 자연재해로부터의 피해를 줄이고, 재난 후의 복구 과정에서 사회적 불평등을 완화하기 위해 각 사회계층에 고르게 적용되어야 한다고 강조했다(이미연, 2015).

자연재해 대응전략은 각 도시의 구조적, 사회적 특성을 고려하여 다양한 이론적 틀에서 연구되고 발전되었다. 재난관리 주기이론, 위험관리 이론, 회복탄력성 이론, 취약성 이론을 바탕으로 우리나라의 주요 대도시를 비롯한 소규모 도시에서도 적용이 가능한 각 지역의 특성에 맞는 맞춤형 전략을 개발함으로써, 재해 발생 시 피해를 최소화하고 신속한 복구를 위한 기반을 마련할 수 있게 된다.

2.4 선행연구 검토

자연재해 대응전략과 관련된 다양한 기존연구와 사례들을 통해 이론적 기틀을 확립하고, 도시지역에서의 실제 대응전략이 어떻게 적용되었는지를 분석하는 중요한 부분이다. 기존 연구되었던 문헌들을 검토하고, 여러 도시에서 실시된 자연재해 대응 사례들을 구체적으로 살펴보며 자연재해 대응전략의 효과성과 한계에 대해 살펴보고자 한다.

2.4.1 선행연구 고찰

선행연구 고찰은 자연재해 대응 전략에 대한 여러 학문적 시각과 분석을 통해 다양한 접근 방식에 대한 이론적 토대를 검토한다. 특히, 도시지역의 특성과 맞물린 재해 대응전략이 어떻게 진화해 왔는지를 이해하는데 중점을 둔다.

재난관리 주기에 대해 예방, 대비, 대응, 복구의 4단계로 이루어져 있으며, 각 단계에서 이루어지는 활동이 상호 연관되어 있다. 여러 연구에서는 이 주기의 모델을 사용하여 도시지역의 자연재해 대응전략이 각 단계에서 어떻게 적용되는지를 분석하고 있다. 예방단계에서는 주로 건축물 내진 설계, 재해 위험 지역에 대한 개발 제한, 재해 위험 지대의 지리적 분석 등과 같은 선제적 조치가 강조되고 있다. Coppola(2011)는 지역에서 이러한 예방 조치들이 효과적으로 이루어지지 않으면 재해로 인한 재난 발생 시 대규모 피해가 발생할 수 있음을 지적하였다(엄영호 외, 2017).

Perry(2003)는 사전대비 단계에서 효과적인 재해로부터의 피해를 예방하기 위해서는 도시지역에서 정부기관 및 유관기관 간의 협력이 재해재난 대응에 중요한 역할을 한다고 주장하였다(박충건, 2008).

Adger(2006)의 취약성이론에 따르면, 재해재난의 피해는 그 자체보다는 해당 지역사회의 경제적, 사회적, 환경적 취약성에 의해 결정된다. 즉, 재해재난 대응의 효과는 각 도시의 사회적, 경제적 조건에 따라 달라질 수 있다.(서민경, 2020).

사회적 불평등과 인프라 부족이 재해재난 대응의 효과를 저하시킨다고 주장하며, 이를 통해 도시 내에서 취약계층에 대한 대응전략의 중요성을 강조하고 도시지역의 복잡한 사회적 구조가 재난 시 취약성의 심화를 초래할 수 있다고 분석하였다(김강민 외, 2024).

Cutter(2003)는 사회적 취약성과 환경적 위험 간의 관계를 연구하며, 특히 도시지역의 특정 인구가 자연재해에 더 큰 영향을 받을 수 있다는 점을 강조하였으며, 이는 자연재해 대응 전략 수립 시 취약계층에 대한 추가 대책이 필요함을 시사한다(박윤경 외, 2016).

우리나라의 재난관리 단계별 예방, 대비, 복구 단계별로 정기적인 재난

대비 훈련실시 및 행동강령 지침마련, 대비단계에서는 재난정보 공유를 위한 유기적인 협조 도모 및 재해방지법 체계적 활용, 복구단계에서는 유관기관들의 연계를 통한 신속한 피해조사 및 구호와 복구 활동을 실시하여 2차 피해를 줄여야 한다는 것을 강조하였다(박만수, 2013).

최근 이상기후와 함께 폭설에 대한 발생 빈도가 증가하는 추세로, 이에 대한 방재대책이 시급하며 이를 위해 실시간 모니터링을 강화하고, 위험요소를 최소화해야 한다. 또한, 자원봉사활동을 활성화하여 시민의 자율참여를 유도해 빠른 대응 및 복구가 이루어지도록 해야 한다고 주장했다(박소연 외, 2012).

수도권의 도시들을 지형적 취약성, 비도시성, 재해 예방능력 등을 기준으로 4개의 유형으로 나누어 각 도시의 유형별로 차별화된 재해 대응방안을 제시하며, 광역적 차원의 연계된 대응체계 구축의 중요성을 강조하였다(심재현 외, 2012).

재해재난의 통합관리 체계구축을 위한 조직 개편을 실시하고, 체계적인 재난 D/B 구축 및 분석을 통한 재해 유형별 행동요령 개발을 통해 공무원, 주민 및 민간단체 등에 인터넷, 방송 등의 홍보매체를 통해 제공해 재해로부터 적절한 행동을 취할 수 있도록 하며, 민간의 자율방재 역량을 강화하고 재난 예방을 위한 시민들의 방재교육이 보장되어야 한다고 강조하였다(김동호, 2008).

공간시차모형을 통해 도출해 낸 통계를 통해 자연재해를 증가시키는 산지 등에 지정된 녹지지역을 대상으로 자연재해에 어떠한 요소가 취약한지에 관한 조사와 분석이 필요하고, 이를 통해 사전에 자연재해 예방을 위한 취약점을 분석하고 보완을 위한 예산 확보 및 방재 시설들에 대한 시설 방재 효과를 증대시킬 수 있는 방안에 대한 학술적 및 기술적 연구가 필요하다고 주장하였다(서만훈 외, 2016).

태풍 루사와 우면산 산사태의 경우 동일한 자연재난임에도 태풍 ‘루사’의 경우 대응과정에서 부족한 요소가 많았지만, 자연재난은 인간의 능력으로 감당하기에는 불가항력적이라는 인식의 공감대 형성으로 긍정적인 인식이 높았던 것에 비해 우면산 산사태는 적절한 시기에 대응과정을 실

행하여 피해를 최소화하였음에도 복구 이후 과정에서 찬반 갈등이 심화되어 부정적인 인식이 높게 나타났듯 재난관리의 시스템은 각각의 구체적인 사건마다 다른 시스템으로 적용되어야 한다고 주장하였다(문병현, 2016).

재난관리의 예방단계는 사회와 지역 인구의 건강, 복지, 안전에 대한 위험이 있는지 사전에 살펴보고 재난발생의 가능성을 미리 낮추는 프로그램 단계이며, 대비단계는 재난의 발생 이전에 예방단계를 거쳤음에도 불구하고 재난 발생이 높을 경우 재난사태 발생에 대한 대응능력을 유지시키는 과정이며, 대응단계는 재난의 발생 전·중·후에 인명을 구하고, 재산 피해를 최소화하며 이후의 복구과정에서 효과성을 증진시키기 위한 과정이다. 마지막 복구단계는 재난이 발생하여 지난 후 원래의 상태로 회복을 위한 모든 노력을 의미한다고 재난관리의 단계를 정의하였다(이성수, 2011).

재난 리질리언스의 강화와 발전을 위해서는 재난관리단계(예방, 대비, 대응, 복구) 별 적절한 리질리언스 역량을 갖춰야 하므로, 재난 발생 전 예방단계에서는 충분한 대체 자원 및 예비수단을 사전에 파악하고 준비하여 기능을 유지하기 위한 가의성을 확보하여야 하고, 대비단계에서는 기반시설의 유지보수 등 위험 감소를 위해 지속적인 모니터링 체계를 구축하여 내구성을 강화시키며, 대응단계에서는 재난 발생 시 신속하게 재난 상황을 알리기 위한 체계의 도입을 통해 신속성을 강화하고, 사전에 준비된 자원을 적절하게 사용하는 자원동원력이 있어야 한다고 주장하였다(홍선회, 2022).

Petak(1985)은 재난관리가 행정이나 행정학의 중심적인 활동이 되어야 하며, 재난관리의 단계를 예방, 대비, 대응, 복구로 구분하여 4단계로 정의하였다. 재난관리에 대한 지역사회, 정부 간, 기타 이해 관계자의 책임과 역할을 강조하고, 재난관리에 대한 과학적 지식, 공학적 접근보다 재난관리를 수행하는 조직 간 관계 및 정치의 복잡성을 이해하는 것이 재난을 예방하기 위해서는 매우 중요하다고 지적했다(송기종, 2014).

Ⅲ. 도시지역 자연재해 피해 현황 분석

3.1 자연재해 현황 및 피해사례 분석

우리나라에서는 다양한 자연재해를 겪고 있으며, 특히 도시지역에서의 자연재해 대응은 인구 밀집과 복잡한 도시의 인프라로 인해 더욱 복잡해지는 추세를 보인다. 최근 우리나라에서 발생한 주요 자연재해 중 태풍, 가뭄, 폭염, 지진에 대한 분석과 큰 피해를 입힌 사례를 중심으로 피해 대응 과정을 분석한다.

3.1.1 태풍

태풍이란 국지적 난기류를 동반하는 적란운의 한 종류로서, 북서태평양의 열대 지역에서 해수면 온도가 26.5°C 이상인 따뜻한 해류에서 증발한 수증기가 상승기류로 인한 압박을 강하게 받았을 때 발생하는 열대저기압이 발달하는 것으로 세계기상기구(World Meteorological Organization)는 열대저기압 중에서도 중심 부분의 최대풍속 33m/s 이상인 것을 태풍(TYphoon)으로, $25\sim 32\text{m/s}$ 인 것을 강한 열대폭풍(Severe Tropical Storm), $17\sim 24\text{m/s}$ 인 것을 열대폭풍(Tropical Storm), 17m/s 미만인 것을 열대저압부(Tropical Depression)로 구분한다. 우리나라에서는 중심 부근의 최대 풍속이 10분간 평균 17.2m/s 이상에 도달하는 기상 현상을 태풍이라 하며, 17.2m/s 미만인 것은 열대저압부로 구분하며 정리한 내용은 아래의 [표 3-1]과 같다.

[표 3-1] 태풍과 열대저압부의 구분

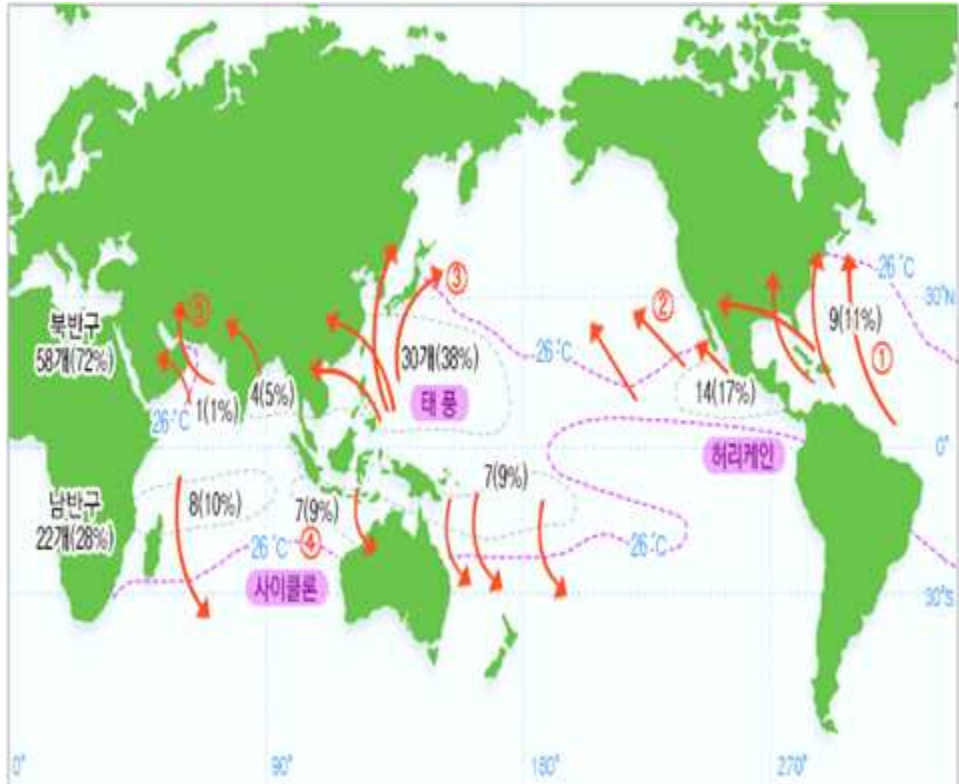
중심부분 최대풍속	대한민국	세계기상기구(WMO)
17m/s미만 (34kt미만)	열대저압부 (TD : Tropical Depression)	열대저압부 (TD : Tropical Depression)
17m/s ~ 24m/s (34~47kt)	태풍(TY : Typhoon)	열대폭풍(TS : Tropical Storm)
25m/s ~ 32m/s (48~63kt)		강한 열대폭풍 (STS : Severe Tropical Storm)
33m/s이상 (64kt이상)		태풍(TY : Typhoon)

※1m/s ≒ 1.94kt

(출처) 기상청

이러한 열대저기압은 지역에 따라 북중미에서는 허리케인(Hurricane)으로, 인도양에서는 사이클론(Cyclone)으로, 북서태평양에서는 태풍(Typhoon)으로 불리며 일반적으로 태풍이 발생하기 위해서는 공기의 소용돌이가 필요해 적도 부근인 남북위 5°이내인 적도부근에서는 거의 발생하지 않으며 남북위 5°이상에서 발생한다. 통상적으로 우리나라에 주로 영향을 미치는 태풍은 7~10월 사이에 발생하고 있다. 태풍이 주로 발생하는 지역으로는 북대서양, 북태평양, 인도양, 벵골만과 아라비아해가 있으며 그림으로 나타내면 아래 [그림 3-1]과 같다.

[그림 3-1] 태풍이 주로 발생하는 지역



(출처) 기상청

1번 북대서양 서부, 서인도제도 부근과 2번 북태평양 동부, 멕시코 앞 바다에서는 허리케인이, 3번 북태평양의 동경 180°의 서쪽에서 남중국해에서는 태풍, 4번 인도양 남부(마다가스카르에서 동경 90°까지, 오스트레일리아 북서부)와 5번 벵골만과 아라비아해에서는 사이클론이 발생하며 1, 2, 3번 지역은 7월~10월에 많이 발생하며, 4, 5번 지역은 4~6월 그리고 9~12월에 많이 발생하고 있으며 태풍의 발생에서부터 소멸까지 1주일에서 1개월 정도의 수명을 갖고 있다. 태풍은 강한 폭풍과 집중호우로 인해 수목이 꺾이거나 뽑히고, 건물의 무너짐이나 부착된 시설물의 낙하, 전신주의 전도로 인해 전선이나 통신선의 단절로 통신두절 및 정전이 발생하기도 하며 강한 폭우로 인해 하천이 범람하게 되는 등 많은 피해가 발생하게 된다.

우리나라 기상청에서 구분하는 태풍의 강도는 17m/s이상부터 25m/s 미만을 약 등급으로, 25m/s이상부터 33m/s미만을 중 등급으로, 33m/s이상부터 44m/s미만을 강 등급으로, 44m/s이상부터 54m/s미만은 매우 강 등급, 54m/s이상은 초강력 등급으로 분류하고, 태풍의 크기는 강풍반경을 기준으로 구분하였으나, 2020년 5월 15일 이후부터는 기상청에서 제공하는 태풍정보서비스의 개선에 따라 강풍반경과 폭풍반경에 대한 정보를 제공하고 있으며. 강풍반경이란, 태풍 중심에서부터 풍속 15m/s 이상 바람이 부는 반경을 뜻하며. 폭풍반경이란, 태풍 중심에서부터 풍속 25m/s 이상 바람이 부는 반경을 의미한다. 태풍의 크기는 강풍반경 기준 300km 미만을 소형, 300km 이상부터 500km 미만을 중형, 500km 이상부터 800km 미만을 대형, 800km 이상을 초대형으로 구분한다. 태풍의 크기와 강도의 구분을 표로 정리하면 아래의 [표 3-2]과 [표 3-3]와 같다.

[표 3-2] 태풍의 강도 구분

구분	최대풍속
약	17m/s(34kt, 61km/h) 이상 ~ 25m/s(48kt, 90km/h) 미만
중	25m/s(48kt, 90km/h) 이상 ~ 33m/s(64kt, 119km/h) 미만
강	33m/s(64kt, 119km/h) 이상 ~ 44m/s(85kt, 158km/h) 미만
매우강	44m/s(85kt, 158km/h) 이상 ~ 54m/s(105kt, 194km/h) 미만
초강력	54m/s(105kt, 194km/h) 이상

(출처) 기상청

[표 3-3] 태풍의 크기 구분

강풍반경(풍속 15m/s 이상의 반경)	단계
300km 미만	소형(Small)
300km 이상~500km 미만	중형(Medium)
500km 이상~800km 미만	대형(Large)
800km 이상	초대형(Extra-large)

(출처) 기상청

특히 태풍은 기후변화와 직접적인 영향이 있다. 최근 연구에서 지속적으로 주장하고 있는 지구 온난화로 인해 해수면 온도(Sea surface Temperature)가 상승하면서 더욱 강력한 태풍이 발생할 가능성이 크며, 해수면 온도가 1℃ 상승하면 태풍의 최대 풍속은 약 5~10% 증가할 가능성이 있다. 또한 대기의 온도가 상승하면 대기 중 수증기 함량이 높아지며 이는 곧 강수량의 증가로 이어져 호우의 피해 강도가 높아지게 되며 해수면의 상승으로 인해 해일에 의한 피해도 더욱 증가된다.

우리나라에 영향을 준 태풍의 현황으로는 최근 10년(2014년 ~ 2023년) 동안 2014년 23개, 2015년 27개, 2016년 26개, 2017년 27개, 2018년 29개, 2019년 29개 2020년 23개, 2021년 22개, 2022년 25개, 2023년 17개로 평균 24.8개의 태풍이 발생하고 있으며 월별로는 7월 평균 3.9개, 8월 평균 5.2개, 9월 평균 4.8개 10월 평균 3.6개로 7월~10월에 가장 높게 발생하고 있으며 특히 8월~9월에 우리나라에 발생하고 있는 태풍으로 인한 피해가 평균적으로 가장 큰 피해를 입히고 있다. 우리나라에 영향을 준 태풍의 현황을 각 연도와 월별로 나누어 표로 정리하면 아래의 [표 3-4]과 같다.

[표 3-4] 최근 10년(2014년~2023년) 우리나라에 영향을 준 태풍 현황

연도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
2014	2	1	-	2	-	2	5	1	5	2	1	2	23
2015	1	1	2	1	2	2	4	3	5	4	1	1	27
2016	-	-	-	-	-	-	4	7	7	4	3	1	26
2017	-	-	-	1	-	1	8	5	4	3	3	2	27
2018	1	1	1	-	-	4	5	9	4	1	3	-	29
2019	1	1	-	-	-	1	4	5	6	4	6	1	29
2020	-	-	-	-	1	1	-	7	4	7	2	1	23
2021	-	1	-	1	1	2	3	4	4	4	1	1	22
2022	-	-	-	2	-	1	3	5	7	5	1	1	25
2023	-	-	-	1	1	1	3	6	2	2	-	1	17
평균	0.5	0.5	0.3	0.8	0.5	1.5	3.9	5.2	4.8	3.6	2.1	1.1	248

(출처) 기상청, 연도별 태풍발생 및 우리나라에 영향을 준 태풍현황 재구성

이 중 우리나라에 큰 영향을 끼친 태풍은 2016년 차바의 경우 2,149억 6,500만 원의 재산피해와 6714명의 이재민이 발생하였고, 6명이 사망하거나 실종되었으며 2018년에는 태풍 프라피룬, 솔릭, 콩레이 3개의 연이은 태풍으로 각 태풍별로 피해지역은 달랐지만 총 706억 1,600만 원의 재산피해와 2,430명의 이재민이 발생하였고 3명이 사망하거나 실종하였다. 2019년에는 태풍 링링, 미탁으로 인해 2011억 100만 원의 재산피해와 6,064명의 이재민이 발생, 17명이 사망하거나 실종하였으며, 2020년에는 태풍 마이삭과 하이선의 연이은 발생으로 2,214억 1,900만 원의 재산피해와 2,203명의 이재민이 발생, 2명이 사망하거나 실종되었다. 가장 최근인 2022년에는 태풍 힌남노로 2,127억 7,800만 원의 재산피해와

10,528명의 이재민이 발생하였으며, 11명이 사망하거나 실종되었다. 이를 표로 정리하게 되면 다음의 [표 3-5]와 같다.

[표 3-5] 우리나라에 영향을 미친 주요 태풍현황(2016~2022)

태풍명	중심 최저기압 (hPa)	발생기간	이재민 (명)	사망· 실종 (명)	재산피해 (백만 원)	피해지역
CHABA (차바)	930	'16.9.28. ~10.6	6,714	6	214,965	부산, 인천, 울산, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주
PRAPIRO ON (프라피론)	975	'18.6.29. ~7.4.	20	1	6,416	전국(서울, 대구, 인천, 광주, 세종 제외)
SOULIK (솔릭)	950	'18.8.16. ~8.25	29	-	9,251	강원, 전북, 전남, 북, 경남, 제주
KONG-RE Y (콩레이)	920	'18.9.29. ~10.7	2,381	2	54,949	전국(서울, 인천, 세종, 경기 제외)
LINGLING (링링)	940	'19.9.2.~ 9.8.	454	3	33,396	전국(부산, 대구 제외)
MITAG (미탁)	965	'19.9.28. ~10.3	5,519	14	167,705	전국(서울, 인천, 대전, 세종 제외)
MAYSAK (마이삭)	935	'20.8.28. ~9.3.	2,203	2	221,419	전국
HAISHEN (하이선)	915	20.9.1.~9 .7.				
HINNAMN OR (힌남노)	915	'22.8.28. ~9.6.	10,528	11	212,778	전국

(출처) 2022 재해연보 p.473 재구성

최근 큰 피해를 입힌 태풍의 사례를 자세히 살펴보면 2020년 태풍 마이삭과 하이선이 8월과 9월에 연이어 강타하였으며, 주로 부산, 울산, 경북 지역에 심각한 피해를 입혔다. 이 태풍들은 최대 시속 64km/h의 강한 바람과 폭우를 동반해 강원, 충청, 경북, 동해안 중심의 도시 내 인프라(전신주, 가로등, 가로수 등)와 주거지역에 큰 피해를 주었다. 이로 인해 전력망이 피해를 입어 전력공급에 차질이 생기고, 해안가 지역에서는 침수피해가 발생하였으며, 건물의 파손되는 경우도 생겼다.

이로 인한 피해 규모는 약 369,753 가구⁵⁾가 정전 피해를 입었고, 어

항·항만 143개소, 도로·교량 342개소, 하천·소하천 620개소 산사태 283개 등 이로 인한 경제적 피해는 17개 시·도, 174개 시·군·구를 포함해 약 2,000억 원에 달하였고, 복구비용에는 약 6,000억 원이 투입되었다.

피해가 더욱 극심하게 된 주요 요인으로는 해안지역에 설치된 방파제 등 방재 시설이 강풍과 해일에 충분한 방재역할을 하지 못하여 경주 감포항에서는 월파로 인한 주택 및 상가 침수(17동)가 발생하였고, 7~8월의 집중호우와 겹쳐진 지속적인 폭우로 인하여 지속 복구 중이던 하천·도로·산림의 피해 가중 및 시속 100km가 넘는 강풍으로 인한 전신주가 전도되어 전력 복구 작업이 지연되었다. 이로 인해 도로에 설치된 교통시설이 마비되며 교통망이 마비되었고, 긴급구조 및 구호 작업에 큰 어려움을 겪게 되었다. 태풍 마이삭과 하이선으로 인한 피해 현황은 아래[표 3-6], [표 3-7]와 같다.

[표 3-6] 태풍 마이삭, 하이선으로 인한 사유시설 피해 현황

시설별		피해 내역	
		물량	피해액(백만 원)
합계		-	23,415
인명	사망(명)	2	-
	부상(명)	10	-
주택	전파(동)	24	1,008
	반파(동)	204	4,284
	침수(동)	813	732
농경지	전·답(ha)	184.65	3,442
선박(척)	-	170	754
축사·잠사(동)	-	266	1,441
수산물양식(개소)	-	318	3,881
어망·어구(통)	-	402	62
비닐하우스(ha)	-	47.62	4,180
기타(개소)	-	19,942	3,631

(출처) 행정안전부. (2021). 2020재해연보 p.132

5) (마이삭, 294,169세대), 울산, 부산 110,429, 대구 63,073, 경북 26,210 등
(하이선, 75,584 세대), 울산 17,760, 대구 42,697, 부산 7,568, 경북 6,361 등

[표 3-7] 태풍 마이삭, 하이선으로 인한 공공시설 피해 현황

시설별	피해 내역	
	피해액 (백만 원)	물량 (개소)
합계	198,004	14,655
도로·교량	26,375	342
하천	18,846	270
소하천	10,406	350
상하수도	3,568	53
어항	31,240	123
항만	31,952	20
사방·임도	24,856	447
군시설	1,958	30
수리시설	4,397	194
소규모시설	11,790	694
기타(철도 등)	32,616	12,132

(출처) 행정안전부. (2021). 2020재해연보 p.132

사유시설의 피해에는 인명, 주택, 농경지, 선박, 축사, 어망, 비닐하우스 등이 포함되어 있으며 특히, 주택과 비닐하우스 등 침수되기 쉽거나 비교적 강풍에 약한 시설에서의 피해가 큰 것으로 나타났다. 사유시설의 피해액만 하더라도 234억 1,500만 원으로 집계되었고 이는 단순한 사유시설에 대한 피해금액만 산출한 것으로 부가적인 피해액은 기하급수적을 늘어날 수 있다. 공공시설의 피해에는 도로, 교량, 하천, 상하수도, 어항, 항만, 임도, 군 시설 및 소규모 시설 등이 포함되어 있으며 특히, 바다 근처에 인접한 항만과 어항, 도로 등에서 큰 피해가 나타났으며 공공시설의 총피해액은 1,980억 400만 원으로 이를 복구하기 위한 인력, 복구자재의 비용으로 인해 피해복구를 위한 비용은 더욱 늘어날 수밖에 없다.

3.1.2 가뭄

가뭄은 장기간에 걸쳐 강수량이 부족하여 물 공급이 제한되는 현상으로, 주로 경제적, 환경적 등에 피해가 생기며 특히 우리나라는 가뭄에 의한 농업에 대한 피해가 크게 나타난다. 가뭄은 크게 기상학적, 농업적, 수문학적, 사회경제적 가뭄 등으로 4가지로 분류되며, 행정안전부에서 총괄하여 관리하고 있다.

기상학적 가뭄(Meteorological Drought)은 일정 기간 동안 강수량이나 무강수 지속일 수 등으로 정의하고 있으며 기상현상의 영향을 직접적으로 표현하는 가뭄으로 우리나라에서는 기상 가뭄의 정도를 판단하기 위해 표준강수지수(Standardized Precipitation Index)를 이용하여 기준을 분류하는 가뭄으로 기상청에서 가뭄 예·경보 및 단계 발령, 가뭄현황 분석 등을 담당하여 관리하고 있다.

농업적 가뭄(Agricultural Drought)은 농업에 직접적으로 영향을 주는 가뭄으로, 기상학적 가뭄과는 다르게 농작물 생육에 직접 관계되는 토양 내의 토양수분 지수와 농작물에 대한 피해 정도를 기준으로 분류하는 가뭄으로 농림축산식품부에서 담당하여 농업용수의 관리 및 통제, 농업물의 성장에 관한 연구 및 대응 등을 관리하고 있다.

수문학적 가뭄(Hydrological Drought)은 하천, 저수지, 댐 등의 수자원 상태가 부족한 경우를 말하며, 물 공급에 초점을 맞추어 하천 유량, 저수지나 댐의 저수율, 지하수 수준 등 가용 수자원의 양을 기준으로 분류하는 가뭄으로 환경부에서 하천정비 및 저수지 및 댐의 수자원 수용량 조절 등을 담당하여 관리하고 있다.

사회경제적 가뭄(Socio-economic Drought)은 위 세 가지의 측면의 가뭄을 모두 고려하여 넓은 범위를 가진 가뭄의 정의로서, 물의 수요와 공급을 관련시키는 정의이다. 경제적 손실과 사회적 영향이 발생하는 상태를 의미하며, 물 공급의 차질, 생활용수 제한, 산업이나 농업 생산 감소 등의 영향을 기준으로 분류하는 가뭄으로 행정안전부에서 총괄적으로 관리하고 있다.

우리나라의 대표적인 가뭄 사례를 살펴보면 2015년 전국적으로 168일간, 특히 중부지방에서는 217일간 가뭄이 지속되었으며 2022년에는 전국적으로 156.8일 남부지방에서는 우리나라 1974년 기상관측이 시작된 이후 최장 일수로 기록된 227일간 가뭄이 이어졌으며 중부지방의 가뭄지속 일수인 81.7일에 비해 약 3배 정도가 차이나는 가뭄이 이어졌다. 이러한 역대 기록이 발생하게 된 배경으로는 2021년 겨울철과 2022년 5월의 적은 강수량으로 인해 5월 말에는 전국 165개의 각 시·군에 기상가뭄이 발생하게 되었으며 이러한 가뭄 현상은 6월 하순부터 중부지방에 집중된 강수로 인해 서울, 경기, 강원 지역의 기상가뭄이 해소되었으며, 8월에 집중강수로 충북과 충남지역은 해소가 되었지만 상대적으로 강수가 적었던 남부지방의 기상가뭄은 12월까지 지속되었다. 기상관측 이후 역대 기상 가뭄 발생일수 순위를 정리하면 아래 [표 3-8]과 같다.

[표 3-8] 역대(1974년 이후) 기상가뭄 발생일수 순위(167개 시·군)

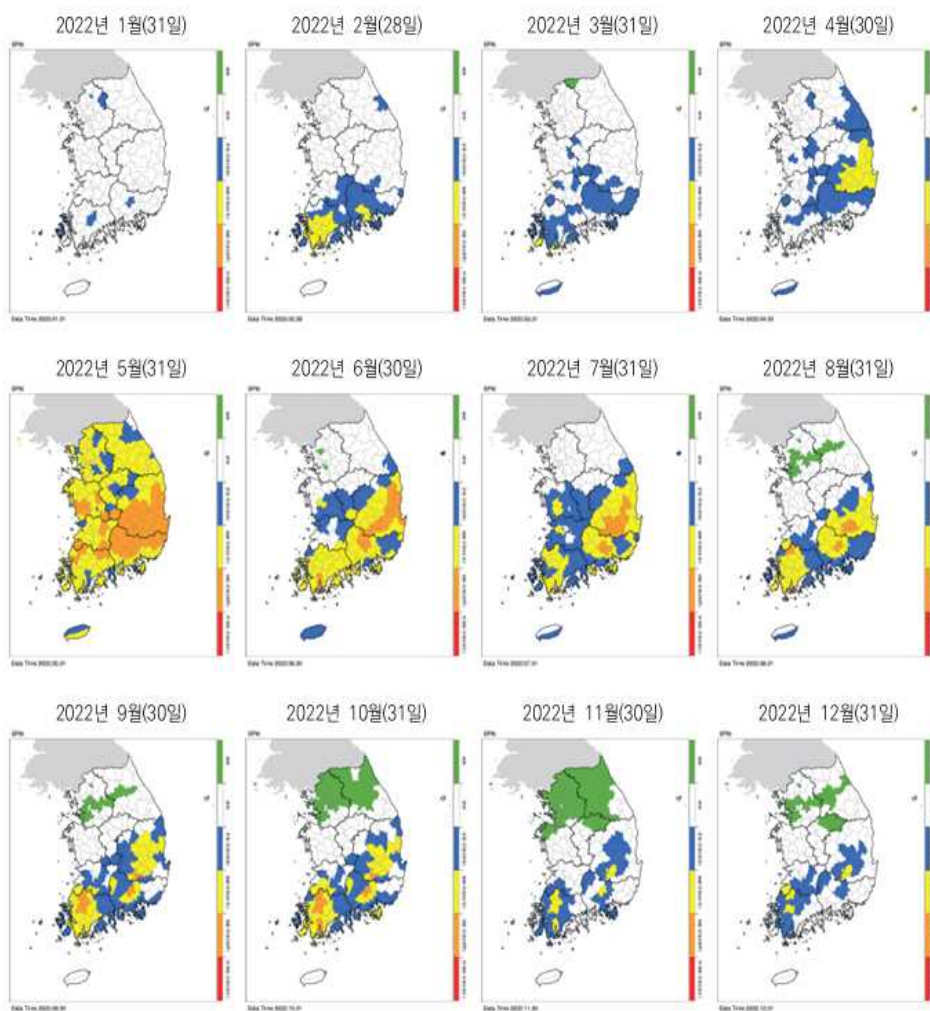
순위	중부지방		남부지방		전국	
	연도	일수	연도	일수	연도	일수
1위	2015	217.1	2022	227.3	2015	168.2
2위	2014	185.4	2017	162.3	2022	156.8
3위	2019	183.0	2008	152.0	2017	134.9
4위	2001	148.4	1994	138.4	1982	133.1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
11위	2022	81.7	1995	109.4	1988	99.2

(출처) 행정안전부, 2022재해연보, p.62

중부지방의 경우 2015년 1위를 기록한 이후 2014년, 2019년 가장 최근인 2022년까지 11위에 기록될 정도로 최근 들어 기후변화로 인한 가뭄 현상은 더욱 긴 기간에 걸쳐 나타나고 있다. 남부지방의 경우 상위 1~3위가 2000년대 이후로 1990년대에 비해 가뭄일 수가 현재 늘어나고 최장일수인 227.3일을 기록할 정도로 심각해진 문제라는 것을 시사한다. 전국적으로도 1~3위가 각 2015년, 2022년, 2017년인 만큼 가뭄이 추후

에는 더욱 길어지고 이로 인한 피해가 늘어날 것이라는 것은 충분한 유추가 되는 만큼 가뭄에 대한 대비와 가뭄 발생 시 물 부족으로 인한 피해를 예방하기 위한 대책이 시급한 상황이다.

[그림 3-2] 2022년 기상가뭄 현황(매월 마지막날 기준)



(출처) 기상청, 2022재해연보 P.63

2022년의 기상가뭄의 현황을 나타낸 [그림 3-2]을 보면 2월부터 남부지방에서 시작된 가뭄은 3월부터 중부지방으로 확대되며 5월에는 전국적으로 심각한 가뭄현상을 보였으며 특히, 남부지방에는 심각한 기상가뭄이 발생하였으며 6월에는 서울, 경기, 강원권의 가뭄이 해소되고, 점차 8

월 이후부터는 가뭄의 단계가 낮아지는 것을 한눈에 볼 수 있다.

남부지방의 기상가뭄이 유난히 길었던 원인으로는 봄철 이동성고기압의 영향으로 인해 맑은 날이 많아 강수량의 부족으로 인해 전국적으로 극심한 기상가뭄이 발생하였고, 여름철(7~9월)에는 북태평양고기압이 평년에 비해 북서쪽으로 확장하면서, 중부지방에는 고기압의 가장자리를 따라서 발달한 정체전선과 저기압 영향을 자주 받으며 많은 비가 내려 가뭄이 해소되었다. 반면 남부지방은 고기압권 영향으로 인해 강수량이 적고 맑은 날이 지속되었다. 이러한 영향으로 남부지방의 여름철 적은 강수량은 기상가뭄이 12월 말까지 이어져 227.3일간 이어지게 된 기상가뭄이 발생한 원인이 되었다.

이러한 기상가뭄으로 인한 피해는 2015년에는 소양강댐 수위가 1978년 이후 최저 수위인 152.24m를 기록하고 소양호는 바닥이 들어 날 정도로 주요 댐들의 저수율이 급격히 감소했으며, 특히 서울, 경기, 충청 지역에서 수자원 공급에 심각한 차질이 발생하였다.

농업지역에서는 특히 농작물 피해가 컸으며, 도심지에서는 제한적인 수돗물 공급과 물 사용 규제 등이 시행되었으며, 피해는 농업용수와 생활용수 공급이 일부 제한되었고, 가뭄이 극심한 일부 지역에서는 비상급수체계가 가동되기도 하며 특히, 농업지역에서의 피해가 집중되어 농작물의 가격상승을 초래하여 가계 생활비 안정에 큰 불안감을 주었고 생활용수 부족으로 시민들의 일상생활에도 큰 불편을 초래하게 되었다.

이러한 피해의 주요 원인으로는 장기적인 가뭄에 대한 대비가 부족하였고, 물 자원 관리시스템에 대한 한계점이 드러났다.

가뭄에 대응하기 위해 2020년 5월 26일 「물관리기본법」이 제정되었고 제20조⁶⁾에 따라 대통령직속으로 “국가물관리위원회”를 구성하여 “국가물관리기본계획”을 시행 중이다. 주요 가뭄과 관련된 내용으로는 물 재해 안전체계를 구축하여 가뭄·홍수 등으로 인해 국민의 재산과 생명이 침해

6) 「물관리기본법」 제20조(국가물관리위원회 및 유역관리위원회의 설치 등) ① 물관리에 관한 중요 사항을 심의·의결하기 위하여 대통령 소속으로 국가물관리위원회를 두고, 국가물관리위원회에 유역별로 유역물관리위원회를 둔다. ② 유역물관리위원회의 명칭·위치 및 관할 구역은 대통령령으로 정한다.

받는 상황인 ‘물 재해’를 기후변화에 따른 미래 불확실성에 대해 고려하고, 예상 피해 규모, 피해 지역 등을 고려한 선택과 집중관리를 통해 2030년까지 겪어보지 못한 가뭄·홍수가 오더라도 국민들의 피해를 최소화하는 것을 목표로 국가 차원의 분야별 가뭄정보에 대한 공유·통합 체계를 구축하고, 가뭄 예·경보의 정확성을 높이기 위해 평가방법을 개발하고, 정부 및 자치단체의 가뭄에 대한 대비·대응 등 가뭄에 대한 관리 제도 개선을 추진하고 있다.

3.1.3 폭염

폭염이란 장기간 동안 비정상적으로 높아지는 기상현상을 말하며, 여름철 높은 기온으로 인해 발생하게 된다. 우리나라에서는 일 최고기온이 33℃ 이상일 때 폭염으로, 밤(18:01 ~ 다음 날 09:00) 기준 최저기온이 25℃ 이상인 날을 열대야로 규정하고 있으며, 일 최고기온 33℃ 이상 상태가 2일 이상 이어질 것으로 예상되면 폭염주의보를, 일 최고기온이 35℃ 이상 상태가 2일 이상 이어질 것으로 예상되면 폭염경보를 폭염특보로 발령하고 있다.

높은 온도와 습도로 인해 인체에 온열손상 및 열사병, 열탈진 등의 질환을 유발하며 특히 어린이, 노인, 만성질환자 등은 폭염에 특히 취약하다. 농업에서도 농작물의 생장을 높은 기온으로 인해 방해하고 이는 곧 농작물의 생산량 감소와 품질 저하로도 이어지게 된다. 특히 여름철 많은 생장을 이루며 우리나라의 주식으로 이용되는 쌀을 포함한 옥수수, 밀 등 주요 작물들은 열에 민감하여 폭염이 장기간 지속되면 식량안보에도 큰 위협이 될 수 있다.

폭염의 주요 원인으로는 기후변화로 인한 고기압의 형성으로 대기가 하강하면서 공기가 압축되고, 온도가 상승하게 되며 고기압은 맑은 기상을 형성하여 햇빛이 더욱 강하게 지면으로 도달하게 되며 지표면의 온도가 상승하게 된다. 또 다른 원인으로는 도시지역의 열섬 현상(Urban Heat Island Effect)으로 도시화로 인한 녹지 감소와 도시에서 주로 사용

되는 건축자재인 아스팔트나 콘크리트는 열 특성이나 표면 반사도 측면에서 자연상태와 큰 차이를 보이고, 높은 고층 빌딩 등으로 인해 햇빛을 반사하고 흡수하는 면적이 증가하면서 바람을 막아 대류현상에 따른 냉각화도 막게 된다.

우리나라의 주요 폭염사례를 살펴보면 2018년 여름, 우리나라에서는 6월 ~ 8월 동안 전국적으로 평균기온은 1973년 이후로 가장 높았고, 일 최저기온과 일 최고기온은 두 번째로 높았다. 이로 인해 전국적으로 지속되는 무더위가 계속되면서 낮에는 폭염이 전국 평균 31.4일(평년 9.8일) 간 지속되었으며 광주에서는 7월 12일부터 8월 16일까지 36일간 지속되었으며, 밤에는 전국 평균 17.7일(평년 5.1일) 간 제주에서는 7월 19일에서 8월 15일까지 28일간 열대야 현상이 일어나게 되며 1973년 기상관측 이후 역대 폭염과 열대야 일수를 기록하게 되었다. 역대 폭염 및 열대야 일수 순위를 정리하면 아래의 [표 3-9]과 같다.

[표 3-9] 여름철 전국 폭염 및 열대야 일수 순위 현황(1973년 이후)

순위	전국			
	폭염 일수		열대야 일수	
1위	31.4	2018년	17.7	2018년
2위	29.7	1994년	17.4	1994년
3위	22.4	2016년	15.8	2013년
4위	18.2	2013년	12.0	2010년
5위	17.0	1990년	10.8	2016년

(출처) 행정안전부. (2019). 2018 재해연보 p.54

홍천에서는 8월 1일에 41.0℃를 기록하며 이전 기록인 대구에서 기록된 전국 역대 1위인 40.0℃를 경신하며 1907년 10월 1일 기상관측을 시작한 이래 우리나라에서 가장 높은 기온을 기록하였다.

서울에서는 같은 날인 8월 1일 39.6℃를 기록하며 서울에서의 종전 기록인 1994년 7월 24일 기록한 38.4℃를 뛰어넘으며 1907년 10월 1일 기상관측을 시작한 이래 111년 동안 가장 높은 기온을 기록하였다.

또한, 같은 해 최저기온 또한 2018년 8월 2일에 30.3℃를 기록하면서 열대야의 기록 또한 경신하였다. 우리나라의 기상관측 이후 2018년도 여

름에 최고기온과 최저기온 극값 경신 주요 도시는 아래 [표 3-10]과 [표 3-11]로 나타났다.

[표 3-10] 기상관측 시작 이래 최고기온 극값 경신 주요지점

관측 지점	관측 개시일	1위		2위		3위	
		일자	기온 (°C)	일자	기온 (°C)	일자	기온 (°C)
홍천	1971.09.27.	2018.08.01.	41.0	2018.08.02.	39.2	2018.08.03.	39.0
서울	1907.10.01.	2018.08.01.	39.6	1994.07.24.	38.4	2018.07.31.	38.3
춘천	1966.01.01.	2018.08.01.	39.5	2018.08.03.	38.5	2018.08.02.	38.4
수원	1966.01.01.	2018.08.01.	39.3	2018.08.15.	39.2	2018.08.02.	38.1
대전	1969.01.01	2018.08.15.	39.4	2018.08.01.	38.9	2018.08.22.	38.7

(출처) 행정안전부. (2019). 2018재해연보 p.53

[표 3-11] 기상관측 시작 이래 최저기온 극값 경신 주요지점

관측 지점	관측 개시일	1위		2위		3위	
		일자	기온 (°C)	일자	기온 (°C)	일자	기온 (°C)
서울	1907.10.01.	2018.08.02.	30.3	2018.08.03.	30.0	2018.07.23.	29.2
인천	1904.08.29.	2018.08.02.	29.1	2018.08.03.	28.9	2018.08.14.	28.5
홍천	1971.09.27.	2018.08.03.	26.9	2018.07.25.	26.5	2018.07.28.	26.3
대구	1907.01.31.	2018.08.05.	28.6	2018.07.27.	28.6	2013.08.08.	28.2
포항	1943.01.01.	2018.08.05.	29.3	2013.08.09	29.3	2013.08.08.	29.1

(출처) 행정안전부. (2019). 2018재해연보 p.54

여름철 최저기온의 경우에도 서울, 인천, 홍천, 대구, 포항에서는 역대 급 최저기온을 기록하게 되며 서울, 인천, 홍천에서는 2018년에만 기상관측 시작 이후 역대 1위, 2위, 3위의 기록을 경신하면서 극심함 폭염이었던 한 해로 기록하게 되었다.

이러한 극심한 폭염으로 온열질환자는 4,526명 온열질환으로 인한 사망자는 48명으로 2011년부터 시작된 온열질환 감시체제 시행 이후 가장 많은 온열질환으로 인한 사상자가 발생하게 되었다. 2011년 온열질환 감

시체제가 시행된 이후 폭염으로 인한 인명피해 현황은 아래의 [표 3-12]와 같다.

[표 3-12] 2011년 이후 폭염 인명피해 현황

(단위 : 명)

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
온열질환 사망자	6	15	14	1	11	17	11	48
온열질환자	443	984	1,189	556	1,056	2,125	1,574	4,526

(출처) 행정안전부. (2019). 2018 재해연보 p.154

2011년에는 443명의 온열질환자가 발생한 이후 2012년에는 984명, 2013년에는 1,189명으로 증가세를 보이다 2014년에는 평년보다 낮은 여름철 온도로 인해 잠시 감소세를 보이더니 2015년 1,056명을 시작으로 2016년에는 2,125명, 2017년에는 1,574명, 2018년에는 가장 많은 4,526명으로 온열질환자가 지속적으로 증가하는 추세를 보이며 온열질환으로 인한 사망자도 2018년에는 48명으로 평년보다 약 4배 이상에 달하는 사망자가 발생하게 되었다.

이에 따라 정부에서는 2018년 9월 18일에 「재난 및 안전관리 기본법」을 개정하면서 폭염을 자연재난에 포함하여 재난을 관리하기로 결정하였으며, 재난으로 포함됨에 따라 인명 피해자에 대한 재난지원금을 지급하고 이후 폭염 발생 시 재난문자 발송 등 폭염 경보체계를 강화한 후 공공 냉방 시설 확충, 취약계층 보호 대책 등의 대책을 마련하고 강화하였다. 하지만 지속되는 기후변화로 인해 서울시 기준으로 최근 10년(2012 ~ 2021년) 동안 여름철 평균기온은 25.49℃로 100여 년(1920 ~ 1929년) 전 평균기온인 23.88℃보다 약 1.61℃상승하였으며, IPCC 제5차 보고서에 따르면 서울시의 일 최고기온은 34.5℃에서 5.2℃ 상승할 것으로 전망되었다, 이는 즉 향후에 서울 평균 일 최고기온이 40℃에 다다르게 되는 것을 의미한다.(서은정, 2024) 더욱 높아진 온도와 길어지는 폭염과 열대야현상에 대비하기 위해서는 더욱 효과적인 대비대책이 필

요하다.

3.1.4 지진

지진(Earthquake)이란 지구 암석권 내부에서 에너지 방출로 인해 지진파를 만들어내며 지각이 갑작스럽게 흔들리는 현상을 의미한다. 대부분의 지진은 단층 파열로 인해 일어나며 그 외에도 화산 활동이나 산사태, 큰 규모의 폭발등으로 인해서도 일어나게 된다. 우리나라 기상청에서는 이러한 지진에 대해 모멘트 규모(Moment Magnitude, Mw)를 사용하여 지진의 규모를 측정하고 있으며 이러한 모멘트 규모는 지진이 발생한 단층의 미끄러짐 정도와 면적, 지반의 강성 등을 고려하여 계산하여 큰 규모의 지진에서도 정확한 측정이 가능하다. 국내에 약 338개의 지진 관측소가 설치되어 운영하고 있으며 이러한 관측소들은 실시간으로 지진 데이터를 수집하고 분석을 실시한다.

우리나라에서는 매년 진도 2.0 이상의 지진이 최근 10년간(2013년 ~ 2022년) 총 1,079회의 지진이 관측되었으며, 규모 5.0 이상의 지진은 1978년 기상관측 이후 10회가 관측이 되었다. 이러한 지진 횟수만 보더라도 우리나라는 지진으로부터의 안전지대는 아니며 최근 10년간의 연도별 최대 규모 지진도 최소 규모 3.8에서 최대 규모 5.8까지 심각한 피해를 초래하는 강력한 지진이 일어나고 있다. 자세한 내용은 아래의 [표 3-13]과 같다.

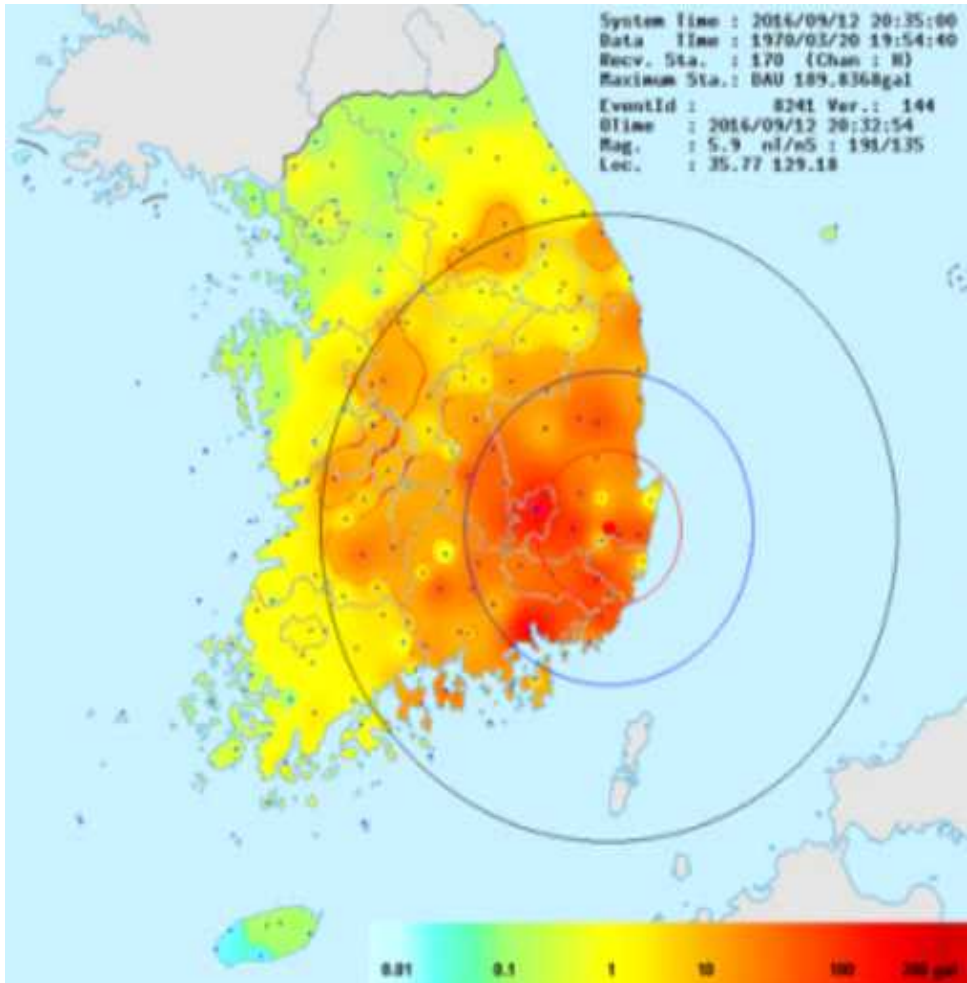
[표 3-13] 최근 10년간 연도별 최대 규모 지진 발생 현황

연도	규모	날짜	지역
2022	4.1	10. 29.	충북 괴산군 북동쪽 11km 지역
2021	4.9	12. 14.	제주 서귀포시 서남서쪽 41km 해역
2020	3.8	5. 11.	북한 강원 평강 북북서쪽 32km 지역
2019	4.3	4. 19.	강원 동해시 북동쪽 54km 해역
2018	4.6	2. 11.	경북 포항시 북구 북서쪽 5km 지역
2017	5.4	11. 15.	경북 포항시 북구 북쪽 8km 지역
2016	5.8	9. 12.	경북 경주시 남남서쪽 8.7km 지역
2015	3.9	12. 22.	전북 익산시 북쪽 8km 지역
2014	5.1	4. 1.	충남 태안군 서격렬비도 서북서쪽 100km 해역
2013	4.9	4. 21 5. 18	전남 신안군 북서쪽 101km 해역 인천 백령도 남쪽 31km 해역

(출처) 행정안전부. (2024). 2022 재해연보 p. 77

2016년 9월 12일에 발생하였던 경주 지진은 우리나라 관측 이후 최대 규모의 지진으로, 경주를 중심으로 인근 지역인 대구, 부산, 울산, 창원까지 피해가 일어났다. 지진으로 인한 규모를 표현한 내용은 아래의 [그림 3-3]과 같다.

[그림 3-3] 2016년 경북 경주지진(본진)



(출처) 행정안전부. (2017). 2016 재해연보 p.125

규모 5.8의 본진을 포함하여 경주 지진은 전진, 본진, 여진을 포함해 총 9월 26일까지 이어졌으며 횡수만 총 434회의 지진이 관측되며 지역의 주민들은 여진에 대한 공포로 한동안 일상생활을 유지하는데 큰 어려움을 겪었다.

풍수해(태풍, 폭우 등)와 달리 지진으로 인한 흔들림으로 주택 등 구조물에 대한 피해가 집중되었으며, 기둥이나 벽체 등 주요 구조물에 대한 피해가 발생하였다.

특히 경북 경주시는 많은 불국사 다보탑, 첨성대 등 문화재 시설이 위치하고 있어 문화재에 대한 피해가 59건이고, 경주시에서만 사유시설 3,489개소, 공공시설 5,795개소가 피해를 입었으며 경북, 부산, 울산 등 지역에서는 4,297개의 사유시설 및 6,723개의 공공시설에 대한 피해가 발생하였다. 이로 인한 재산피해는 약 1,100억 원이 발생하였으며 54세대의 111명 규모의 이재민이 발생하였다. 주요 피해현황은 아래의 [표 3-14], [표 3-15], [표 3-16], [그림 3-4]과 같다.

[표 3-14] 2016 경주 지진 사유시설 피해현황

(단위 : 백만 원)

시설별		단위	피해내역	
			피해액	물량
계		-	4,297	-
주택	전파/반파	동	930	54(8/46)
	소파	동	3,366	5,610
농경지 유실		ha	1	0.01

(출처) 행정안전부. (2017). 2016 재해연보 p.147

사유시설의 경우 주택 8개 동 전파, 46개 동 반파로 9억 3,000만 원의 재산피해가 발생하였고, 5,610동이 일부 무너짐이나, 균열 등으로 인해 33억 6,600만 원의 재산피해가 발생하였다. 공공시설의 경우 문화재 시설 66개소가 균열이 생기거나 뒤틀림이 발생하여 50억 7,500만 원의 피해와 도로 및 수리시설에 대한 피해 6개소 1억 4,800만 원, 군사시설 및 소규모시설 5개소 7,100만 원, 소하천 등 기타 지역 총 127개소에 무너짐이나, 매몰 등으로 인하여 14억 2,900만 원의 피해가 발생하였다.

[표 3-15] 2016 경주 지진 공공시설 피해현황

(단위 : 백만 원)

시설별	단위	피해내역	
		피해액	물량
계	개소	6,723	204
문화재시설	개소	5,075	66
도로·수리시설	개소	148	6
군사·소규모시설	개소	71	5
소하천 등 기타	개소	1,429	127

(출처) 행정안전부. (2017). 2016 재해연보 p.147

[표 3-16] 2016 경주 지진 시·도별 피해현황

(단위 : 백만 원)

시도	시군구	피해액		
		계	공공시설	사유시설
합계	17	11,020	6,723	4,297
부산	7	62	-	62
울산	4	695	-	695
충북	1	1	-	1
전남	1	1	-	1
경북	3	10,244	6,723	3,521
경남	1	17	-	17

(출처) 행정안전부. (2017). 2016 재해연보 p.147

가장 피해가 큰 경북지역을 제외하고도 워낙 큰 규모의 지진으로 인해 부산, 울산, 충북, 전남, 경남에 까지 지진에 대한 피해를 입게 되었으며 가장 인근지역인 울산에서는 6억 9,500만 원, 부산에서는 6,200만 원의 재산피해가 발생하였다.

[그림 3-4] 2016 경주 지진으로 인한 불국사 벽면 균열



(출처) 행정안전부. (2017). 2016 재해연보 p.9

지진으로 인한 피해가 증가하게 된 주요 원인으로는 당시 경주지역 내 많은 건축물이 내진설계가 내진설계 기준을 충족하지 못하여 지진에 취약한 상태에서 지진이 발생하였고 이로 인한 취약성은 적나라하게 드러났다. 또한, 지진 발생 시 거주민들에 대한 대처요령에 대한 교육과 지진에 대한 대응체계가 미비하였다.

3.2 시사점

자연재해로 인한 피해사례 중 태풍, 가뭄, 폭염, 지진의 사례만 하더라도 이들의 피해는 나날이 증가하고 도시의 발달과 도시 인프라가 발달하면서 피해는 점점 증가하는 추세를 보이고 있다.

기후변화로 인해 해수면의 온도가 상승하면서 이전보다 더욱 강력한

강도의 태풍이 빈번하게 발생하고 있으며, 현재의 방재시설로는 방재역할이 충분하지 않다는 것이 증명되고 있으며, 특히 태풍 하이선과 마이삭이 연달아 우리나라에 피해를 입히면서 기존에 복구를 진행 중이던 상황에 연이은 태풍으로 피해가 가중되는 사례가 발생하게 되었다. 이는 사전 대비단계의 방재시설에 대한 강화의 필요성과 사전 태풍의 강도 및 경로를 정확하게 분석하기 위한 시스템의 강화 필요성과 신속한 복구를 위해 현장 채증 시스템의 도입이 필요하다 이로 인해 피해현장은 한눈에 파악을 하고, 복구의 우선순위를 정하여 복구자재를 효율적으로 분배할 수 있게 될 것이다.

가뭄의 경우 대부분의 피해가 농가지역에서 발생하지만 이로 인해 농산물 가격의 상승, 농산물의 부족, 등으로 장기적인 가뭄이 지속되면 이는 곧 식량안보 문제로도 이어질 수 있는 재난이다. 기후 변화로 인하여 고기압권 영향이 증가하면서 강수량이 지속적으로 줄어들고 있는 것은 명백한 사실이다. 이를 예방하기 위해서는 체계적인 물관리 시설과 가뭄상황시 비상급수 체계를 강화시켜 물 공급이 가능하도록 저수용량 확대 및 급수 시스템을 보완하여야 한다.

폭염 또한 기후변화로 인해 빈도와 강도가 매년 증가하는 추세이다. 폭염과 열대야 지속 일수가 꾸준히 증가추세를 나타내고 있으며, 특히 도시지역에서는 열섬현상으로 인해 온도가 더욱 상승하고 있다. 이로 인해 고온에 취약한 노약자, 어린이, 만성질환자의 경우 온열질환으로부터 인명 피해가 발생할 수 있고, 인구가 밀집되어 있는 도시지역에서는 에어컨 및 냉방기 사용의 증가로 전력 소비량이 늘어나 에너지 수급에 대한 문제도 발생할 수 있으며 온도의 상승으로 창고나 실내에 보관 중이던 화기성 제품으로 인한 화재도 발생할 수 있다. 폭염을 예방하기 위해서 녹지공간 확대 및 도시지역의 아스팔트의 열을 완화시키기 위한 도로 스프링클러 시스템 등의 확충 등으로 폭염 기간 온도를 완화하는 등 시스템의 강화가 필요하다.

최근 10년 간 1,079회의 진도 2.0 이상이 지진이 관측되었고 규모 5.0 이상의 지진도 1978년 이후 10회 발생하는 만큼 우리나라는 더 이상

지진으로부터의 안전지대는 아니다. 또한 도시지역에는 고층빌딩과 지하에 매설된 관로, 전기시설, 통신시설 등 다양한 인프라가 존재하고 있어 특히 지진에 취약성이 존재한다. 지진을 예방할 수는 없지만 지진으로 인한 피해는 충분히 사전대비를 통해 완화시킬 수 있다. 사전 건물 및 건축물에 대한 내진설계를 통해 지진으로부터의 저항력을 강화하고, 기존 내진설계가 미흡한 건축물은 보강공사를 통해 건물의 붕괴를 예방할 수 있다. 또한 조기경보 시스템을 통해 여진이 관측되고 본진이 예측될 경우 사전 경보를 통해 인명피해는 최소화시킬 수 있다.

앞서 살펴본 4가지 유형의 자연재해만 보더라도 자연재해로 인한 피해는 과거부터 지속적으로 꾸준히 발생하고 있으며, 태풍, 가뭄, 폭염의 경우 기후변화로 인해 크기와 강도, 세기가 점점 증가한다는 것을 확인할 수 있다. 이에 맞춰 기후변화에 대응하기 위해서는 기존의 마련된 대책이 아닌 더욱 발전된 방재대책이 필요하다는 것을 사례로 보았을 때 충분한 시사점이 될 수 있다.

VI. 도시지역 자연재해 재난관리 개선방안

자연재해 대응의 다양한 이론적 틀을 바탕으로 우리나라 도시지역에서의 재난 대응전략을 평가하는데 기준을 설정한다. 특히, 재난관리 주기이론을 종합적으로 검토하여 도시지역의 특성에 맞는 맞춤형 대응전략을 도출해 내는 것을 목표로 한다. 앞서 자연재해 대응전략의 이론적 고찰에서 다룬 내용을 토대로 기존 자연재해 대응전략이 우리나라 도시지역에 어떻게 적용될 수 있는지에 대한 것을 중점으로 두고, 특히 자주 발생하는 태풍, 지진, 가뭄, 폭염과 같은 주요 자연재해에 대한 대응전략을 도출하는 것이 목적이다.

따라서, 본 연구의 주요 이론적 근거로는 Petak(1985)의 재난관리 주기이론을 체계적으로 설명한 것을 중점으로 두고 있으며 이를 통해 정부 보고서에서 발표된 피해현황 및 수습현황, 현재 도시지역에 적용되어 시행되고 있는 조기경보 시스템 및 비상 대피 계획의 효과를 재난관리 주기이론을 통해 연구하였다.

재난관리 주기 이론(Disaster Management Cycle Theory)은 재난관리의 모든 과정을 체계적으로 설명하는 주요 이론적인 틀로, 자연재해와 같은 재난 상황을 효과적으로 대응하기 위해 재난의 발생 전, 발생 시, 발생 후의 모든 단계를 포괄하는 방법으로 우리나라에서 자연재해로부터의 재난을 대비하기 위한 과정을 접목시켜 살펴보고자 한다.

4.1 예방단계

예방(Prevention) 단계에서는 자연재해로부터 재난 발생 가능성을 사전에 최소화하거나, 재난이 발생하지 않도록 위험요소를 제거하는 단계이다. 이를 위해서는 재난이 발생할 수 있는 위험요소를 사전에 파악하고, 이를 제거하거나 피해를 줄이기 위한 다양한 조치들이 이루어진다. 이러한 예방 활동에는 내진설계 강화, 홍수 방지 인프라 구축, 태풍 대비 방파

제 설치 및 폭염 대비 무더위 쉼터 설치와 같은 구조적 개선 활동이 포함된다. 또한 재난 안전 교육을 통해 초등학교 교육과정부터 포함하여 시민 대처훈련 등을 통하여 시민들이 재난 발생 시에 적절하게 대응하고 행동할 수 있도록 자연재해나 재난에 대한 인식을 높이고 행동 방안을 학습하는 것도 예방에 포함된다.

자연재해 교육은 재해 발생률을 저감 시킬 수 있고, 재해 발생 시에도 시민들의 심리적, 육체적, 사회적, 경제적 문제를 최소화하기 위한 튼튼한 기본이 될 수 있다(김상호 외, 2019).

이러한 교육 체계는 유아기부터 고등학교까지 일관된 안전 교육 시스템을 구축하여 재해에 대한 예방 교육이 지속적으로 이루어지도록 할 수 있고, 이를 통해서 시민들이 자연재해에 대해 보다 경각심을 가지고 사전에 대비할 수 있도록 하는 효과가 있다. 특히, 유치원부터 시작되는 안전 교육 체계는 자연재해가 일상생활에 미치는 영향을 어릴 때부터 학습하고 대응력을 키울 수 있도록 한다.

예방단계에서의 자연재해 교육은 단순한 정보 제공을 넘어서, 시민들이 재난의 위험성을 인식하고 재해 발생 전부터 적극적인 대응방안을 학습하도록 하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 제도적, 교육적, 사회적 차원에서 유기적인 연계가 필요하며, 우리나라의 사례에서는 이러한 연계성을 강화하는 방향으로 교육 시스템이 발전해야 한다.

4.2 대비단계

대비단계(Preparedness) 단계에서는 재난 발생 시 효과적으로 대응하기 위해 미리 준비하고, 재난 발생 가능성에 대한 대비를 강화하는 것을 목표로 한다.

사전 교육, 훈련, 그리고 조직적 대응체계 구축이 포함되며, 이 단계에서는 자연재해에 대한 경각심을 높이고, 발생 시 신속하고 적절한 대응을 할 수 있도록 한다.

이 중 조직적 대응체계 구축에 대해 우리나라와 일본의 현재의 조직체

계를 비교해 보고자 한다. 일본의 대비체계는 일본 「재해대책기본법」을 근거로 하여 구축되어 있으며, 중앙방재회의와 지방방재회의를 중심으로 운영되고 있다. 우선 국가차원의 중앙방재회의는 내각총리대신이 주재하고 있으며, 모든 각료와 지방 공공기관의 대표자가 참석하게 된다. 중앙방재회의를 통해 방재에 대한 기본계획을 작성하고, 국가 차원의 재난대비 및 대응계획을 수립한다. 이를 통해 국가의 지방을 포함한 전체의 통합적인 대응체계를 구축하고, 대규모 재해 발생 시에 신속하게 대응을 하기 위한 사전 법적, 행정적 근거를 마련한다. 각 도도부현과 시정촌에는 도도부현 방재회의와 시정촌 방재회의가 조직되어 있으며, 각 방재회의는 지역별 환경, 시설에 따라 방재계획을 수립하고, 중앙방재회의와 협력하여 지역 상황에 따른 대비활동을 실시한다. 주로 정기적인 재난대피훈련과 지역 주민을 대상으로 하는 안전교육을 실시하여 대비태세를 강화하고 있다. 또한, 대규모 재해 발생 시 해당 재해현장에 현지대책본부를 설치하여 피해지역의 연락조정을 맡게 되며 이러한 체계적인 조직구성을 통해 재해로 인한 재난상황 발생 시 신속한 피해지역의 피해현황 및 규모 등을 파악하여 정보를 수집하고, 즉각적인 구조활동을 조율하여 현지 상황에 즉각적으로 대응을 할 수 있다. 우리나라의 경우 「재난 및 안전관리기본법」에 의해 행정안전부에서 총괄하여 자연재해로 인한 재난 발생에 대한 가능성을 분석하여 기상청의 조기경보 시스템을 통해 재난정보를 제공한다. 또한 ‘재난안전매뉴얼’을 작성하여 재해 발생 시에 신속한 대응을 위한 행정적 지침을 제정하고, 국가적 재난대비훈련을 통해 국가차원의 대비태세를 강화하고 있으며, 재난상황 발생 시 중앙방재본부를 설치하여 재난의 발생 전 사전 대비대책을 마련하고 재난의 예방과 대비계획을 수립하고 시행한다. 각 시·도 지방자치단체에서는 각 지역적 특성에 맞춘 방재계획을 수립하고, 지역주민들이 즉각적으로 대피할 수 있는 대피로와 대비장소에 대한 정보 및 교육을 제공하고 대피훈련을 실시하게 된다. 우리나라와 일본의 대비체계를 중앙-지방-현지별로 비교하여 표로 정리하면 다음의 [표 4-1]과 같다.

[표 4-1] 우리나라와 일본의 조직적 대응체계 구축 비교

구분		대한민국	일본
재난 대응 체계	중앙	행정안전부에서 자연재해 발생 가능성에 대해 모니터링을 하고, 기상청의 조기 경보 시스템을 통해 전국에 재난 정보를 제공하게 된다. 정부에서는 「재난 및 안전관리 기본법」에 따라 재난의 예방과 대비 계획을 수립하고 시행하며, 재해상황 발생 시 중앙재난안전대책본부와 중앙사고수습본부를 설치하여 운영한다.	중앙방재회의를 내각총리대신이 주재하며, 모든 각료와 지방 공공기관의 대표자들이 참여한다. 방재 기본계획을 작성하고, 국가 차원의 재난 대비 및 대응 계획을 수립하며, 이는 국가 전체의 통합적인 대응체계를 구축하고 대규모 재해 발생 시 신속한 대응을 위한 사전 준비 담당.
	지방	지방자치단체에서는 지역적 특성에 맞춘 방재 계획을 수립하고, 지역 주민을 대상을 정기적인 재난대피 훈련과 교육을 실시하며, 재해 상황 발생 시 시·도재난안전대책본부와 지역사고수습본부를 설치하여 운영한다.	도도부현 방재회의와 시정촌 방재회의가 조직되어 있으며, 지역의 방재 계획을 수립하고, 중앙방재회의와 협력하여 지역 상황에 맞는 대비활동 진행한다. 주로 정기적인 재난 대피 훈련 및 지역 주민을 대상으로 한 교육을 실시한다.
	현지	재난현장통합지원본부를 구축하여 각 실무반을 편성하여 운영하며 응급조치, 긴급구조에 대하여 지원한다.	대규모 재해 발생 시 현지대책본부를 설치하여 피해 지역과의 연락 조정을 맡으며, 재해 발생 시 신속하게 피해 지역 정보를 수집하고, 구조 활동을 조율하는 역할을 하여 현지 상황에 즉각적으로 대응할 수 있다.
조직 구조 비교		행정안전부를 중심으로 각 지방자치단체가 자체적인 방재계획을 수립하는 방식으로 운영되며 중앙과 지방의 협력을 중시하면서도 지역적 특성에 따라 유연하게 대응하는 구조이다.	중앙방재회의와 지방방재회의로 구분된 계층적 대응체계를 통해 중앙과 지방 간의 협력과 연계를 강화한다. 즉 중앙에서부터 지방까지 일관된 조직도를 바탕으로 대응체계를 구축하였다.
현지 대응 체계		현장 대응 본부를 설치하여 재난 발생 지역에 대한 신속한 대응을 추진하고 지방의 재난안전대책본부를 지원한다.	현지대책본부를 설치하여 피해 지역에 대한 현장 대응을 신속하게 조율하여 재해가 발생한 지역에서 즉각적으로 대응할 수 있는 능력을 강화하였다.

(출처) 송안미(2024), 일본의 「재해대책기본법」 개정 연혁과 자연재해 예방·대응을 위한 행정조직 재구성

결론적으로, 일본은 중앙-지방-현지로 이어지는 명확한 조직도를 통해 자연재해 대비단계에서 역할 분담이 체계적으로 이루어져 있으며, 반면 우리나라는 중앙과 지방 간의 협력을 바탕으로 지역적 특성에 맞춘 유연한 대비체계를 구축하고 있으며, 특히 교육 및 훈련을 통해 국민의 대비 태세를 강화하고 있다. 하지만, 자연재해로 인한 재난 상황이 발생할 경우 일본의 경우 현지 대책본부를 통해 직접적인 구조 및 상황판단과 대처가 가능하지만 우리나라의 경우 현장대응본부에서는 현장구조작업 및 대응을 실시하고, 이에 대한 판단은 각 시·도대책본부에서 실시하게 되는 구조 때문에 즉각적인 상황 정보수집 및 실시간 조직적 명령이 지연되는 상황이 발생하게 된다. 이러한 지연성으로 인해 현장에서 구조상황에 위급상황 시 시간이 지체되고 이로 인해 골든타임을 놓쳐 피해는 더욱 늘어날 수밖에 없다. 대비단계에서 조직적 구조를 변경하여 현장대응본부에 컨트롤타워의 기능을 추가시켜 현장에서의 즉각적인 판단과 결정이 가능하도록 제도적 기능을 강화해야 한다.

4.3 대응단계

대응(Response) 단계는 재난이 실제로 발생했을 때 신속하게 대응하여 피해를 최소화하고, 피해를 입은 사람들을 구조하거나 구호하는 것이 주요 목표이다. 대응단계에서는 재난이 발생한 직후부터 피해를 최소화하고, 생명을 구하기 위한 구조 활동, 긴급구호, 피해 평가 등이 이루어진다.

우리나라의 재난대응 체계는 중앙정부와 지방자치단체 간 협력을 기반으로, 행정안전부의 국가재난관리시스템(NDMS)⁷⁾에 의해 운영된다. NDMS는 재난 발생 시 실시간으로 재난 정보를 업데이트하고, 관련 기관들 간의 신속한 협업을 가능하게 해 준다. 하지만 현재의 NDMS의 경우 위치정보와 현장정보의 실시간 통합이 미흡하여 재난 발생 시 즉각적인

7) 국가재난관리시스템(National Disaster Management System) 태풍·호우 등 재난 발생 시 피해상황 보고 등 상황관리, 피해 조사 및 복구 계획을 수립하는 시스템

피해 상황 분석에 한계가 있다. 최근 2023년 7월 23일 충북 청주에서 폭우로 인한 궁평 2 지하차도 참사 당시에도 NDMS는 제대로 작동되지 않은 것으로 확인되었으며, 사고 발생 전 07시 51분부터 09시 05분까지 관련 신고가 15건이 접수되었지만 정작 국가재난 컨트롤타워 시스템에 정보가 공유되지 않아 침수 50분 정도 지난 시점에서야 통제에 나섰다(윤교근, 2023). 또한, 각 지방자치단체는 지역별 특성에 따라 피해 상황을 평가하고 대응하며, 재난대응 시 현장 인력의 경험과 정보를 바탕으로 피해 복구 계획을 수립하게 된다. 이 과정에서 전문 지식의 부족과 현장 정보수집의 비효율성이 지속적인 문제로 지적되어 왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리시스템을 추가적으로 도입하여 재난 발생 직후의 대응을 개선하는 것을 목표로 발전시켜야 한다.

이 시스템은 GNSS위치 정보를 포함한 모바일 기기와 드론을 사용하여 현장 데이터를 실시간으로 취득하고, 이를 즉각적으로 관련 기관에 전파하여 보다 효율적인 대응을 가능하게 해 준다. 또한 단계별 정보를 구축하여 취득된 데이터는 자연재해 라이브러리로 분류되고 각 단계별 등급을 부여하여 초기 피해조사부터 피해규모 분석에 이르기까지 다양한 정보를 포함하게 된다. 또한 이러한 시스템을 현재 운영 중인 NDMS와 연계하여 중앙정부, 지방자치단체, 민간 기업 및 유관기관들이 동일한 실시간 정보를 공유함으로써 대응의 일관성과 신속성을 높일 수 있게 된다. 이 과정에서 드론을 통한 고해상도 항공사진 및 위성 이미지가 유관기관에 제공되어 복구 작업의 우선순위를 결정하고, 재해 규모를 분석하는데 중요한 역할을 하게 될 것이다(민관식, 2022). 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리 시스템에 대한 자세한 내용은 아래[표 4-2], [그림 4-1], [그림 4-2]와 같다.

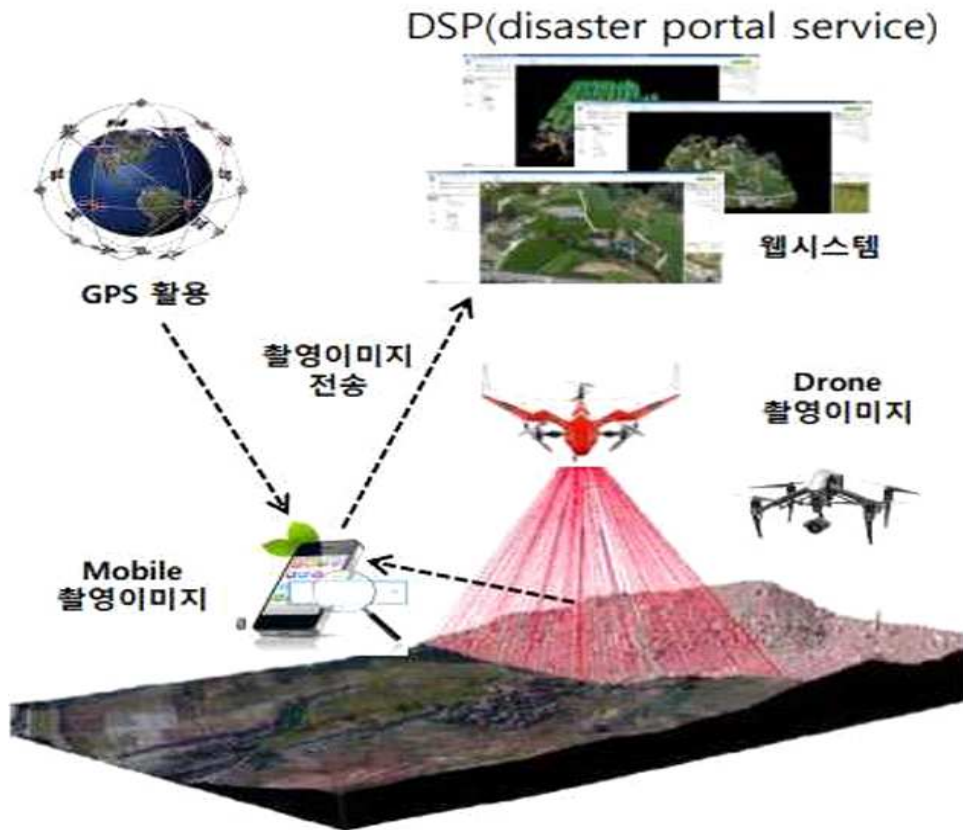
[표 4-2] 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리시스템 자연재해 분류 및 단계별 정보 생성표

기조	자연재해 분류 및 등급부여				
「재난 및 안전관리 기본법」 자연재해	태풍	홍수	호우	강풍	해일
	풍랑	한파	대설	낙뢰	폭염
	가뭄	지진	황사	조류	조수
Level 1	자연재해 상황, 이미지(동영상), 위치정보				
Level 2	Level 1 정보와 지형(지도)융합 : 브리핑 및 보도용				
	Level 1 정보, 지도영상(드론, 항공, 위성사진) 정보, 재해속성 정보				
Level 3	Level 2 정보와 재해분석 정보(피해원인, 피해규모)				

(출처) 민관식(2022), 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리시스템 개발 연구

위의 표와 같이 각 자연재해 별 재해 정보별로 분류하여 각 재해별 매칭정보(자연재해 상황, 이미지 또는 동영상, 위치정보)를 표현할 수 있는 Level 1 정보를 생성한다. Level 1 정보를 포함하고 지형(지도)을 융합한 Level 2 정보를 생성, Level 2 정보를 포함하고 재해분석정보 중 피해의 원인과 피해의 규모를 포함한 Level 3 정보를 생산하여 자연재해에 대한 자료를 구성하고, 이를 통합적으로 관리하여 해당 재난 발생 시 필요한 정보를 실시간으로 확인하고 상호 간 공유할 수 있는 관리시스템을 구성할 수 있다. 상황전파 관리시스템의 주요 목적은 자연재해 발생 시, 자연재해에 관련된 단편적 정보만이 아닌 복합적인 정보를 상황전파 관리시스템의 사용자 또는 유관기관에 제공할 수 있는 것에 있다. 또한 공간정보를 제공하기 위해 자연재해 현장을 비행하는 무인기 또는 현장출동인원의 단말기를 통해 재난현장을 채증 하고, 위치정보를 포함시킨 이미지, 동영상을 포함한 Level 1 정보를 통해 현장 상황을 신속하게 파악하고 정확한 시기에 적절한 대응책을 마련할 수 있게 된다. Level 정보와 해당 지역의 지형정보를 포함시킨 Level 2 정보는 재난으로부터 대응 시 태풍이나, 지진으로 인한 실시간 피해 발생 시에 추가적으로 피해가 증대될 수 있는 지역을 보다 빠르게 파악할 수 있게 된다.

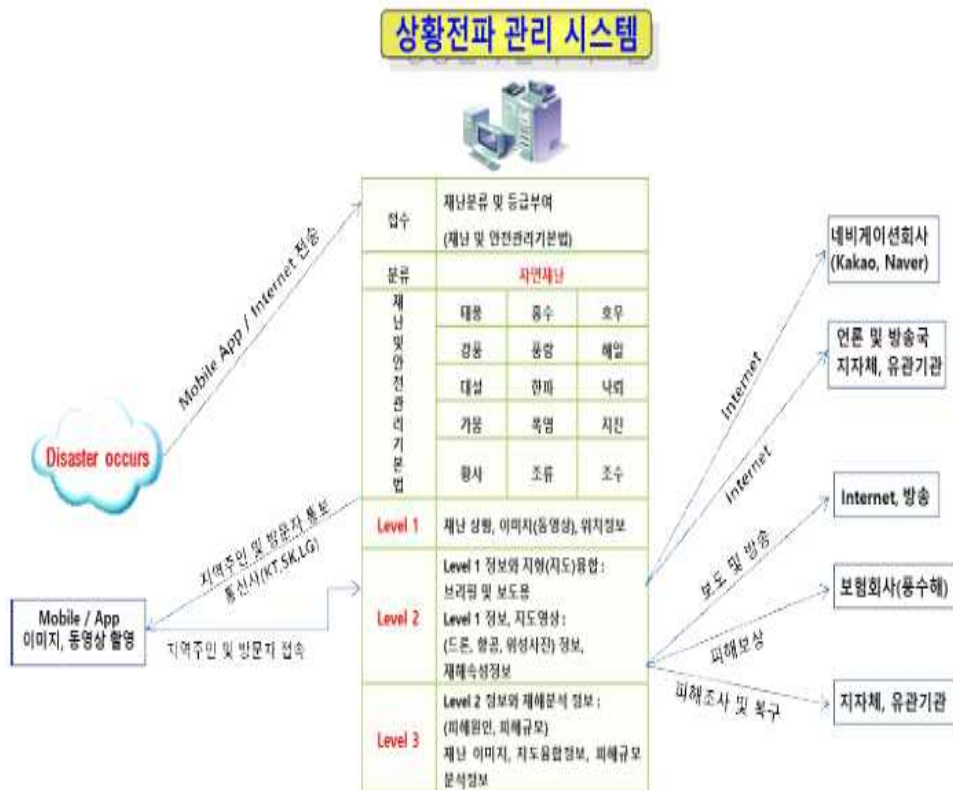
[그림 4-1] 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리시스템 자연재해 현장 데이터 취득



(출처) 민관식(2022), 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리시스템 개발 연구

Level 1과 Level 2의 자연재해 현장 채증 및 지형정보는 드론 또는 현장 출동대응 인원의 단말기를 통해 실시간으로 전송되기 때문에 가장 정확한 곳에서 촬영 및 필요한 장소의 촬영이 가능하다. 이렇게 촬영하여 전송된 이미지는 상황전파 관리시스템의 웹 서비스로 전송되어 실시간으로 확인할 수 있게 된다.

[그림 4-2] 상황전파 관리시스템의 재난·재해 정보 제공 흐름도



(출처) 민관식(2022), 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리시스템 개발 연구

결론적으로, 우리나라의 대응체계를 발전시키기 위해서는 현장 데이터의 실시간 취득과 과학적 분석 시스템을 통합하여 초기 대응의 신속성과 복구 계획의 정확성을 높이는 방향으로 나아가야 한다. 이를 통해 재난 대응의 골든타임을 활용한 신속한 구조와 복구 작업을 실현하고, 모든 국민이 자연재해로부터 안전하게 보호될 수 있는 체계를 구축할 수 있게 된다. 영상 및 동영상으로 수집된 현장 상황을 통해 지진이나 태풍 등 자연재해로 인한 교통망 파괴 시 정확한 지점과 흐름을 고려한 교통망의 신속한 복구가 가능하게 되며 이는 피해지역 인구의 2차 피해를 예방하고, 신속한 피해지역 복구를 위해서는 필수적이다. 드론은 현재 물류이송, 그리

고 환자도 이송 가능할 정도로 발전을 하였고 이러한 드론을 활용한 구조 활동 또는 고립지역에 대한 긴급 구호물자 조달이 가능할 수 있으며(이준범, 2021), 데이터 수집을 위한 드론의 크기를 확대시켜 구조활동이 가능하여 폭염으로 인한 온열질환으로 인한 긴급환자의 이송이나 가뭄지역의 경우 지형정보를 통한 최기 수원지를 확보하여 가뭄에 대한 농작물의 피해예방이나 추후 가뭄에 대비한 물자원 관리계획 구성에도 용이하다. 재난상황의 발생 시에는 건물의 붕괴 또는 도로나 교량의 파괴등으로 고립지역이 발생할 경우 생필품이나 식량등의 조달로 구조활동에서도 활용가치는 충분하게 열려있다.

4.4 복구단계

복구 과정(Recovery Phase)은 재난이 발생한 후 피해를 복구하고 재난 이전의 상태로 회복하기 위한 모든 활동을 포함한다. 복구단계는 재난 관리 주기의 마지막 단계이지만, 지역사회의 회복력을 높이고 향후 유사한 재난 발생 시 피해를 줄이는데 중요한 역할을 한다. 이 과정은 단기 복구와 장기 재건으로 나뉘며, 재난의 영향에서 벗어나 피해 지역을 정상 상태로 되돌리기 위해 다양한 활동이 이루어진다.

단기 복구(Short-term Recovery)는 재난이 발생한 직후 피해지역에서 기본적인 생활 재건을 목표로 하는 활동을 뜻하며 복구 내용은 다음과 같다.

첫째, 응급 주거를 제공해야 한다. 재난 발생으로 주택이 파괴된 주민들에게 임시 주거지나 대피소를 제공하는 것이 중요하다. 재난으로 인한 피해를 입은 주민들이 안전하게 머물 수 있도록 해주며, 생활필수품을 제공하고 있으며, 우리나라에서는 주로 체육관이나 공공시설 등을 임시 대피소로 지정하여 활용하고 있다.

둘째, 인프라 복구. 전력, 수도, 통신 등 주요 인프라 복구는 피해지역 주민들의 생활을 정상화하는데 필수적이다. 재난 발생으로 인한 단전, 단수, 통신 두절은 복구가 시급한 영역이며, 이를 복구하기 위해 국가적 차

원의 지원이 이루어진다.

셋째, 긴급 의료 지원 및 심리적 지원. 부상자 발생 시 응급 의료 서비스 제공이 필요하며, 심리적 충격을 받은 피해자를 대상으로도 심리 상담을 진행하고 있다. 이러한 심리적 지원은 피해자들이 재난의 트라우마에서 벗어나 일상으로 복귀할 수 있도록 도움이 된다.

장기재건(Long-term Reconstruction)은 재난 이전의 상태로 되돌아가거나 그 이상으로 회복하기 위한 지속적인 복구활동이다. 장기 복구 내용은 다음과 같다.

첫째, 영구적 주택 및 사회 인프라 복구. 피해를 입은 주택과 건물을 복구하는 활동이 장기 재건의 핵심 활동이다. 단순히 피해를 입은 주택을 복구하는 것을 넘어 내진 설계와 같은 구조적 개선이 포함된다.

둘째, 경제활동 복원. 재난으로 인해 경제활동이 중단된 지역에서는 지역 경제를 재건하고, 일자리 복구를 통해 주민들의 생계를 지원한다. 이를 위해서 소상공인들에게 저리 대출을 제공하거나, 피해를 입은 주민을 대상으로 재정 지원 및 피해복구를 위한 보험금 지급 등이 포함된다.

우리나라 재난 안전보험의 경우 중앙관리부처의 부재로 재난 안전보험의 지원체계와 보상이 발전되지 않고 있으며, 각 지자체별 조례를 제정하여 운영하고 있어 보상기준에 따른 혼선이 발생하고 있다. 때문에 중앙부처에 재난 안전보험 전담조직을 구성하여 지방자치단체, 보험사업자, 중앙정부와 관련 기관들의 유기적인 협조와 재난 안전보험을 효과적인 재난관리 수단으로 관리할 수 있도록 중앙정부의 주도적으로 컨트롤 체계를 구축해야 한다(강인호, 2024).

셋째, 사회적 기반 시설 개선 및 방재 인프라 구축. 복구 과정에서는 피해지역의 기존 시설이나 인프라를 단순히 복구하는 것을 넘어 향후 재난 발생 시 피해를 최소화하기 위한 방재 인프라 구축이 이루어져야 한다. 예를 들어 침수나 홍수 피해를 예방하기 위해 하수도를 개선하거나 저지대의 배수시설을 확충하고, 주요 공공시설들에 대해 내진 보강 작업을 통해 구조적 안전성을 강화하는 것이다.

복구과정의 주요 목표는 재난으로 인해 발생한 피해를 최소화시키고,

피해지역을 빠르게 안정시키며 지역사회의 회복을 위한 피해 주민들을 위한 주택 복구, 일자리 복구 등 사회적·경제적 지원을 제공해야 한다. 복구 과정에서 단순히 재난 이전의 상태로 회복하는 것을 넘어, 향후 재난에 대한 예방 및 복원력 강화를 목표로 개선된 재건을 추진하는 것을 통해 재난에 대한 지속 가능성을 확보하는 것이다. 이러한 복구 과정에서 신속하고 정확한 복구 계획을 수립하기 위해서 공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리시스템을 활용하여 드론과 GNSS위치 정보를 활용한 공간정보 기반 시스템을 통해 피해지역의 상황을 실시간으로 파악하고, 피해 범위를 정확하게 분석하고, 이러한 정밀 분석을 통해 복구 작업의 우선순위를 정하고, 복구 자원의 효율적인 배분이 가능하다(민관식, 2022).

이처럼 드론이나 현장 단말기를 통해 수집된 데이터는 향후 해당 지역에서 비슷한 재해나 재난이 발생 시 활용될 수 있는 방재 데이터베이스로 축적되어 더 나은 예방 및 대비대책을 수립하는데 많은 기여할 수 있다.

V. 결론

본 연구는 대한민국 도시지역에서 발생하는 주요 자연재해 중 태풍, 가뭄, 폭염, 지진을 중심으로 사례 및 대응방안에 대해 연구로 자연재해 대응전략의 효과성과 한계를 분석하고, 자연재해 발생 시 보다 효과적으로 대응하고 복구할 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 위해 다양한 이론적 틀과 사례분석을 통해 재난관리 주기를 적용하여 우리나라의 자연재해 대응전략을 심도 있게 분석하였다.

5.1 연구 결과

본 연구에서는 국내에서의 최근 10년간의 자연재해 및 피해현황, 발생건수 등에 대한 분석을 통해 자연재난에 대해 주요 피해 및 우리나라의 방재대책에 대해 연구하였다. 연구의 주요 목적인 자연재해에 대해 효과적으로 대응하기 위한 방안을 제시하는 것을 목적으로 다양한 연구 논문과 재난대응 이론을 비교하여 우리나라의 재난 대응체계에 비교하여 각 단계별 대응방법 및 제도적 발전에 대해 연구하였다. 특히 지속적으로 자연재해의 대부분을 차지하고 있는 태풍, 가뭄, 폭염, 지진을 주요 과제로 연구하였으며 피해가 날로 증가하는 상황에서 각 재난별 유형에 따른 우리나라 도시지역에서의 재난으로부터의 Petak(1985)의 재난관리 이론을 토대로 대응력을 기르기 위한 방안을 연구하였다.

최근 10년(2013~2022) 간 자연재해로 인한 금액은 약 3조 1,945억 원으로 이는 재해로만 인한 피해금액이고, 2차적인 피해로 인한 금액은 기하급수적으로 늘어날 수밖에 없으며, 이로 인한 피해 금액은 도시지역에서의 인구의 고밀도화 도시화가 이루어지면서 나날이 증가하는 양상을 보이고 있다. 특히 7월 ~ 9월에 집중되고 있는 집중호우와 태풍으로 인한 피해는 매년 전체 피해복구 비용의 평균 40% 정도를 차지하고 있어 이로 인한 피해에 대한 대비가 필수적이다. 또한 온난화로 인해 여름철

기온이 지속적으로 상승함에 따라 폭염으로 인한 인명피해는 매년 평균 36명 정도로 사전에 충분히 예방하고 대처할 수 있는 재해인데도 피해는 꾸준히 나오고 있는 상황이고, 온난화로 인한 한파 기간도 길어지게 되며 5월 경의 적은 강수량으로 인해 최근 역대 가뭄 일수의 평균치는 전국적으로 최근 10년 내 가뭄 발생일수 1~3위를 차지할 정도로 가뭄으로 인한 피해도 꾸준히 발생하고 있다. 지진의 경우에도 지속적인 지질학적 활동으로 인해 예년 평균 70.6회의 지진이 발생하고 있으며 2016년과 2017년에는 각 252회, 223회의 지진이 발생하며 지진으로부터의 피해예방에 대한 필요성이 극심하게 느껴지는 재난임이 확실하다.

도시의 높은 인구밀집과 집중된 인프라는 자연재해 발생 시 대규모 피해로 이어질 가능성이 크다. 이는 위의 연구를 통해 단순히 자연재해로 인한 재난이 물리적 피해를 넘어 경제적 손실과 국민들의 안전의식과 사회적 불안을 초래할 수 있다는 점도 시사할 수 있다. 또한, 우리나라에서 가장 발전된 도시인 서울에서도 태풍과 집중호우로 인한 침수 및 산사태로 인한 피해가 발생하고 이로 인한 재산피해가 증가하는 만큼 도시지역에서의 자연재해에 대한 방재에 대한 역할의 중요성은 더욱 강조될 수 있다.

자연재해는 인간의 역량으로 제어하기에는 많은 제약점이 있지만 이로 인한 피해를 예방하고 대응하는 것은 충분히 지속적인 발전을 통해 가능하다. 자연재해 대응전략에는 여전히 많은 한계가 존재하고 있다. 도시화로 인한 구조적 문제로 재해 발생 시 방재 인프라의 부족이 피해를 가중시키고 있으며, 취약계층에 대한 보호대책이 미흡하여 재난 발생 시에 피해를 더욱 심화시키고 있다. 각 재해마다 발생 원인과 영향은 다르게 나타나지만 공통적으로 예방, 대비, 대응, 복구의 전 단계에서 체계적인 관리가 필요하지만 여전히 우리나라의 재난 관리체계는 각 단계에서 미흡한 점이 지속적으로 발생하면서 자연재해로 인한 피해가 지속적으로 발생하고 있는 만큼 보완이 필요하다. 배수시설에 대한 확충 및 내진설계 강화, 저수시설 확충 등의 개선이 필요하고 특히, 재해의 사전 예방을 통해서 도시지역의 취약성을 줄이고, 재난 발생 가능성을 최소화할 수 있는 방안

마련이 필수적이다. 또한 재난 예방 교육 또한 유아부터 성인까지 생애 주기에 맞춘 교육 프로그램 및 실질적인 재난대응 훈련이 강화되어야 한다.

대응 및 복구단계를 위한 각 기관별 통신수단 및 통제기능이 지속적으로 꾸준한 문제로 대두되고 있지만 아직 실질적인 효과를 발휘하지는 못하고 있는 것이 현실이다. 이를 위해 최근 재난대응을 위한 통신망인 재난안전통신망을 기반으로 공간정보 기반 시스템을 적극적으로 구축하여 재해 대응을 위한 위치정보 및 공간정보 공유를 원활하게 함으로써 피해 상황을 실시간으로 파악하고, 실시간 데이터 공유 플랫폼을 활용하여 재난에 대응하는 정부, 지자체, 소방, 경찰, 군 등의 인력에게 실시간 상황 공유 및 일치화된 대응을 강화하고 정량적 분석에 기반한 복구 자원 배분을 통해 복구 과정에서 피해지역의 특성에 맞는 맞춤형 접근이 필요하다. 특히 복구단계는 단순히 재난 이전의 상태로 회복하는 것이 아니라, 미래 재해로부터 대비할 수 있는 지속 가능한 재건을 목표로 해야 한다. 피해 지역의 구조적 취약성을 정확하게 파악하고 개선하고, 방재 인프라를 강화하여 다음 재난에 대한 대비력을 높이는 것이 가장 중요하다. 또한, 도시지역 내 취약지역이나 위험지역에 대한 정보, 각 자연재해별 재난상황 발생 시 행동요령이나 대처방법에 대한 교육을 정기적으로 시행하여 재난 발생 시 즉각적인 대처가 개인으로부터도 가능할 수 있도록 하는 방향으로 맞춤형 교육 시스템이 필요하다.

우리나라 도시지역의 자연재해 대응전략은 여러 개선점을 아직 필요로 하지만, 효과적인 예방, 대비, 대응, 복구를 통해 피해를 최소화할 수 있는 가능성도 무한하게 열려있다. 본 연구는 이러한 가능성을 구체화하기 위한 예방적 접근 강화, 복구 과정에서의 과학적 접근 확대, 회복력 강화를 강조하며, 재난 대응체계의 개선을 위한 구체적인 방안을 제시하였다.

또한 법적제도와 행정적 제도의 연계성이 부족하다. 현재 시행 중인 법률 중 「재난 및 안전관리 기본법」과 「물관리 기본법」이 별도의 법으로 제정되어 있지만 두 개의 법률을 통해 풍수해와, 태풍, 홍수등과 같은 재해가 발생하였을 때 법률을 통해 실질적인 대응대책이 실행되지 않

고 두 법률의 구체적인 연계 방안이 명확하게 제시되지 않아 이를 실행하는 기관에서는 불필요한 행정소요가 커지고, 예산의 낭비 및 효과성 있는 방재대책이 실행되지 않는다는 미흡점이 있다.

앞으로 우리나라 내 많은 지역에서는 더욱 발전하게 될 도시화 진행과 지속해서 진행되는 기후변화로 인해 더욱 빈번하고 이전보다 강력한 자연재해에 직면하게 될 것이다. 따라서 예방에서 복구까지 이어지는 재난관리주기 전반에 걸쳐 체계적이고 과학적인 접근을 강화하는 것이 무엇보다 중요하며 이를 위해 지역사회 구성원과 정부, 유관기관의 협력이 적극적으로 필요하다. 이러한 노력을 통해 자연재해에 대한 도시 대응력과 회복력을 높이고, 시민들이 안전하게 생활할 수 있는 지속 가능한 도시를 구축하는 것이 필요하다.

5.2 연구의 한계

본 연구는 문헌 연구와 사례분석에 의존하여 작성하였으며, 정량적 데이터 기반의 시뮬레이션 연구나 실질적 정책실행에 대한 효과성을 정확히 수치화하거나 모델링검증은 포함되지 않았다. 또한, 폭우, 한파, 강설, 해일, 홍수 등 기타 자연재해에 대한 연구는 포함하지 않고 있어 각 재해별의 대응도 추후 보완이 필요하다. 또한 지진, 폭염, 태풍, 가뭄의 대표적인 사례를 통한 연구로 우리나라 내 지역의 다양성을 충분히 반영하지 못한 한계점이 존재한다. 향후 연구에서는 이를 보완하여 보다 실효성 있는 정책제언을 도출해야 할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 국내 문헌

- 강인효. (2024). “기후변화 위기에 대응한 재난안전보험 활성화에 관한 연구”. 한성대학교 행정대학원, 석사학위 논문.
- 김강민, 황태건, 이유빈, 황철수. (2024). “자연재해에 대한 사회적 취약성 평가”. 「대한지리학회지」, 59(1), 73-90.
- 김동호. (2008). “경기도의 최근 10년(‘98~’07)간 자연재난 분석을 통한 방재정책 방향 연구”. 경기대학교 교육대학원, 석사학위논문.
- 김병식, 이상호. (2024). “기후변화 위기시대, 재난 관리 관점의 홍수(침수)대응”. 「한국방재학회지」, 24(3), 13-18.
- 김상호, 김소형. (2019). “자연재해교육 시스템에 대한 국가별 비교분석 연구”. 「상업교육연구」, 33(6), 95-110.
- 문병현. (2016). “재난관리 거버넌스 체제에 관한 연구”. 호남대학교 대학원, 박사학위 논문.
- 문세영. (2024). “20년 내 인구 70% ‘극심한 날씨’ 영향 받는다”. 동아사이언스, 2024. 09. 10.
- 민관식. (2022). “공간정보 기반 자연재해 상황전파 관리시스템 개발 연구”. 「한국지적학회지」, 8(2), 77-85.
- 박만수. (2013). “자연재난 사례를 통한 재난안전관리 체계 개선방안에 대한 연구”. 호서대학교 대학원, 석사학위논문.
- 박소연, 안숙희, 김정윤, 김백조. (2012). “우리나라 최근 10년간 자연재해 현황 분석”. 「한국기상학회 학술대회 논문집」, 76-77.
- 박윤경, 양정석, 김상단. (2016). “서울시의 도시특성을 고려한 사회경제적 재해 취약성 평가”. 「한국방재학회 논문집」, 16(1), 337-345.
- 박충건. (2008). “한국의 재난관리체계 발전방향에 관한 연구”. 서울시립대학교 도시과학대학원, 석사학위 논문.
- 서만훈, 이재송, 최 열. (2016). “공간적 자기상관성과 도시특성 요소를

- 고려한 자연재해 피해 분석”. 「대한토목학회논문집」, 16(4), 723-733.
- 서민경. (2020). “재난안전취약계층의 재난회복력 제고에 관한 연구, 미국·일본·한국 사례 비교분석을 중심으로”. 경희대학교 대학원, 석사학위 논문.
- 서은정. (2024). “재해 위험시 재난취약계층과 대응능력 간 관계 분석”. 서울시립대학교 국제도시과학대학원, 석사학위 논문.
- 송기종. (2014). “한국 재난관리체계의 구축방안, 성수대교 붕괴사례를 중심으로”. 전북대학교, 행정학과, 박사학위 논문.
- 송안미. (2024). “일본의 「재해대책기본법」 개정 연혁과 자연재해 예방·대응을 위한 행정조직”. 「부산대학교 법학연구소」, 65(2), 91-122.
- 신희영, 서경민, 최우정. (2022). “해외주요국의 재난관리체계 특징 분석을 통한 우리나라 표준대응절차 개선방안 모색”. 「국립재난안전연구원」 18(5), 76-77.
- 심재현, 김자은, 이성호. (2012). “기후변화 대응을 위한 광역도시권 차원의 자연재해 저감방안 연구, 자연재해 취약성에 따른 수도권 도시의 유형화”. 「한국산학기술학회논문지」, 12(13), 5534-5541.
- 엄영호, 엄광호, 한승혜, 최성열. (2017). “한국의 대규모 복합피해 재난복구를 위한 방향성 연구 : 동일본대진 이후 일본의 복구 전략을 중심으로”. 「한국위기관리논집」, 13(8), 69-84.
- 윤교근. (2023). “‘오송 참사’ 때 신고자 주소 찍혔는데... 자동 위치추적 활용 못 해 논란”. 세계일보, 2023. 07. 24.
- 이근영, 오철우. (2017) “포항지진 피해가 경주지진보다 큰 5가지 이유”. 한겨레. 2017. 11. 17.
- 이대웅. (2021). “재난관리 연구에서 회복탄력성의 개념과 측정에 관한 연구 : 선행연구 검토를 중심으로”. 「국정관리연구」, 16(3), 23-54.
- 이미연. (2015). “자연재해 피해의 결정요인 및 경제적 파급효과”. 서울대

학교 환경대학원, 박사학위논문.

이성수. (2011). “한국 재난관리체계 발전방안에 관한 연구”. 서울시립대학교 도시과학대학원, 석사학위 논문.

이준범. (2021). “지진재난 시 교통망 복구에 관한 연구”. 한양대학교 공학대학원, 석사학위 논문.

조민경, 윤희식, 송문수. (2017). “기후변화로 인한 국내 재난 유형 목록화 연구”. 「2017 한국재난정보학회 학술발표대회」, 319-322.

행정안전부. (2019). “2018 재해연보”.

행정안전부. (2021). “2020 재해연보”.

행정안전부. (2024). “2022 재해연보”.

홍선희. (2022). “재난관리를 위한 재난 리질리언스의 강화”. 성신여자대학교 일반대학원, 석사학위 논문.

2, 국외문헌

Adger, W. Neil. (2006). Vulnerability: Global Environmental Change.

Alexander, David. (2002). "Principles of Emergency Planning and Management", 130-150.

Alexander, David. (2013). "Resilience and Disaster Risk Reduction : An Etymological journey". Natural Hazards and Earth System Sciences.

American Chemical Society. (2004). "Sir David King on Climate Change". Chemical & Engineering News, 6 Dec. 2004

Coppola, Damon P. (2011). “introduction to international Disaster Management”.

Cutter, Susan L. Boruff, Bryan J., Shirley, W. Lynn. (2003). "Social Vulnerability to Environmental Hazards.", Social Science Quarterly, 84(2): 242-261.

Haddow, Georhe D., Bullock, Jane A., Coppola, Damon P.(2013). "Introduction to Emergency Management"(5th ed.), 50-60.

- Kaplan, Robert S., Mikes, Anette (2012). "Managing Risks: A New Framework". Harvard Business Review.
- Perry, Ronald W., Lindell, Michael K. (2003). "Preparedness for Emergency Response : Guidelines for the Emergency Planning Process.", 27(4): 336–350.
- Petak, W. J. (1985)., "Emergency Management : A Challenge for Public Administration. Public Administration Review.", 45, 3–7.

ABSTRACT

A Study on the Improvement of Natural Disaster Response Strategies

– Focusing on Typhoons, Droughts, Heatwaves,
and Earthquakes in Urban Areas –

Park Sang-jin

Major in Social Disaster and Safety Policy

Dept. of Social Disaster and Safety

Graduate School of Public Administration

Hansung University

Rapid climate change is a serious disaster situation that is causing serious disaster situations not only in Korea but also in the world. Natural disasters caused by extreme weather events due to such climate change are emerging as an important problem as they occur continuously and frequently anywhere on the planet. Accordingly, the impact of damage caused by natural disasters and response strategies were analyzed, focusing on major natural disasters occurring in urban areas in Korea. In particular, in urban areas, there is a high possibility of experiencing more severe damage in the event of a disaster caused by natural disasters due to complex infrastructure such as population density, living area density, urban infrastructure, and economic central characteristics.

This study examined the limitations of the analysis of the causes of natural disasters, the current status and damage patterns by natural disasters,

and the prevention, preparation, response, and recovery of damage caused by natural disasters in the existing response system, and found that more frequent natural disasters and damage in urban areas, including the metropolitan area, are more severe than in non-urban areas, and that the amount of damage in the response and recovery process is higher. Integrated and effective countermeasures are proposed based on this, and through natural disaster education, knowledge can be cultivated to prepare for psychological, physical, social, and economic problems, and an organizational structure that can immediately cope with and respond to disasters is reorganized to prepare for disasters, and a scientific monitoring and response system can be introduced to share more information and situations in the event of a disaster, and the accumulated data can be used in the subsequent recovery stage to help prioritize urban reconstruction and recovery more wisely and quickly. By improving these step-by-step measures, it can strengthen the ability to respond to natural disasters in urban areas and contribute to the improvement of the disaster management system in the future.

【Keywords】 Framework Act on Climate Change, Natural Disasters, Disaster and Safety Management, Natural Disaster Countermeasures Act, Urban Disaster Prevention.