



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

GIS 기반 침수흔적도를 이용한  
수해폐기물 발생량 추정방법에 관한 연구

Estimation of flood debris generation  
using GIS-based inundation maps

2018년 2월

서울대학교 대학원

건설환경공학부

조영훈

## 국문초록

수해폐기물은 태풍, 집중호우, 해일 등 풍수해로 인해 침수 지역에서 발생한 폐기물을 말한다. 이러한 수해폐기물은 단시간에 대량으로 발생하여 복구 작업을 지연시킨다. 일반적으로 수해폐기물은 매립지에서 처리되고 있어서 자원의 효율적인 재활용을 제한하고 온실 가스를 증가시킨다. 수해폐기물의 신속한 처리에 필요한 자원의 효율적인 배치를 위해서는 수해폐기물의 발생량을 추정하는 연구가 필요하다. 국외에서는 수해폐기물 발생량을 예측하는 변수로 공통적으로 피해건물의 수와 피해 지역의 총 면적을 이용하고 있다. 한국에서는 침수된 건물의 수만을 수해폐기물의 발생량을 예측하고 있는데 수해폐기물 발생량을 정확하게 추정할 수 있는지 확인하고 보완해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 2008년부터 2016년까지 기록된 수해폐기물 발생량 사례를 대상으로 재해연보와 침수흔적도를 이용하여 국내의 수해폐기물 발생량을 추정하는 모델을 개발하고 검증하고자 한다.

행정안전부에서 발간한 2008년에서 2016년 재해연보의 통계자료를 이용하여 지역별 수해폐기물의 총 발생량 자료와 지역별 피해 정보를 수집하였다. 수해폐기물과 관련성이 높을 것으로 예측되는 변수로 피해건물 수, 피해 농경지 면적, 피해 도로 길이, 피해 하천 길이 등 일곱 개의 피해 정보를 선정하여 폐기물 발생량을 추정하는 모델에 입력하였다. 수해폐기물 발생량을 추정하는 모델을 개발하는 방법으로 SPSS 23.0을 이용하여 두 개 이상의 독립변수와 종속변수 사이의 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석에 필요한 독립변수를 선택하는 방법으로 입력법, 단계선택법, 후진제

거법, 전진선택법을 사용하였으며, 유의확률과  $R^2$  값을 통해 가장 정확한 모델을 제시하였다. 재해연보에 기록되지 않은 침수된 지역의 면적과 침수 깊이 자료를 수집하기 위해 공간정보를 활용하였으며, 관련된 소프트웨어로 QGIS Desktop 2.18.7을 이용하였다. 침수흔적도와 토지피복지도, 건물통합정보를 수집하여 재해연보에서 수해폐기물의 총 발생량이 기록된 지역들을 대상으로 피해건물 수, 피해 농경지의 면적, 피해 도로의 길이, 피해 하천의 길이, 침수된 면적을 계산하였다. 이러한 피해 정보들은 수해폐기물 발생량과의 다중회귀분석의 독립변수로 이용되었다. 재해연보를 이용한 모델과 GIS를 이용한 모델을 검증하기 위해 2016년 재해연보에 기록된 수해폐기물 발생량 사례들을 모델에 적용하여 실측값과 예측값 사이의 오차의 평균값을 비교하였다.

재해연보를 이용하여 26개의 사례를 대상으로 선정된 수해폐기물 발생량 추정 모델은 피해 도로의 길이가 독립변수로 입력되었으며, 모델의 수정된  $R^2$  값은 0.460이고, 유의확률은 0.01보다 작게 나타나 통계적으로 모델이 유의미한 것을 확인하였다. 재난의 유형에 따라 집중호우와 태풍의 경우로 나누어 각각 다중회귀모델을 도출하였을 때, 집중호우와 태풍 모두 피해 도로의 길이를 독립변수로 선택하였다. 지형적 특징에 따라 도시 지역과 농어촌 지역으로 나누어 각각 다중회귀분석을 실시한 결과, 도시 지역에서는 피해 도로의 길이가, 농어촌 지역에서는 피해 농경지 면적이 독립변수로 선택된 것을 확인하였다.

GIS를 활용하여 재해연보로부터 수집한 피해 정보들과 유사한 피해 건물, 피해 도로, 피해 농경지, 피해 하천, 침수 면적을 산정하였고, 침수 면적은 재해연보의 통계자료보다 더 구체적인 수치

로 산출되었다. GIS를 활용한 모델의 경우 수정된  $R^2$  값은 0.470으로 나타났고, 모델의 유의확률은 0.05보다 작아 모델의 적합함을 확인하였다. 입력된 독립변수들은 피해 건물, 피해 도로와 침수 면적이었으며, 각 독립변수별 발생량 원단위는 5.29 ton/피해 건물의 수, -0.29 ton/피해 도로의 길이(m), 20.82 ton/침수 면적(ha)로 나타났다.

재해연보의 통계자료를 이용한 모델과 GIS 공간자료를 이용한 모델을 검증하기 위해 2016년 수해폐기물 실제 발생량과 추정값을 비교한 결과, GIS 공간자료를 이용한 모델이 더 근사하게 실제 폐기물 발생량을 추정하는 것을 확인하였다. GIS 공간자료를 이용한 모델에 입력된 독립변수가 2개 이상 투입되어 설명력이 높게 나타났고, 입력된 독립변수 중에서 피해 건물과 침수 면적은 문헌 연구에서 수해폐기물 발생량과의 설명력이 높은 것으로 확인되었기 때문에 더 정확하게 추정할 수 있는 것으로 예상된다. 향후 발생하게 될 수해폐기물 발생량 사례수를 추가하고 GIS 공간정보로부터 피해 정보들을 수집하여 각 피해 지역들의 지형적인 특징을 수해폐기물 발생량 추정 모델에 반영한다면 더 정확하게 수해폐기물 발생량을 추정할 수 있을 것이다. 정확하게 추정된 수해폐기물 발생량을 이용하여 필요로 하는 인력과 장비, 임시적환장의 수와 크기, 수해폐기물 수거 경로들을 예상하고, 수해폐기물 수거 및 처리 계획을 사전에 수립할 수 있다.

**주요어** : 수해폐기물, 추정 방법, 침수흔적도, 폐기물 발생량, GIS

**학 번** : 2015-22936

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 1 절 연구의 배경 .....	1
제 2 절 연구의 목적 .....	4
제 3 절 연구의 범위 .....	5
제 2 장 문헌 연구 .....	8
제 1 절 수해폐기물 .....	8
2.1.1. 수해폐기물의 정의 및 발생 특성 .....	8
2.1.2. 국내 수해폐기물 발생 현황 .....	11
제 2 절 수해폐기물 발생량 추정 방법 .....	14
2.2.1. 미국의 수해폐기물 발생량 추정 방법 .....	14
2.2.2. 일본의 수해폐기물 발생량 추정 방법 .....	16
2.2.3. 대만의 수해폐기물 발생량 추정 방법 .....	18
제 3 장 연구 데이터 및 분석 방법 .....	19
제 1 절 연구 데이터 .....	19
3.1.1. 수해폐기물 발생량 .....	19
3.1.2. 재난재해 피해 정보 .....	21
3.1.3. 2016년 수해폐기물 발생량 사례 .....	23
제 2 절 GIS 공간정보 구축 및 분석 .....	25
3.2.1. 침수흔적도 .....	25

3.2.2. 토지피복지도 .....	26
3.2.3. 건물통합정보 .....	27
3.2.4. 연속지형지도 .....	29
3.2.5. 공간정보 구축 및 분석 방법 .....	30
<b>제 3 절 통계 분석 방법 .....</b>	<b>32</b>
3.3.1. 다중회귀분석 .....	32
<b>제 4 장 통계분석 결과 .....</b>	<b>35</b>
<b>제 1 절 재해연보를 이용한 다중회귀분석 결과 .....</b>	<b>35</b>
4.1.1. 전체 사례에 대한 분석 결과 .....	35
4.1.2. 태풍과 집중호우에 대한 분석 결과 .....	37
4.1.3. 도시 지역과 농촌 지역에 대한 분석 결과 .....	40
<b>제 2 절 GIS 공간자료를 이용한 다중회귀분석 결과 .....</b>	<b>44</b>
4.2.1. 지역별 공간정보 구축 .....	44
4.2.2. 전체 사례에 대한 분석 결과 .....	47
<b>제 3 절 모델 검증 .....</b>	<b>50</b>
4.3.1. 2016년 수해폐기물 발생량 사례 적용 .....	50
<b>제 5 장 결론 .....</b>	<b>53</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>55</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>60</b>

## 표 목 차

표 2-1. 재난의 종류에 따라 발생가능한 폐기물의 성상 .....	10
표 2-2. 2007년부터 2010년까지 침수지역 수해쓰레기 발생량 및 국고지원 내역 .....	12
표 2-3. 일본 안나카 시의 예측되는 수해 수준 .....	17
표 2-4. 대만 수해폐기물 발생량 추정식 .....	18
표 3-1. 재해연보로부터 수집한 수해폐기물 발생량 사례 .....	20
표 3-2. 재해연보로부터 수집한 재난재해 피해 정보 .....	22
표 3-3. 재해연보로부터 수집한 2016년 수해폐기물 발생량 사례 .....	30
표 3-4. 재해연보로부터 수집한 2016년 수해폐기물 발생량 사례의 재난 재해 피해 정보 .....	24
표 4-1. 변수 입력방법에 따른 전체 사례의 다중회귀모델 비교 .....	36
표 4-2. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 전체 사례의 다중회귀모델 결과 .....	36
표 4-3. 변수 입력방법에 따른 집중호우의 다중회귀모델 비교 .....	38
표 4-4. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 집중호우의 다중회귀모델 결과 .....	39
표 4-5. 변수 입력방법에 따른 태풍의 다중회귀모델 비교 .....	39
표 4-6. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 태풍의 다중회귀모델 결과 ..	40
표 4-7. 변수 입력방법에 따른 도시 지역의 다중회귀모델 비교 .....	42
표 4-8. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 도시 지역의 다중회귀모델 결과 .....	43
표 4-9. 변수 입력방법에 따른 농어촌 지역의 다중회귀모델 비교 .....	43
표 4-10. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 농어촌 지역의 다중회귀모델	



결과 .....	44
표 4-11. GIS 공간자료로부터 산정한 26개 수해폐기물 발생량 사례에 대한 재난재해 피해 정보 .....	46
표 4-12. GIS 공간자료로부터 산정한 2016년 수해폐기물 발생량 사례들 에 대한 재난재해 피해 정보 .....	47
표 4-13. GIS 공간자료를 이용하였을 때의 변수 입력방법에 따른 전체 사례의 다중회귀모델 비교 .....	49
표 4-14. GIS 공간자료를 이용하였을 때의 수정된 결정상수 값이 가장 높은 전체 사례의 다중회귀모델 결과 .....	50

## 그 립 목 차

그림 1-1. 1980년부터 2015년까지 세계의 재난재해 발생 현황 및 피해액 현황 .....	2
그림 1-2. 최근 10년간 원인별 피해액 현황 .....	2
그림 2-1. 재난특별대책지역의 수해폐기물의 1일 생활폐기물 발생량과 비교 .....	12
그림 2-2. 최근 5년간 수해폐기물 발생량 및 복구액 .....	13
그림 2-3. HAZUS-MH 홍수 모델의 개요 .....	15
그림 2-4. 재난폐기물 발생량 추정 순서 .....	20
그림 3-1. 2011년 7월 집중호우로 인한 동두천시의 침수흔적도 .....	26
그림 3-2. 토지피복지도의 분류체계 .....	27
그림 3-3. 서울특별시의 중분류 토지피복지도 샘플 .....	28
그림 3-4. 연속수치지도의 모양 예시 .....	30
그림 3-5. 2011년 7월 집중호우로 인한 동두천시의 사례를 대상으로 토지피복지도를 편집하는 작업 과정 .....	32
그림 4-1. 2016년 수해폐기물 발생량 사례들을 대상으로 하였을 때 실제 수해폐기물 발생량과 식 4-1과 식 4-2를 이용하였을 때 추정값의 비교 .....	52

# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구의 배경

세계적으로 자연재난의 수가 증가하고 있으며, 이에 따른 경제적 피해액 또한 연간 500억 달러가 평균적으로 지출되고 있다 (그림 1-1). 국내 자연재난의 경우, 그림 1-2와 같이 2006년부터 2016년까지 경제적 피해액의 평균값이 3천억 원을 초과하였으며, 그 중에서 호우와 태풍이 주요한 원인으로 밝혀졌다 (소방방재청, 2016). 이러한 경제적 피해액의 세부 항목에 수해폐기물의 수거 및 처분이 포함된다. 재난폐기물은 단기간에 상당한 양이 발생하여 인명구조와 복구 작업을 방해하며 (정상재·김재영, 2015), 일일 폐기물 처리량을 과도하게 초과하기 때문에 기존 폐기물 처리시설만으로는 처리될 수 없다 (Fetter, 2012). 또한, 대부분의 수해폐기물이 일반적으로 수거된 이후 매립지에서 처분되고 있으며 (Onan, 2015), 그 결과 효율적인 자원의 재순환을 제한시키고 온실 가스를 증가시킨다 (정상재·김재영, 2015).

수해폐기물의 신속하고 적절한 처리를 위해 수해폐기물을 임시적으로 저장하고 재활용처리를 할 수 있는 임시적환장의 수와 크기를 산정하고 재난폐기물의 처분 방식을 결정하는 일이 요구된다 (FEMA, 2007; UNEP, 2012). 이를 위해서 수해폐기물 발생량을 사전에 예측하거나 추정하는 연구가 필요하다. 일본은 피해 건물의 수와 건물에서 발생하는 폐기물량의 원단위, 지역별 홍수위험지도를 통해 수해 피해를 예측하고 있다 (Hirayama et al., 2010; 오길종 외, 2012; JSMCWM, 2012; Yamanaka et al., 2013; Yamanaka et al., 2014). 미국에서는 USACE(U.

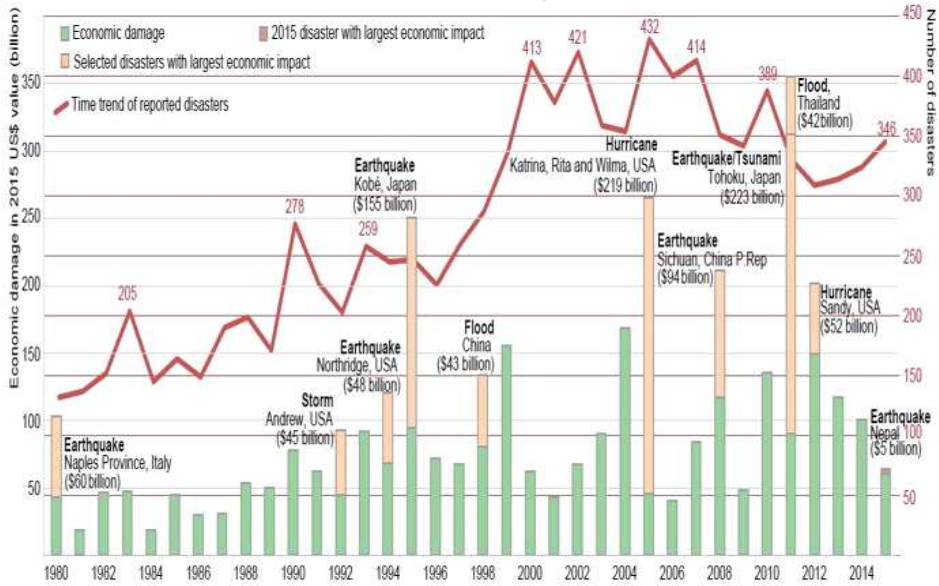
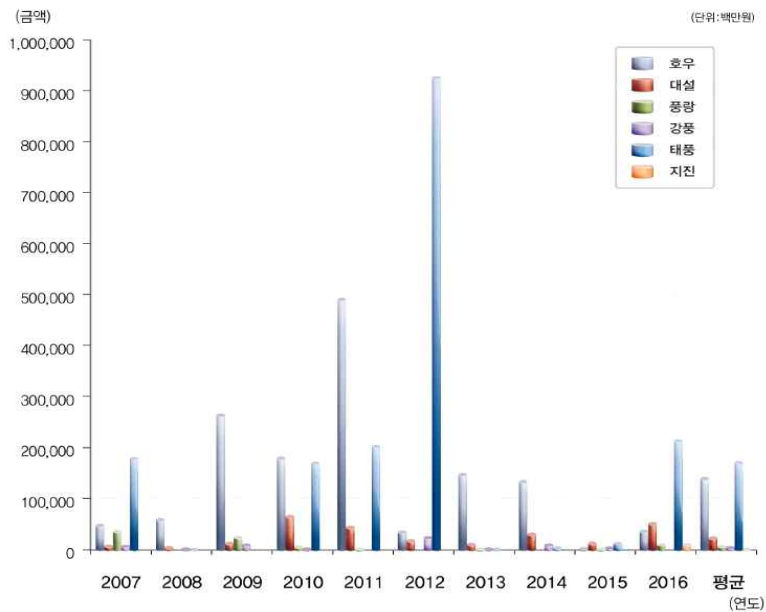


그림 1-1 1980년부터 2015년까지 세계의 재난재해 발생 현황 및 피해액 현황 (UNISDR, 2016)



S. Amy Corps of Engineers, 미 공병단)에서 개발한 재난폐기물 발생량 추정식을 EPA에서 공식적으로 사용하고 있으며, FEMA에서는 GIS를 활용한 HAZUS-MH 모델을 제시하였다 (FEMA, 2007; US EPA, 2008; FEMA, 2010). 국내에서는 재난폐기물 안전관리 지침 (환경부, 2013)을 통해 수해폐기물의 발생량을 예측하는 방법으로 침수예상도, 최근 10년간 수해폐기물 발생량, 가옥 수 등을 고려하거나 침수가옥 한 채당 1.7톤의 발생량 원단위를 이용하여 산정하는 방법을 제시하였다. 이러한 발생량 원단위는 침수건물 수만을 독립변수로 고려하고 있다는 문제점이 있고, 최근 수해폐기물 발생량 사례를 적용하였을 때 정확하게 추정하는지 확인할 필요가 있다. 이를 보완하기 위해서는 침수예상도, 최근 10년간 수해폐기물 발생량 사례, 가옥 수를 모두 고려하여 국내의 수해폐기물 발생량을 정확하게 추정할 수 있는 모델을 개발할 필요가 있다.

## 제 2 절 연구의 목적

본 연구에서는 침수흔적도, 최근 10년간 수해폐기물 발생량 사례, 침수 가옥 수를 모두 고려하여 국내의 수해폐기물 발생량을 추정할 수 있는 모델을 개발하고자 하였다. 기존에 발간된 재해연보의 통계자료를 이용하여 모델을 개발하는 방법과 GIS 공간자료를 활용하여 산정된 피해 정보들을 입력하여 모델을 개발하는 방법 사이의 차이를 분석하고자 하였다. 제시된 모델들 중에서 국내의 수해폐기물 발생량과 관련된 독립변수들을 파악하고, 최근 수해폐기물 발생량 실제값을 정확하게 추정할 수 있는지 확인하고자 하였다. 이를 위한 세부 연구 목표는 다음과 같다.

- 1) 재해연보의 통계자료를 이용한 수해폐기물 발생량 추정 모델 개발
- 2) GIS 공간자료를 이용한 수해폐기물 발생량 추정 모델 개발
- 3) 2016년 수해폐기물 발생량 사례를 적용하여 모델들의 정확도 검증

### 제 3 절 연구의 범위

국내의 수해폐기물 발생량 추정 모델 개발이라는 연구 목적을 달성하기 위해 기상특보에서 발표된 자연재난 중에서 집중호우와 태풍을 대상으로 하였으며, 국내 전역에서 나타난 수해폐기물 발생량 사례들을 연구 대상으로 선정하였다. 수해폐기물 중에서 해양폐기물을 제외한 육상폐기물로 선정하였으며, 이러한 육상폐기물의 발생량은 시·군·구 단위의 피해 지역 전체에서 수거된 수해폐기물의 총량을 의미한다. 전체 수해폐기물 발생량 사례 중에서 침수흔적도 자료와 연속지형지도를 수집할 수 있는 26개 사례만을 통계 분석에 이용하였다.

#### 1) 재해연보의 통계자료를 이용한 수해폐기물 발생량 추정 모델 개발

재해연보의 통계자료로부터 수해폐기물 발생량과 관련성이 높을 것으로 예상되는 독립변수로서 피해 건물, 피해 도로, 피해 하천, 피해 농경지, 피해 농작물, 침수 면적을 추출하였다. 이러한 피해 정보들은 26개의 수해폐기물 발생량 사례와 동일한 재난의 유형과 기간, 동일한 피해 지역을 기준으로 하여 수집되었다. 2개 이상의 독립변수와 수해폐기물 발생량 사이의 모델을 개발하기 위해 SPSS 23.0 소프트웨어를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였다. 변수를 입력하는 방법으로 입력, 단계선택법, 후진제거법, 전진선택법을 이용하여 여러 개의 다중회귀모델들을 제시하였으며, 수정된  $R^2$  값이 가장 높고 모델의 유의확률이 유의수준인 0.05보다 작게 나타난 모델을 가장 설명력이 높은 모델로 선정하였다. 26개의 수해폐기물 발생량 사례 중에서 재난의 유형을 집중호우와 태풍의 경우로 나누어 각각 다중회귀분석을 동일하게 실시하여 재난의 유형에 따라

모델에 입력된 독립변수가 다르게 나타나는 지 확인하였다. 또한 26개의 사례 중에서 도시 지역과 농어촌 지역으로 분류하여 각각 다중회귀분석을 실시한 결과를 통해 지형적 특징에 따라 모델에 입력된 독립변수가 다르게 나타나는 지 알아보았다.

## 2) GIS 공간자료를 이용한 수해폐기물 발생량 추정 모델 개발

26개의 수해폐기물 발생량 사례들을 대상으로 동일한 재난의 유형과 기간, 동일한 피해 지역을 기준으로 침수흔적도 자료를 수집하였고, GIS 소프트웨어인 QGIS Desktop 2.18.7을 이용하여 시·군·구별로 침수흔적도 자료를 추출하였다. 토지피복지도와 건물통합정보, 연속지형지도 또한 동일한 기준을 적용하여 수집하였고, 침수흔적도 자료와 동일한 좌표계로 설정한 뒤 시·군·구별로 자료를 추출하였다. 토지피복지도와 연속지형지도를 이용하였을 때 동일한 재난 발생 연도의 자료가 없는 경우에는 가장 인접한 연도의 자료를 수집하였고, 건물통합정보는 가장 최근에 최신화된 자료만을 이용할 수 있어서 2017년 자료만을 수집하였다. 이러한 GIS 공간정보를 이용하여 재해연보의 통계자료에서 입력한 독립변수들과 유사하게 피해 건물, 피해 도로, 피해 하천, 피해 농경지, 침수 면적을 산정하였다. 수해폐기물 발생량 추정 모델을 개발하기 위해 독립변수들과 수해폐기물 발생량 사이의 다중회귀분석을 실시하였고, 4가지의 변수 입력 방법을 적용한 분석 결과 중에서 수정된  $R^2$  값과 유의확률에 따라 가장 설명력이 높은 모델을 선정하였다.



### 3) 2016년 수해폐기물 발생량 사례를 적용하여 모델들의 정확도 검증

모델을 개발하는 데 이용한 26개의 수해폐기물 발생량 사례 이외에 2016년 수해폐기물 발생량이 기록되어있고, 침수흔적도와 연속지형지도 또한 확보된 4개의 사례들을 추가적으로 수집하였다. 재해연보의 통계자료를 이용한 모델과 GIS 공간자료를 이용한 모델에 2016년 사례들의 수집된 피해 정보들을 각각 적용하여 실제 폐기물 발생량과 모델들의 추정값들을 비교하는 방법을 통해 모델들을 검증하였다.

## 제 2 장 문헌 연구

### 제 1 절 수해폐기물

#### 2.1.1. 수해폐기물의 정의 및 발생 특성

국내에서 수해폐기물은 태풍, 집중호우, 해일 등 풍수해로 인한 침수지역에서 발생한 폐기물로서, 폐기물관리법 시행령 제2조에 따른 ‘사업장’ 이외에서 발생하는 쓰레기와 하천 상류에서 떠내려와 댐·호소·하구역, 하천변, 도로, 침수지역 등에 퇴적된 쓰레기를 말한다 (환경부, 2013). 기존의 장마철 수해쓰레기 처리 추진대책 (환경부, 2003)에서는 발생원별로 침수쓰레기, 하천변쓰레기, 댐·호소·하구둑 유입 부유쓰레기, 침수지역 가축사체, 항만·어항·연근해 해역에서 수거된 해양유입쓰레기로 구분하였다. 그 외에 소방방재청의 재해연보에서는 재난폐기물을 환경부 관리하의 육상쓰레기와 해양수산부 관리하의 해양쓰레기로 구분하여 다루고 있다.

미국의 FEMA(Federal Emergency Management Agency, 미국연방위기관리청)에서는 재난폐기물을 자연재난 또는 인적 재난으로 인해 부서지고 파괴되거나 해체된 각종 자재들이나 물품들로 정의하고 있으며, 그 예로 나무들, 건설폐기물, 사유 재산을 포함하고 있다 (FEMA, 2007). 수해폐기물에 대해서는 태풍과 홍수에 따른 폐기물의 발생 특성을 기록하였으며, 재난의 종류에 따라 발생가능한 폐기물의 성상을 표 2-1에 제시하였다. 태풍으로부터 발생하는 폐기물은 모든 태풍에 적용가능한 표준 성상 자료가 없고, 주로 초목폐기물이나 파괴된 건물 또는 시설의 건설폐기물, 사유 재산, 침전물 등이 포함된다. US EPA에서도 태풍이 발생

하였을 때 가장 많은 양을 차지하는 것이 초목폐기물이고 그 외에 건설 폐기물, 피해를 입은 자동차 또는 선박, 가구, 잔해 등이 폐기물로 나타난다고 제시하고 있다 (US EPA, 2008). 홍수로부터 발생하는 폐기물에는 피해를 입은 가옥이나 자동차로부터 발생된 건설폐기물, 진흙, 침전물, 모래 등이 섞인 형태로 나타나며, 때때로 공적 재산 또는 사유 재산에 침전된 유해물질도 확인할 수 있다고 한다.

일본에서는 수해폐기물의 정의보다는 발생 특성에 대해 구체적으로 제시되어 있었다 (일본 환경성, 2005). 주로 대형폐기물 및 생활쓰레기가 대량으로 발생하고 그 외에 분뇨나 떠내려간 목재, 토사 등이 나타나며, 수분을 많이 포함하고 있기 때문에 부패하기 쉽고 악취·오수가 발생된다고 한다. 유해물질로 가스 봄베와 같이 발화하기 쉬운 폐기물 또는 다다미와 같이 발열·발화할 가능성이 있는 폐기물, 폐타이어나 업무용 프로판 등이 섞여있을 수 있어서 주의가 필요하다고 설명하고 있다.

표 2-1. 재난의 종류에 따라 발생가능한 폐기물의 성상 (FEMA, 2007)

		Typical debris streams							
		Vegetative	Construction and demolition (C&D)	Personal property/ Household items	Hazardous waste	Household hazardous waste (HHW)	White goods	Soil, mud and sand	vehicles and vessels
Types of disasters	Hurricanes/ typhoons	X	X	X	X	X	X	X	X
	Tsunamis	X	X	X	X	X	X	X	X
	Tornadoes	X	X	X	X	X	X	X	X
	Floods	X	X	X	X	X	X	X	X
	Earthquakes			X		X	X	X	
	Wildfires	X		X		X	X	X	
	Ice storms	X				X			

### 2.1.2. 국내 수해폐기물 발생 현황

환경부는 재난특별대책지역으로 지정하여 국고를 지원한 수해폐기물에 대한 처리량과 처리비용에 대한 자료를 보고받고 있으며 현재까지 별도의 통계를 작성하여 공표하지는 않았다 (Oh and Kang, 2013). 환경부 (폐자원관리과)의 내부자료에 따르면 2007년부터 2010년까지 침수지역 수해폐기물 발생량 및 국고지원 내역은 표 2-2와 같다. 그림 2-1은 국내의 재난특별대책지역으로 선포된 지방자치단체의 수해쓰레기 발생량과 동일한 지역의 2010년도 생활폐기물 발생량을 비교한 결과이다. 그 비율이 가장 큰 지역은 보령시였으며 1일 생활폐기물 발생량의 297%가 발생하였다. 이는 3일분 정도의 생활폐기물량으로 지방자치단체에서 자체적으로 대응하는데 큰 문제는 없었을 것으로 생각된다고 한다.

조지혜·김태현 외(2016)은 소방방재청의 재해연보에 기록된 수해폐기물을 정리하여 최근 5년간 전국 수해폐기물 발생현황을 제시하였다 (그림 2-2). 국내에서는 연간 최저 3,291톤에서 최대 16만 2,779톤의 수해폐기물이 발생하고 있다. 2010년부터 2014년까지 총 13건의 특별재난지역 선포가 있었으며, 7건의 호우, 4건의 태풍, 2건의 대설로 인한 피해가 이에 해당한다. 특히, 2011년 서울에 발생된 3일간의 집중호우로 누적강수량 595mm를 기록하였고, 우면산 산사태로 대규모 인명피해가 있었다.

표 2-2. 2007년부터 2010년까지 침수지역 수해쓰레기 발생량 및 국고지원 내역 (Oh and Kang, 2013)

Year	Waste amount (ton)	National budgets support (million won)	Special disaster areas
2007	1,600	86	Jeollanam-do (Goheung-gun)
2008	13,284	1,285	Gyeongsangbuk-do (Bonghwa-gun)
2009	14,232	3,230	Chungcheongnam-do (Nonsan-si), Jeollabuk-do (Wanju-gun), Jeollanam-do (Mokpo-si, Naju-si, Muan-gun, Hwasun-gun, Sinan-gun), Gyeongsangnam-do (Hadong-gun)
2010	17,375	1,557	Chungcheongnam-do (Goryeong-si, Seosan-si, Taean-gun, Dangjin-gun), Jeollabuk-do (Wanju-gun), Jeollanam-do (Damyang-gun, Gokseong-gun)

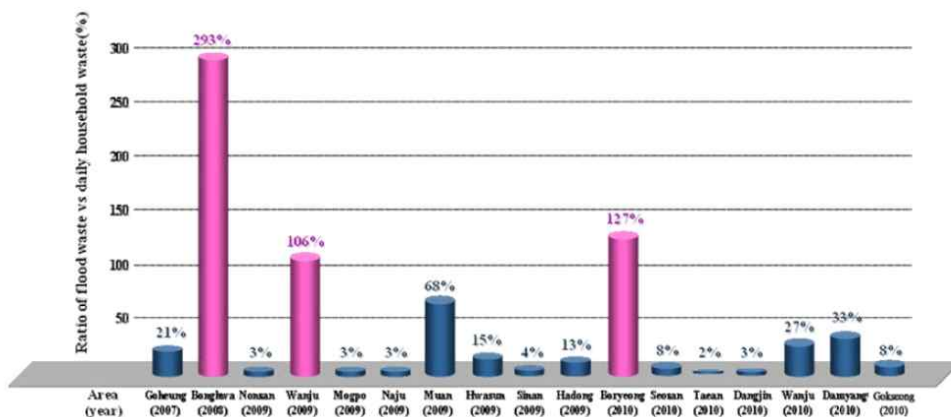


그림 2-1 재난특별대책지역의 수해폐기물의 1일 생활폐기물 발생량과 비교

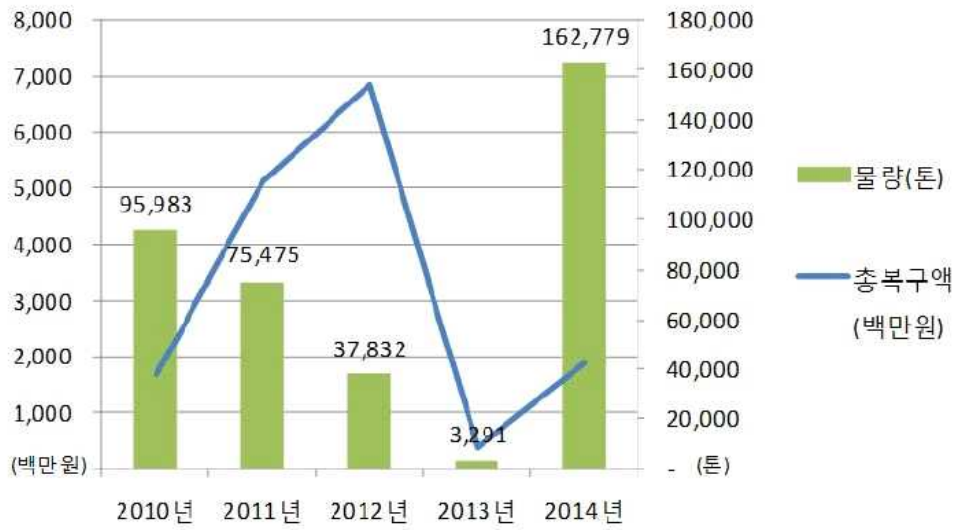


그림 2-2 최근 5년간 수해폐기물 발생량 및 복구액 (조지혜·김태현 외, 2016)

## 제 2 절 수해폐기물 발생량 추정 방법

### 2.2.1. 미국의 수해폐기물 발생량 추정 방법

미국에서는 GIS를 활용한 HAZUS-MH (Hazards U.S. Multi-Hazard) 모델과 허리케인으로부터 발생한 수해폐기물의 양을 예측하는 모델을 주로 이용하고 있다 (FEMA, 2007; US EPA, 2008). HAZUS-MH 모델은 지진과 허리케인, 홍수로 인한 각종 사회기반시설들과 건물들의 피해와 경제적 손실액을 예측할 수 있다. 그림 2-3과 같이 HAZUS-MH 홍수 모델의 개요를 나타냈으며, 특정 지역의 수치표고모델 또는 지형 모델에 침수 상황을 가정하여 침수심과 침수 면적을 산출하고, 피해 지역의 건물 정보를 중첩시켜 물리적 피해와 경제적 손실액을 추정한다.

이외에 미 공병단에서 인구수와 가구 밀도, 허리케인 등급 및 식생 밀도, 상업지구 밀도, 강수량을 기반으로 허리케인이 발생하였을 때 폐기물의 발생량을 예측하는 식을 개발하였다 (식 2-1). 위 식의 변수들 중에서 피해 지역의 인구수 또는 가구 수가 가장 중요한 변수이며, 이 모델로부터 도출된 폐기물 발생량의 정확도는 30% 정도이다.

$$Q = H \times C \times V \times B \times S \quad (\text{식 2-1})$$

여기서,  $Q$  : 예상 폐기물 발생량 (cubic yards)

$H$  : 가구 수 또는 인구 수/3 (household = population divided by 3)

$C$  : 허리케인 등급 (cat1 = 2, cat2 = 8, cat3 = 26, cat 4 = 50, cat 5 = 80)

$V$  : 식생밀도 (1.1 for light, 1.3 for medium, 1.5 for heavy)

$B$  : 상업구조비율 (%) (1.0 for light, 1.2 for medium, 1.3 for heavy)

$S$  : 강수량 지수 (1.0 for none to light, 1.3 for medium to heavy)



위의 두 모델을 제외하고 항공 사진이나 위성 사진과 같은 원격 탐사 정보와 현지 실측 조사를 결합하여 수해폐기물의 발생량과 섞인 정도, 상상을 예측할 수 있다고 한다. 이 과정에서 GIS 지도를 활용하는 것이 중요하며, 원격 탐사 정보가 기록된 지역에 GIS 지도를 중첩시켜 매립지의 위치, 폐기물 수거 경로, 임시적환장의 위치 등을 빠르게 확인할 수 있다.

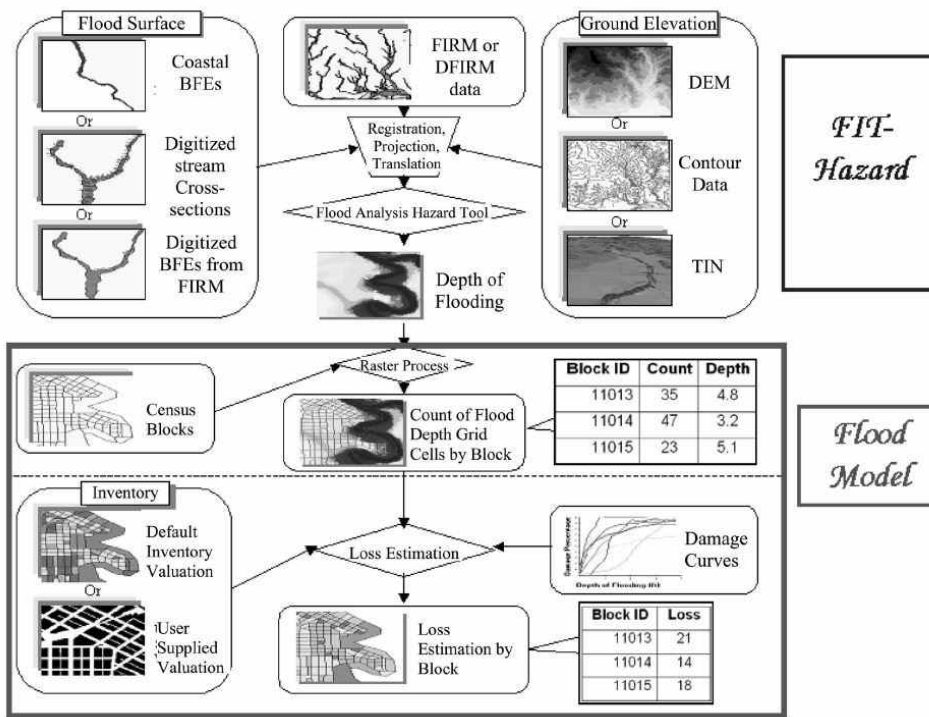


그림 2-3 HAZUS-MH 홍수 모델의 개요

### 2.2.2. 일본의 수해폐기물 발생량 추정 방법

일본에서는 수해 및 지진으로 인한 재난폐기물의 발생량을 추정하기 위해 재해 발생 전과 후를 나누어 산정하고 있다 (그림 2-4). 재해 발생 전에는 예상 피해 가옥의 수를 추정하고 과거 사례를 바탕으로 도출된 발생 원단위를 사용하여 발생량을 예측하는데, 수해 시에는 전과 및 반과된 건물에서의 마루 밑·위 침수 가옥 수를 변수로 추가하여 추정하게 된다. 또한 지역 특성을 반영하여 건물 밀도 등을 포함한 토지 이용 및 건물 구조(목조, 비목조 등) 설치 현황 등을 파악하여 발생 원단위를 설정함으로써 재난폐기물 발생량을 추정할 수 있다 (Yamanaka et al., 2013; Yamanaka et al, 2014; Tabata et al, 2016; Shirai et al, 2016).

안나카 시에서는 홍수위험지도에서 100년에 한 번 내릴 수 있는 큰 비로 인한 침수 상황을 가정하여 수해폐기물 발생량을 예측하였다. 예측에 이용한 추정식은 식 2-2와 같고, 미쓰케 시의 폐기물 처분 방식에 따른 비율을 적용하여 성상별 처리량을 표 2-3과 같이 산정하였다 (오길중 외, 2012; 조지혜·김태현 외, 2016).

$$Y = 16.1X_1 + 1.20X_2 + 1.37X_3 - 0.015X_4 \quad (\text{식 2-1})$$

여기서,  $Y$  : 수해폐기물 발생량 (ton)

$X_1$  : 마루 위 침수 가옥 수 (0~49cm)

$X_2$  : 마루 위 침수 가옥 수 (50~99cm)

$X_3$  : 마루 위 침수 가옥 수 (100cm~)

$X_4$  : 마루 아래 침수 가옥 수 (0~49cm)

표 2-3. 일본 안나카 시의 예측되는 수해 수준 (오길중 외, 2012)

항목	예측치		추정식	항목	미쓰케 시 (참고)	안나카 시 (예측)	
총 강수량 (2일)	354mm				처리율	배출량	
항목	피해동 수	피해자 수					
피해 합계	1,158동	3,004명		소각	55%	1,186톤	
침수 깊이	~0.5m	89동	224명	$Y=16.1 \times (89/2)$	매립	31%	669톤
	0.5m~1m	138동	360명	$+1.2 \times (138)$ $+1.37 \times (436+495)$			
	1m~2m	436동	1,123명	$-0.015 \times (89/2)$	자원화	14%	302톤
	2m~5m	495동	1,297명	$=2,157\text{톤}$	합계	100%	2,157톤

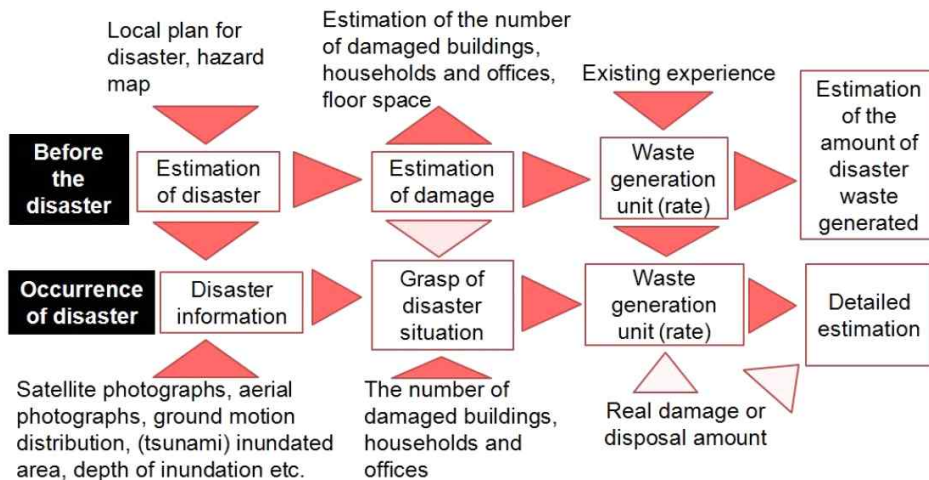


그림 2-4 재난폐기물 발생량 추정 순서 (JSMCWM, 2012)

### 2.2.3. 대만의 수해폐기물 발생량 추정 방법

Chen et al.(2007)은 대만에서 발생한 4건의 홍수 피해 사례를 바탕으로 수해폐기물 발생량이 인구밀도, 총 강수량 및 홍수피해 면적과 비선형 상관관계에 있음이 유의미함을 보였다 (표 2-4). 이에 따라 세 변수를 독립변수로 입력한 발생량 추정식을 통해 수해폐기물 발생량을 산정할 수 있다.

표 2-4. 대만 수해폐기물 발생량 추정식 (Chen et al., 2007)

	예측 발생량 추정식	P-value	R <sup>2</sup>
로그 변환	$\log y = -4.137 + 0.718 \log x_1 + 0.600 \log x_2 + 1.422 \log x_3$	$\log x_1 : 0.0029,$ $\log x_2 : <0.0001,$	0.538
지수 함수	$y = 7.29 \times 10^{-5} \times x_1^{0.718} \times x_2^{0.600} \times x_3^{1.422}$	$\log x_3 : 0.0113,$ $\log a : 0.0096$	
로그 변환	$\log y = -3.7291 + 0.5989 \log x_4 + 1.422 \log x_3$	$\log x_4 : 0.0127$ $\log x_3 : <0.0001,$	0.541
지수 함수	$y = 1.866 \times 10^{-4} \times x_4^{0.5989} \times x_3^{1.422}$	$\log a : 0.0113$	

※ y : 수해폐기물 발생량 (ton), x<sub>1</sub> : 인구밀도 (명/km<sup>2</sup>),  
x<sub>2</sub> : 홍수피해 면적 (ha), x<sub>3</sub> : 총 강수량 (mm), x<sub>4</sub> : x<sub>1</sub>×x<sub>2</sub>

## 제 3 장 연구 데이터 및 연구 방법

### 제 1 절 연구 데이터

#### 3.1.1. 수해폐기물 발생량 사례

본 연구에 이용한 수해폐기물 발생량 자료는 재해연보의 연도별 복구비 지원내역 통계로부터 수집하였고, 연도별 기간별-시·군·구별-부처별 복구비 지원내역에서 육상쓰레기 발생량을 대상으로 하였다. 재해연보에는 국가에서 지원하여 처리된 육상쓰레기와 지방자치단체의 육상쓰레기 처리량을 구분하여 기록하였다. 이러한 육상쓰레기 발생량은 피해 지역에서 발생한 수해폐기물의 총 발생량으로 판단하였다. 이를 위해 국가에서 지원받은 경우와 지방자치단체에서 처리한 경우를 합산하였다. 수집한 수해폐기물 발생량 자료에는 재난재해의 유형(집중호우와 태풍), 피해 지역(시·군·구)과 재난재해 기간이 기록되어있다. 총 90개의 사례 중에서 침수흔적도 자료가 기록된 29개를 대상으로 통계분석을 진행하였다. 29개의 사례 중에서 부산광역시 기장군과 부산광역시 북구, 경기도 파주시 사례들은 제외시킨 뒤 26개의 사례만을 통계분석에 이용하였다 (표 3-1). 부산광역시 기장군과 부산광역시 북구의 사례는 조지혜·김태현(2016)에 따라 환경부 자료와 부산시청 자료의 폐기물 발생량이 상이하 여 자료의 정확성이 부족하다고 판단하고 제외시켰다. 경기도 파주시 자료는 침수흔적도 자료를 확인하였으나 연속지형지도 자료가 접경 지역이라는 이유로 제공되지 않아 제외시켰다.

표 3-1. 재해연보로부터 수집한 수해폐기물 발생량 사례

Disaster year	Region	Disaster types	Geogrphical features	Flood debris generation (ton)
2008	Ulju	Heavy rain	Farming and fishing village	122
2008	Bonghwa	Heavy rain	Farming and fishing village	10,790
2009	Hwasun	Heavy rain	Farming and fishing village	1,300
2009	Wanju	Heavy rain	Farming and fishing village	4,713
2011	Kochang	Typhoon	Farming and fishing village	130
2011	Kapyeong	Heavy rain	Farming and fishing village	85
2011	Wanju	Heavy rain	Farming and fishing village	655
2011	Yongin	Heavy rain	City	5,057
2011	Dongducheon	Heavy rain	City	15,000
2011	Yangju	Heavy rain	City	3,500
2011	Pocheon	Heavy rain	City	6,000
2012	Yeongam	Typhoon	Farming and fishing village	1,000
2012	Yeonggwang	Typhoon	Farming and fishing village	180
2012	Jindo	Typhoon	Farming and fishing village	430
2012	Sancheong	Typhoon	Farming and fishing village	250
2012	Koryeong	Typhoon	Farming and fishing village	2,000
2012	Seongju	Typhoon	Farming and fishing village	3,500
2012	Pohang	Typhoon	City	3,703
2012	Milyang	Typhoon	Complexed	1,100
2012	Kimcheon	Typhoon	Complexed	3,500
2012	Gunsan	Typhoon	Complexed	2,365
2012	Jeju	Typhoon	Complexed	1,966
2012	Mokpo	Typhoon	City	530
2013	Yeosu	Heavy rain	Complexed	1,341
2013	Leecheon	Heavy rain	City	1,600
2013	Gyeonggi Gwangju	Heavy rain	City	350

### 3.1.2. 재난재해 피해 정보

재난재해 피해 정보들은 재해연보(국민안전처, 2008-2014)의 자연재해 상황 통계로부터 수집하였고, 구체적으로 기간별-시·군·구별 피해내역에 기록되어있다. 수해폐기물 발생량과 관련성이 있을 것으로 예상되는 피해 정보들은 수해폐기물 발생량 자료의 재난재해 유형, 피해 지역과 재난재해 기간이 모두 일치하도록 하였으며, 표 3-2와 같이 추출하였다. 추출된 피해 정보들은 피해 건물, 피해 도로, 피해 하천, 피해 농경지, 침수 면적이며, 여기서 피해 건물은 전파 또는 유실된 건물, 반파된 건물과 침수된 건물의 수를 합한 것을 말한다. 피해 하천은 수해 발생 이후 피해를 입은 국가 하천과 지방 하천, 소하천들의 길이를 모두 합산한 것이다. 피해 농경지 면적은 수해로 인하여 농경지가 유실된 총 면적을 계산한 것이며, 피해 농작물 면적은 수해로부터 피해를 입은 농작물들의 총 면적을 말한다.

표 3-2. 재해연보로부터 수집한 재난재해 피해 정보

Disaster year	Region	Damaged buildings (dong)	Damaged roads (m)	Damaged rivers (m)	Damaged farmland areas (ha)	Damaged crop areas (ha)	Flooded areas (ha)
2008	Ulju	112	154	2,787	12	146	148
2008	Bonghwa	175	3,378	18,445	178	249	0
2009	Hwasun	120	1,533	34,516	55	382	0
2009	Wanju	31	2,133	36,422	56	234	0
2011	Kochang	58	1,090	12,463	8	3297	0
2011	Kapyeong	29	1,633	7,907	29	27	0
2011	Wanju	35	2,050	12,608	7	146	1
2011	Yongin	800	295	5,075	16	120	0
2011	Dongducheon	56	6,690	2,386	39	47	0
2011	Yangju	329	9,874	27,668	89	129	0
2011	Pocheon	107	5,323	43,197	165	419	0
2012	Yeongam	72	321	920	2	14,714	0
2012	Yeonggwang	69	790	4,479	1	9,827	0
2012	Jindo	277	707	6,469	6	6,662	0
2012	Sancheong	44	1,940	21,476	82	376	0
2012	Koryeong	46	1,592	8,645	55	330	0
2012	Seongju	477	6,610	31,749	242	669	0
2012	Pohang	133	1,456	10,133	11	435	143
2012	Milyang	12	610	5,912	1	515	0
2012	Kimcheon	305	6,420	37,985	261	606	0
2012	Gunsan	210	874	110	1	3,003	0
2012	Jeju	190	3,203	150	2	9,835	0
2012	Mokpo	312	334	0	0	309	0
2013	Yeoju	649	7,223	20,005	162	412	0
2013	Leecheon	279	4,465	21,334	97	685	0
2013	Gyeonggi Gwangju	149	770	9,198	17	53	0



### 3.1.3. 2016년 수해폐기물 발생량 사례

2016년 수해폐기물 발생량 사례들은 다중회귀분석에 이용하였던 2008년부터 2014년까지의 수해폐기물 발생량 사례들과 중첩되지 않게 하여 다중회귀모델을 검증하기 위한 데이터이다. 표 3-3과 같이 2016년 수해폐기물 발생량 사례들의 재난 발생 연도, 피해 시·군·구 지역, 재난의 유형, 지형적 특징(도시지역/농어촌지역), 수해폐기물 발생량을 나타내었다. 2016년 수해폐기물 발생량 사례들의 재난재해 피해 정보들은 또한 수해폐기물 발생량 자료의 재난재해 유형, 피해 지역과 재난재해 기간이 모두 일치하도록 하였으며, 표 3-4와 같이 추출하였다. 추출된 피해 정보들은 피해 건물, 피해 도로, 피해 하천, 피해 농경지, 침수 면적이다.

표 3-3. 재해연보로부터 수집한 2016년 수해폐기물 발생량 사례

Disaster year	Region	Disaster types	Geographical features	Flood debris generation (ton)
2016	Ulsan bukgu	Typhoon	City	6,000
2016	Ulsan junggu	Typhoon	City	14,000
2016	Ulsan namgu	Typhoon	City	5,500
2016	Ulsan uljugun	Typhoon	Farming and fishing village	11,000

표 3-4. 재해연보로부터 수집한 2016년 수해폐기물 발생량 사례의 재난재해 피해 정보

Disaster year	Region	Damaged buildings (dong)	Damaged roads (m)	Damaged rivers (m)	Damaged farmland areas (ha)	Damaged crop areas (ha)	Flooded areas (ha)
2016	Ulsan bukgu	312	334	0	0	309	0
2016	Ulsan junggu	649	7,223	20,005	162	412	0
2016	Ulsan namgu	279	4,465	21,334	97	685	0
2016	Ulsan uljugun	149	770	9,198	17	53	0

## 제 2 절 GIS 공간정보 구축 및 분석

### 3.2.1. 침수흔적도

침수흔적도는 2015년 국민안전처에서 발간한 재해지도 작성 기준 등에 관한 지침에 따라 태풍, 호우, 해일 등 풍수해로 인한 침수피해가 발생한 지역에 대하여 침수흔적 조사 및 측량을 실시하고 침수구역에 대한 침수위, 침수심, 침수 시간 등을 조사하여 연속지적도 및 수치지형도 등에 표시한 지도를 말한다. 침수흔적도에는 기본도형 자료와 침수상황 속성자료가 포함되어 있으며, 침수상황 속성자료는 재해명, 위치, 침수일자, 침수위, 침수심, 침수구역, 침수면적, 침수 원인, 침수피해내용, 피해액 등의 내용이 입력되어있다.

본 연구에서는 수해폐기물 발생량 사례들과 동일한 재난의 기간과 유형, 동일한 피해 시·군·구 지역을 대상으로 침수흔적도 자료를 수집하여 GIS를 통해 침수 흔적과 중첩되는 피해 정보들을 추가적으로 산정하였다. 침수흔적도를 수집하는 절차는 먼저 한국국토정보공사에 공문을 요청하여 침수흔적도의 이용 목적, 조사 기간, 대상 지역 등을 알린 뒤 3주 동안 검토 과정을 거쳐 shp 파일 형태로 침수흔적도를 전송받는다. 침수흔적도가 작성된 기간은 2008~2016년이었으며, 침수흔적도 대상 지역은 국내 전역이었다. 그림 3-1은 2011년 7월 집중호우로 인한 동두천시의 침수흔적도를 편집하여 나타낸 것이다. 침수 깊이별로 0~0.5m, 0.5~1.0m, 1.0~1.5m, 1.5~2.0m에 따라 침수된 위치와 침수된 면적을 확인할 수 있다.

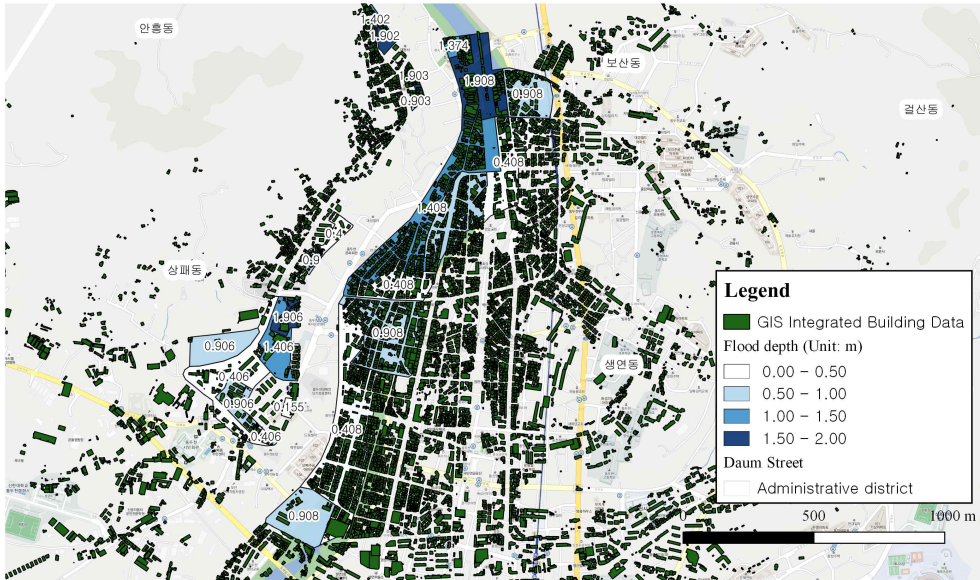


그림 3-1 2011년 7월 집중호우로 인한 동두천시의 침수흔적도

### 3.2.2. 토지피복지도

토지피복지도는 지구 표면 지형지물의 형태를 일정한 과학적 기준에 따라 분류하여 동질의 특성을 지닌 구역을 Color Indexing한 후 지도의 형태로 표현한 것이다. 지표면의 현상을 가장 잘 반영하기 때문에 지표면의 투수율에 의한 비점오염원 부하량 산정, 댐 수문 방류 시 하류지역 수물피해 시뮬레이션, 기후대기 예측 모델링, 환경영향평가 등에 폭넓게 활용되고 있다. 토지피복지도는 해상도에 따라 대분류 (해상도 30m급), 중분류 (해상도 5m급), 세분류 (해상도 1m급)으로 나뉘어지며, 그림 3-2와 같이 대분류 7개 항목, 중분류 22개 항목, 세분류 41개 항목으로 세분화된다. 본 연구에서는 2010년에서 2016년까지 제작된 중분류 또는 세분류 토지피복지도를 이용하였고, 대상 지역은 국내 전역이었다. 토지피복지도의 분류체계 중에서 농업 지역의 위치와 면적을 확인하기 위해 환경

공간정보서비스에서 토지피복지도 shp 파일을 다운로드하여 편집하였다.

대분류(7항목)	코드	색상	중분류(22항목)	코드	색상	세분류(41항목)	코드	색상			
시가지/ 건조지역	100		주거지역	110		단독주거시설	111				
			공업지역	120		공동주거시설	112				
			상업지역	130		공업시설	121				
			문화·체육·휴양시설	140		산업·업무시설	131		산업·업무시설	131	
						혼합시설	132		혼합시설	132	
			교통지역	150		문화·체육·휴양시설	140		문화·체육·휴양시설	141	
									공황	151	
농업지역	200		농	210		공황	152				
						경지정리가 된 논	211				
			밭	220		경지정리가 안 된 논	212		경지정리가 안 된 논	212	
						경지정리가 된 밭	221		경지정리가 안 된 밭	222	
			기타재배지	250		시설재배지	230		시설재배지	231	
						과수원	240		과수원	241	
						목장·양어장	251		목장·양어장	251	
산림지역	300		활엽수림	310		기타재배지	252				
						활엽수림	311		활엽수림	311	
			침엽수림	320		침엽수림	321		침엽수림	321	
						혼효림	330		혼효림	331	
초지	400		자연초지	410		자연초지	411				
						인공초지	420		인공초지	421	
			습지	500		내륙습지	510		골프장	421	
연안습지	520								표지	422	
나지	600		자연 나지	610		기타 초지	423				
						내륙습지	511		내륙습지	511	
			기타 나지	620		갯벌	521		갯벌	521	
						연천	522		연천	522	
						해변	611		해변	611	
수역	700		내륙수	710		갯벌	521				
						해안수	720		갯벌	521	
			기타 나지	620		갯벌	521		갯벌	521	
						하천	711		하천	711	
호소	712		호소	712							
해양수	721		해양수	721							

그림 3-2 토지피복지도의 분류체계

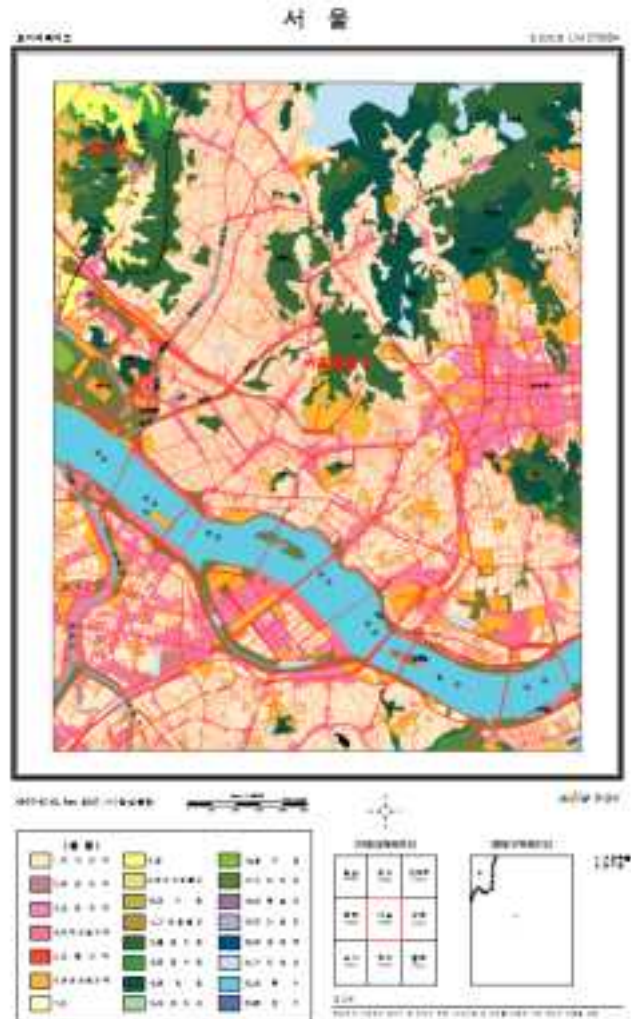


그림 3-3 서울특별시의 중분류 토지피복지도 샘플

### 3.2.3. 건물통합정보

건물통합정보는 연속수치지형도 (수치지형도 2.0의 건물레이어)의 건물공간정보와 건축행정시스템(세움터)의 건축물대장 속성정보를 건물 단위로 통합하여 구축한 공간정보이다. 각 데이터들의 속성에는 공간참조

체계, 건물명칭, 지상층수, 지하층수, 연면적, 대지면적, 높이, 구조, 용도, 건폐율, 용적을 등의 정보를 포함하고 있다. 건물통합정보는 국가공간정보포털의 오픈마켓에서 건물통합정보를 검색한 뒤 “건물통합정보\_마스터”의 지역별 shp 파일을 다운로드하여 얻을 수 있다. 본 연구에서는 침수흔적과 동일한 지역 위의 건물의 공간정보를 수집하고 피해 건물의 수를 산정하고자 하였다. 건물통합정보가 최신화된 시기가 2017년이었으며, 이전 시기의 건물통합정보는 제공되지 않는다고 하여 2017년 국내 전역의 건물통합정보를 이용하였다.

#### 3.2.4. 연속수치지도

연속수치지도는 도엽 단위로 분리된 지도정보를 연속화하여 실세계의 단위 정보와 지도의 단위 정보를 일치화한 수치지도로서 도형정보와 속성정보를 모두 포함하고 점, 선, 다각형을 모두 이용하여 지형지물을 묘사한다. 연속수치지도의 데이터 분류에는 교통, 시설, 수계, 지형, 경계, 주기가 포함되며, 총 107개의 지형지물을 GIS을 통해 확인할 수 있다. 수집 절차는 국토정보플랫폼에서 원하는 지역의 연속수치지도를 신청한 뒤 shp 파일 형태로 다운로드하여 편집하는 것이다. 본 연구에서는 도로중심선과 하천중심선 레이어를 이용하여 침수 흔적과 중첩한 뒤 피해 도로의 길이와 피해 하천의 길이를 산정하였다. 축척이 1:5,000인 연속수치지도를 수집하였으며, 제작 년도는 2011~2016년이었고, 침수흔적의 시기와 일치하지 않은 경우 인접한 제작 년도의 자료를 이용하였다. 그림 3-4는 연속수치지도의 예시를 나타낸 것이다.



그림 3-4 연속수치지도의 모양 예시 (국토지리정보원, 2016)

### 3.2.5. 공간정보 구축 및 분석 방법

GIS (Geographic Information System)는 지리 및 공간자료를 저장·변형·분석하여 유용한 형태의 새로운 정보로 표현하는 과정 및 도구를 뜻하며, 활용되는 분야와 관점에 따라 지도화, 데이터베이스, 분석 및 의사결정 도구 등 세 가지 관점으로 분류 및 정의할 수 있다. GIS는 공간자료로의 저장, 관리 및 분석 도구로서의 기능 확대를 바탕으로 특정 사안에 대해 합리적이고 객관적인 접근을 가능하게 한다. 본 연구에서 GIS



공간정보를 이용한 이유는 수해폐기물 발생량 추정 모델의 기초자료를 축적하고 재해연보의 통계자료에서 확인할 수 없는 피해 정보들 (침수 깊이, 침수 면적, 세부 토지이용정보 등)을 추가적으로 수집가능하기 때문이다. 또한, 추후에 제안된 수해폐기물 발생량 추정 모델을 이용하여 수해폐기물 처리 계획을 수립하는 데 있어서 폐기물 수거 경로 도출, 폐기물 수거 소요 시간 계산, 인근 임시적환장 후보지 결정 등의 의사 결정을 지원할 수 있기 때문이다.

본 연구의 침수흔적도와 건물통합정보, 토지피복지도, 연속수치지도는 shp 파일로 공간분석에 활용 가능한 데이터로의 변환 과정을 거쳤다. GIS 소프트웨어인 QGIS Desktop 2.18.7을 이용하여 수해폐기물 발생량 사례와 동일한 재난 발생 연도와 재난 유형, 동일한 피해 지역을 대상으로 4개의 레이어들을 중첩시켰고, 피해 지역의 위치를 좌표계 상에서 일치시키기 위해 국토지리정보원의 표준좌표계 (EPSG: 5186)으로 레이어들의 좌표계를 변환하였다. 침수흔적의 침수 면적을 기준으로 불필요한 레이어의 영역들을 자르기 (Clipping) 기능을 이용하였으며, 피해 도로의 길이와 피해 하천의 길이, 침수 면적을 데이터별로 계산해주는 지오메트리 컬럼 내보내기/추가 기능을 활용하였다. 피해 시·군·구 지역의 피해정보들을 합산하기 위해 편집을 마친 각 레이어들을 엑셀 파일 형태로 저장한 뒤, 피해 도로의 총 길이와 피해 하천의 총 길이, 총 침수된 면적을 Sum 함수를 이용하여 구하였다. 그림 3-5는 2011년 7월 집중호우로 인한 동두천시의 수해폐기물 발생량 사례를 대상으로 침수흔적과 토지피복지도를 중첩시킨 이후 토지피복지도를 편집하는 작업을 나타낸 것이다. 초록색으로 표시된 영역이 침수흔적과 동일한 넓이의 토지피복지도 레이어이며, 레이어의 속성 중에서 “area”라는 지오메트리 컬럼을 통해 객체별 면적을 산정하였다.

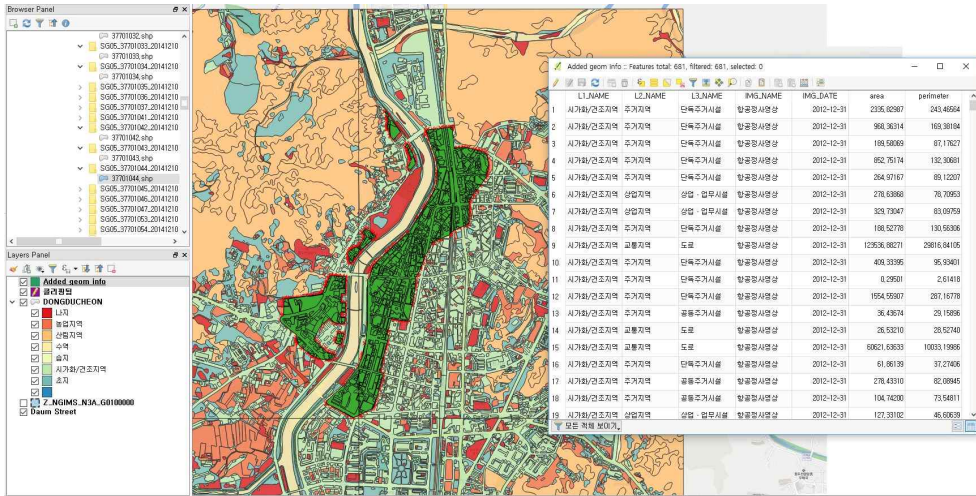


그림 3-5 2011년 7월 집중호우로 인한 동두천시의 사례를 대상으로 토지피복지도를 편집하는 작업 과정

### 제 3 절 통계 분석 방법

#### 3.3.1. 다중회귀분석

다중회귀분석은 등간척도 (또는 비율척도)로 측정된 두 개 이상 여러 개의 독립변수와 등간척도 (또는 비율척도)로 측정된 한 개의 종속변수 간의 인과관계를 분석하는 통계방법이다. 다중회귀분석의 연구 절차는 다섯 단계로 이루어진다. 첫째, 변수의 측정과 수에 유의하여 연구가설을 만든 후 유의도 수준 ( $p < 0.05$  또는  $p < 0.01$ )을 정한다. 둘째, 데이터를 수집하여 입력한 후 SPSS/PC<sup>+</sup> (23.0)의 회귀분석을 실행하여 분석에 필요한 결과를 얻는다. 셋째, 결과 분석의 첫 번째 단계로 선형성 (linearity), 오차변량의 동질성 (homoscedasticity), 다중공선성 (multicollinearity)의 전제를 검증하고 편차가 큰 사례 (outlier)도 검사한다. 넷째, 결과 분석의 두 번째 단계로 회귀모델의 유의도를 검증한다.

설명변량 ( $R^2$ )과 변량분석을 통한 유의도 검증방법을 살펴본다. 다섯째, 결과 분석의 세 번째 단계로, 개별 회귀계수의 유의도를 검증한다.

본 연구에서 SPSS/PC\*에서 다중회귀분석을 실시한 방법은 다음과 같다. 첫째, 메뉴판의 분석을 선택하여 회귀분석을 클릭하고 선형을 클릭한다. 둘째, 선형회귀 창이 나타나면 왼쪽의 변수들 중에서 종속변수인 수해폐기물을 “종속변수”로 옮긴다. 독립변수인 피해 건물, 피해 도로, 피해 하천, 피해 농경지, 피해 농작물, 침수 면적을 “독립변수”로 이동시킨다. 방법에는 “입력”이 기본적으로 설정되어 있다. 셋째, 오른쪽의 통계량을 클릭하여 회귀계수의 “추정값”, “모형적합”이 기본적으로 설정되어 있는지 확인하고 추가적으로 “R제곱 변화량”, “기술통계”, “공선성 진단”을 선택한다. 잔차의 “케이스별 진단”을 클릭하여 “◎밖에 나타나는 이상값: 3 표준편차”를 기본으로 설정한 뒤, 계속을 클릭한다. 넷째, 도표를 클릭하여 산점도 1 대상 1로 왼쪽의 변수를 클릭하여 이동시킨다. “Y:”에는 “\*ZRESID”를 “X:”에는 “\*ZPRED”를 이동시킨다. 표준화 잔차도표의 “히스토그램”과 “정규확률도표”를 선택한다. 다섯째, 옵션을 클릭하여 “방정식에 상수항 포함”의 체크를 해제한다. 수해폐기물 추정식에서 다른 독립변수의 영향이 없으면 종속변수인 수해폐기물 또한 발생하지 않는 현상을 반영하기 위해서이다. 여섯째, 분석 결과가 “출력결과 1 (문서 1)”로 나타나며, 기술통계량, 상관계수와 입력/제거된 변수, 유의도 검증, 공선성 진단과 잔차통계량 (전제 검증), 히스토그램, 정규확률분포가 제시된다. 일곱째, 첫째부터 여섯째를 반복하되 변수 입력방법을 “단계선택”, “후진”, “전진”을 추가적으로 실행한다.

본 연구에서는 수해폐기물 발생량을 종속변수로 하고, 재해연보의 통계자료 중에서 피해 건물, 피해 도로, 피해 하천, 피해 농경지, 피해 농작물, 침수 면적을 독립변수로 입력하여 다중회귀분석을 실시하였다. 변수

입력방법으로 입력, 단계선택, 후진, 전진을 모두 이용하여 다양한 모델들을 제시한 이후에 수정된  $R^2$  값이 가장 높고, 유의확률 ( $p$ )이 유의도 수준인 0.05보다 작게 나타난 모델을 설명력이 가장 높은 모델로 결정하였다. GIS 공간자료로부터 수해폐기물 발생량 추정 모델을 개발하기 위해서 수해폐기물 발생량을 종속변수로 하고, GIS 공간자료로 피해 건물, 피해 도로, 피해 하천, 피해 농경지, 침수 면적을 독립변수로 입력하여 다중회귀분석을 실시하였다. GIS 공간자료를 이용한 경우도 동일하게 수정된  $R^2$  값과 유의확률 ( $p$ )을 기준으로 적합한 모델을 선정하였다.

## 제 4 장 회귀분석 결과

### 제 1 절 재해연보를 이용한 다중회귀분석 결과

#### 4.1.1. 전체 사례에 대한 분석 결과

재해연보의 재난재해 피해 정보들과 수해폐기물 발생량 자료를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였고, 총 90개의 사례 중에서 침수흔적도 자료가 수집된 26개의 사례를 대상으로 하였다. 독립변수의 입력방식에 따라 입력선택법, 단계선택법, 후진제거법, 전진선택법의 4가지 방법을 사용하여 다중회귀모형을 비교한 결과를 표 1에 제시하였다. 단계선택법과 후진제거법, 전진선택법의 수정된  $R^2$  값이 0.460으로 가장 높게 나타났으며, 또한 동일한 결과의 다중회귀모형이 도출되었다.

위의 모형들 중에서 수정된  $R^2$  값이 가장 높은 모형로서 피해 도로의 길이가 독립변수로 입력된 회귀모형을 선정하였다. 이 모형의 유의확률은 0.01보다 낮게 나타나 기존의 유의도로 제시된 0.05보다 작아 모형이 통계적으로 유의하다는 것을 검증하였다. 피해 도로의 계수는 0.08 m/ton으로 1m의 피해 도로에 따라 0.08 ton의 수해폐기물이 발생한다는 것을 의미한다. 피해 도로의 표준화계수는 0.69로 피해 도로가 수해폐기물 발생량의 69%를 설명할 수 있다는 것을 뜻한다.

표 4-1. 변수 입력방법에 따른 전체 사례의 다중회귀모델 비교

Selection method	Regression models	Adjusted R <sup>2</sup>	p
Entering	$Y = -0.03X_1 + 4.04X_2 + 0.01X_3 - 0.02X_4 + 0.77X_5 + 9.1 X_6$	0.336	0.023
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
	X <sub>2</sub> : Damaged farmland areas		
	X <sub>3</sub> : Damaged crop areas		
	X <sub>4</sub> : Length of damaged rivers		
	X <sub>5</sub> : Length of damaged roads		
X <sub>6</sub> : flooded areas			
Stepwise	$Y = 0.80X_1$	0.460	< 0.001
	Y : Flood debris generation X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		
Backward	$Y = 0.80X_1$	0.460	< 0.001
	Y : Flood debris generation X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		
Forward	$Y = 0.80X_1$	0.460	< 0.001
	Y : Flood debris generation X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		

표 4-2. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 전체 사례의 다중회귀모델 결과

Variable	Beta	β	Std. error	t	df	F	p	ΔR <sup>2</sup>
----------	------	---	------------	---	----	---	---	-----------------

#### 4.1.2. 집중호우와 태풍에 대한 분석 결과

26개의 사례 중에서 집중호우와 태풍의 경우로 나누어 회귀분석을 실시하여 재난의 유형에 따라 다른 독립변수들이 입력되는 지 확인하였다. 집중호우에 해당되는 사례 수는 14개였고, 태풍에 해당되는 사례 수는 12개였다. 집중호우의 경우, 표 4-3과 같이 변수 입력방법에 따른 다중회귀모형을 제안하여 비교하였다. 수정된  $R^2$  값이 0.425로 가장 높은 회귀모형은 단계선택법과 후진제거법, 전진선택법을 이용하였을 때 동일하게 나타났으며, 유의확률은 0.005로 유의수준인 0.05보다 작아 통계적으로 유의함을 확인하였다. 이 모델에서 피해도로가 수해폐기물 발생량에 얼마나 영향을 끼치는 지 확인하기 위해 비표준화계수와 표준화계수가 제시된 결과를 표 4-4에 나타내었다. 피해도로의 표준화계수는 0.68로 피해 도로가 수해폐기물 발생량에 대해 100 중의 68 정도를 설명할 수 있음을 확인하였다.

태풍의 경우에도 변수 입력방법에 따른 다중회귀모형 결과들을 표 4-5에 제시하여 수정된  $R^2$  값이 가장 높으면서 유의확률이 유의수준인 0.05보다 작게 나타난 모델을 결정하고자 하였다. 수정된  $R^2$  값이 가장 높고 유의확률이 유의수준을 만족한 모델은 단계선택법과 후진제거법, 전진선택법을 이용한 결과로 동일하게 나타났다. 이 모델의 수정된  $R^2$  값은 0.910이고, 유의확률 또한 0.001보다 작게 나타나 유의수준을 만족시켰다. 모델에 입력된 변수는 표 4-6과 같이 피해 도로와 침수 면적이었고, 각각의 표준화계수는 0.81, 0.42로 피해 도로가 가장 수해폐기물 발생량을 잘 설명하고 있음을 확인하였다.

집중호우의 경우와 태풍의 경우를 비교하였을 때, 두 모델 모두 피해도로를 독립변수로 이용하였다는 공통점을 확인하였다. 태풍 모델의 수

정된  $R^2$  값이 0.910로 집중호우의 0.425보다 높아서 태풍이 발생하였을 때 모델에 입력된 피해 도로와 침수 면적이 수해폐기물 발생량을 더 정확하게 추정할 수 있음을 의미한다.

표 4-3. 변수 입력방법에 따른 집중호우의 다중회귀모델 비교

Selection method	Regression models	Adjusted $R^2$	$p$
Entering	$Y = -0.85X_1 + 25.60X_2 + 0.48X_3 - 0.05X_4 + 0.63X_5 - 0.88X_6$	0.131	0.337
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
	X <sub>2</sub> : Damaged farmland areas		
	X <sub>3</sub> : Damaged crop areas		
	X <sub>4</sub> : Length of damaged rivers		
	X <sub>5</sub> : Length of damaged roads		
X <sub>6</sub> : Flooded areas			
Stepwise	$Y = 0.88X_1$	0.425	0.005
	Y : Flood debris generation X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		
Backward	$Y = 0.88X_1$	0.425	0.005
	Y : Flood debris generation X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		
Forward	$Y = 0.88X_1$	0.425	0.005
	Y : Flood debris generation X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		



표 4-4. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 집중호우의 다중회귀모델 결과

Variable	Beta	$\beta$	Std. error	t	df	F	p	$\Delta R^2$
Damaged roads	0.88	0.68	4,300	3.37	13	11.33	0.005	0.425

표 4-5. 변수 입력방법에 따른 태풍의 다중회귀모델 비교

Selection method	Regression models	Adjusted $R^2$	p
Entering	$Y = 0.30X_1 + 4.90X_2 + 0.03X_3 - 0.04X_4 + 0.54X_5 + 22.34X_6$	0.879	0.002
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
	X <sub>2</sub> : Damaged farmland areas		
	X <sub>3</sub> : Damaged crop areas		
	X <sub>4</sub> : Length of damaged rivers		
	X <sub>5</sub> : Length of damaged roads		
X <sub>6</sub> : Flooded areas			
Stepwise	$Y = 0.55X_1 + 20.30X_2$	0.910	< 0.001
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		
	X <sub>2</sub> : Flooded areas		
Backward	$Y = 0.55X_1 + 20.30X_2$	0.910	< 0.001
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		
	X <sub>2</sub> : Flooded areas		
Forward	$Y = 0.55X_1 + 20.30X_2$	0.910	< 0.001
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		
	X <sub>2</sub> : Flooded areas		

표 4-6. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 태풍의 다중회귀모델 결과

Variable	Beta	$\beta$	t	p	df	F	Std. error	$\Delta R^2$
Damaged roads	0.55	0.81	9.27	< 0.001	10	61.72	610	0.910
Flooded areas	20.30	0.42	4.75	0.001				

#### 4.1.3. 도시 지역과 농어촌 지역에 대한 분석 결과

26개의 사례 중에서 도시 지역과 농어촌 지역으로 나누어 회귀분석을 실시하여 지역 분류에 따라 다른 독립변수들이 입력되는 지 확인하였다. 도시 지역의 경우 8개의 사례가 해당되었으며, 농어촌 지역의 경우 13개의 사례가 포함되었다. 도시 지역의 경우, 표 4-7에 변수 입력방법에 따른 다중회귀모델 결과들을 제시하였다. 수정된  $R^2$  값이 가장 높았던 모델은 입력과 후진제거법을 이용하였던 것이었으며, 유의확률이 0.250으로 유의수준인 0.05보다 크게 나타나서 통계적으로 유의하지 못하였기에 모델 선정에서 제외되었다. 최종적으로 선정된 모델은 단계선택법과 전진선택법을 이용하였을 때 동일한 결과를 나타내었으며, 유의확률은 0.024로 0.05보다 작아 유의수준을 만족시켰고 수정된  $R^2$  값은 0.473이었다. 입력된 독립변수는 피해도로로서 피해 도로의 표준화계수가 0.73으로 나타나 수해폐기물 발생량을 높게 설명하고 있음을 확인하였다 (표 4-8).

농어촌 지역의 경우, 변수 입력방법에 따른 다중회귀모델들을 비교한 결과를 표 4-9에 제시하였다. 단계입력법과 후진제거법, 전진선택법을 이용하였을 때 동일한 모델들을 얻었고, 모델의 수정된  $R^2$  값이 0.591로 가장 높았으며, 유의확률 또한 유의수준을 만족하였다 ( $p < 0.05$ ). 입력된

독립변수는 피해 농경지 면적이며, 표준화계수는 표 4-10에 제시된 것과 같이 0.79로 나타났다.

도시 지역을 대상으로 제시된 모델의 수정된  $R^2$  값은 0.473, 농어촌 지역을 대상으로 제시된 모델의 수정된  $R^2$  값은 0.591로 모델의 설명력에 있어서는 도시 지역을 대상으로 한 모델이 조금 더 높지만 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 지형적 특징을 기준으로 도시 지역과 농어촌 지역으로 분류하였을 때, 도시 지역에서는 피해 도로가 농어촌 지역에서는 피해 농경지 면적이 주요한 독립변수로 입력되었다. 이러한 결과는 수해 폐기물 발생량 추정 모델을 개발하는 데 있어 지형적 특징 또한 고려되어야 한다는 것을 의미한다.

표 4-7. 변수 입력방법에 따른 도시 지역의 다중회귀모델 비교

Selection method	Regression models	Adjusted R <sup>2</sup>	p
Entering	$Y = 9.44X_1 + 323.33X_2 - 15.20X_3 - 1.05X_4 + 0.44X_5 + 108.40X_6$	0.634	0.250
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
	X <sub>2</sub> : Damaged farmland areas		
	X <sub>3</sub> : Damaged crop areas		
	X <sub>4</sub> : Length of damaged rivers		
	X <sub>5</sub> : Length of damaged roads		
X <sub>6</sub> : Flooded areas			
Stepwise	$Y = 0.94X_1$	0.473	0.024
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		
Backward	$Y = 9.44X_1 + 323.33X_2 - 15.20X_3 - 1.05X_4 + 0.44X_5 + 108.40X_6$	0.634	0.250
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
	X <sub>2</sub> : Damaged farmland areas		
	X <sub>3</sub> : Damaged crop areas		
	X <sub>4</sub> : Length of damaged rivers		
	X <sub>5</sub> : Length of damaged roads		
X <sub>6</sub> : Flooded areas			
Forward	$Y = 0.94X_1$	0.473	0.024
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Length of damaged roads		

표 4-8. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 도시 지역의 다중회귀모델 결과

Variable	B	$\beta$	Std. error	t	df	F	p	$\Delta R^2$
Damaged roads	0.94	0.73	4,560	2.86	7	8.18	0.024	0.473

표 4-9. 변수 입력방법에 따른 농어촌 지역의 다중회귀모델 비교

Selection method	Regression models	Adjusted R <sup>2</sup>	p
Entering	$Y = -8.96X_1 + 58.98X_2 + 0.16X_3 + 0.04X_4 - 0.89X_5 + 2.90X_6$	0.479	0.089
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
	X <sub>2</sub> : Damaged farmland areas		
	X <sub>3</sub> : Damaged crop areas		
	X <sub>4</sub> : Length of damaged rivers		
	X <sub>5</sub> : Length of damaged roads		
X <sub>6</sub> : Flooded areas			
Stepwise	$Y = 30.28X_1$	0.591	0.001
	Y : Flood debris generation		
Backward	$Y = 30.28X_1$	0.591	0.001
	X <sub>1</sub> : Damaged farmland areas		
Forward	$Y = 30.28X_1$	0.591	0.001
	X <sub>1</sub> : Damaged farmland areas		

표 4-10. 수정된 결정상수 값이 가장 높은 농어촌 지역의 다중회귀모델 결과

Variable	Beta	$\beta$	Std. error	t	df	F	p	$\Delta R^2$
Damaged farmland areas	30.28	0.79	2,230	4.45	12	19.80	0.001	0.591

## 제 2 절 GIS 공간자료를 이용한 다중회귀분석 결과

### 4.2.1. 지역별 공간 정보 구축

재해연보의 통계자료 외에 GIS 공간정보를 추가적으로 수집하여 재해연보의 피해 정보와 동일한 재난의 유형과 기간, 동일한 피해 지역을 대상으로 산정된 피해 정보들을 표 4-11에 정리하였다. 2016년 수해폐기물 발생량 사례들에 대해서도 GIS 공간자료를 이용하여 산정된 피해 정보들을 정리하였다 (표 4-12). 재해연보의 통계자료는 재난 발생 이후 피해 정보들이 집계되어 공식적으로 공개되는데 최소 1년이 소요되는데 비해, GIS 공간자료는 재난으로 인한 피해 정보들을 시뮬레이션하여 한 달 이내에 수집할 수 있기 때문이다. GIS 공간자료로부터 산정된 피해 정보들은 재해연보에서 수집한 피해 정보와 유사하게 피해 건물, 피해 도로, 피해 하천, 피해 농경지, 침수 면적이다. 재해연보와 비교하였을 때 가장 큰 차이를 보였던 피해 정보는 침수 면적이었으며, 재해연보의 침수 면적들의 80% 이상은 0으로 기록되어 있었다. 재해연보의 지역별 침수 면적은 재난 발생 이후 2주 이내에 중앙재난본부에 피해최종보고를 해야 하기 때문에 정확한 측정값을 기록하기 어려웠을 것으로 예상된다. 피해최종보고 이후 피해확정보고를 통해 정밀피해조사 결과를 침수흔적도로

제시되기 때문에 침수 면적은 GIS 공간정보를 통해 정확한 측정값을 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

표 4-11. GIS 공간자료로부터 산정한 26개 수해폐기물 발생량 사례에 대한 재난재해 피해 정보

Disaster year	Region	Damaged buildings (dong)	Damaged roads (m)	Damaged rivers (m)	Damaged farmland areas (ha)	Flooded areas (ha)
2008	Ulju	255	18,797	2,172	58	70
2008	Bonghwa	478	3,182	7,426	106	185
2009	Hwasun	604	48,695	68,752	699	725
2009	Wanju	217	1,500	396	5	11
2011	Kochang	336	8,645	10,553	129	146
2011	Kapyeong	59	540	0	0	2
2011	Wanju	0	1,889	4,893	49	49
2011	Yongin	801	6,298	6,600	82	86
2011	Dongducheon	2,392	20,970	33	4	67
2011	Yangju	1,240	11,359	1,946	52	98
2011	Pocheon	83	4,511	2,952	28	43
2012	Yeongam	5	10,940	20,098	233	233
2012	Yeonggwang	543	3,858	15,358	19	44
2012	Jindo	513	31,333	25,439	254	277
2012	Sancheong	279	28,211	28,312	164	187
2012	Koryeong	49	12,576	11,552	78	107
2012	Seongju	616	9,420	2,482	26	61
2012	Pohang	413	14,170	15,175	125	151
2012	Milyang	59	1,709	309,739	84	92
2012	Kimcheon	880	32,816	302,140	293	337
2012	Gunsan	4,283	73,146	0	2	217
2012	Jeju	279	1,689	584	46	21
2012	Mokpo	1,493	11,566	0	0	40
2013	Yeoju	209	46,820	48,107	724	712
2013	Leecheon	131	4,556	124	23	30
2013	Gyeonggi Gwangju	41	742	64,143	0	5



표 4-12. GIS 공간자료로부터 산정한 2016년 수해폐기물 발생량 사례들에 대한 재난재해 피해 정보

Disaster year	Region	Damaged buildings (dong)	Damaged roads (m)	Damaged rivers (m)	Damaged farmland areas (ha)	Flooded areas (ha)
2016	Ulsan bukgu	2,437	64,900	44,815	353	496
2016	Ulsan junggu	1,768	18,913	564	13	54
2016	Ulsan namgu	5,670	44,042	390	2	169
2016	Ulsan uljugun	865	41,457	41,457	358	472

#### 4.2.2. 전체 사례에 대한 다중회귀분석 결과

GIS 공간정보로부터 산정된 피해정보들과 26개의 수해폐기물 발생량 사례들과의 다중회귀분석을 실시한 결과를 표 4-13에 제시하였다. 변수 입력방법에 따른 다중회귀모델과 수정된  $R^2$  값, 유의확률을 비교하였을 때, 수정된  $R^2$  값이 가장 높고 유의확률이 0.05보다 작은 다중회귀모델은 후진제거법을 통해 도출된 것이었다. 이 모델의 수정된  $R^2$  값은 0.470이고 유의확률은 0.001보다 작게 나타났으며, 모델에 이용된 독립변수는 피해 건물, 피해 도로와 침수 면적이었다.

표 4-14을 통해 각 독립변수들의 계수들이 통계적으로 유의한 지 확인하기 위하여 보다 자세한 다중회귀분석 결과를 나타내었다. 비표준화계수 (B)로부터 각 독립변수들의 정도에 따라 수해폐기물 발생량이 얼마나 발생하는 지 확인할 수 있다. 피해 건물의 비표준화계수는 5.29로 나타났

으며, 피해를 입은 건물 한 동당 발생가능한 폐기물의 양은 5.29 ton임을 의미한다. 피해 도로의 비표준화계수는 -0.29로 피해를 받은 도로 1m마다 폐기물의 양이 0.29 ton 적게 발생한다는 것을 뜻한다. 침수 면적의 비표준화계수는 20.82로 피해 지역의 총 침수된 면적 1ha마다 20.82 ton의 수해폐기물이 발생할 수 있는 것으로 예상된다. 각 표준화계수들의 유의확률은 모두 0.05보다 작게 나타나 통계적으로 유의미한 것을 확인하였다.

표 4-13. GIS 공간자료를 이용하였을 때의 변수 입력방법에 따른 전체 사례의 다중회귀모델 비교

Selection method	Regression models	Adjusted R <sup>2</sup>	p
Entering	$Y = 4.46X_1 - 23.74X_2 + 0.01X_3 - 0.31X_4 + 45.37X_5$	0.434	0.004
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
	X <sub>2</sub> : Damaged farmland areas		
	X <sub>3</sub> : Length of damaged rivers		
	X <sub>4</sub> : Length of damaged roads		
X <sub>5</sub> : Flooded areas			
Stepwise	$Y = 2.26X_1$	0.293	0.002
	Y : Flood debris generation X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
Backward	$Y = 5.29X_1 - 0.29X_2 + 20.82X_3$	0.470	< 0.001
	Y : Flood debris generation		
	X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		
	X <sub>2</sub> : Length of damaged roads		
X <sub>3</sub> : Flooded areas			
Forward	$Y = 2.26X_1$	0.293	0.002
	Y : Flood debris generation X <sub>1</sub> : Number of damaged buildings		

표 4-14. GIS 공간자료를 이용하였을 때의 수정된 결정상수 값이 가장 높은 전체 사례의 다중회귀모델 결과

Variable	B	$\beta$	t	p	df	F	Std. error	$\Delta R^2$
Damaged buildings	5.29	1.33	4.33	< 0.001				
Damaged roads	-0.29	-1.58	-3.09	0.005	23	8.69	3,190	0.470
Flooded areas	20.82	1.14	3.17	0.004				

### 제 3 절 모델 검증

#### 4.3.1. 2016년 수해폐기물 발생량 사례 적용

재해연보의 통계자료를 이용하여 제시된 다중회귀모델과 GIS 공간자료를 이용하여 도출된 다중회귀모델 중에서 수해폐기물 발생량을 추정하는데 더 적합한 모델을 결정하기 위해 2016년 수해폐기물 발생량 사례를 적용하여 모델들을 검증하였다. 2016년 수해폐기물 발생량 사례들과 동일한 재난의 유형과 기간, 동일한 피해 지역을 대상으로 피해 정보들을 입력하였을 때 산출된 수해폐기물 발생량과 실제 발생량을 비교하였다. 재해연보의 통계자료를 이용하여 제시된 다중회귀모델 중에서 전체 케이스를 대상으로 하였을 때 가장 설명력이 높았던 모델은 식 4-1로 나타났다.

$$Y = 0.80X_1 \quad (\text{식 4-1})$$

여기서,  $Y$  : 수해폐기물 발생량 (ton)

$X_1$  : 피해 도로의 길이 (m)

GIS 공간자료를 이용하여 제시된 다중회귀모델 중에서 가장 설명력이 높았던 모델은 식 4-2로 나타났다.

$$Y = 5.29X_1 - 0.29X_2 + 20.82X_3 \quad (\text{식 4-2})$$

여기서,  $Y$  : 수해폐기물 발생량 (ton)

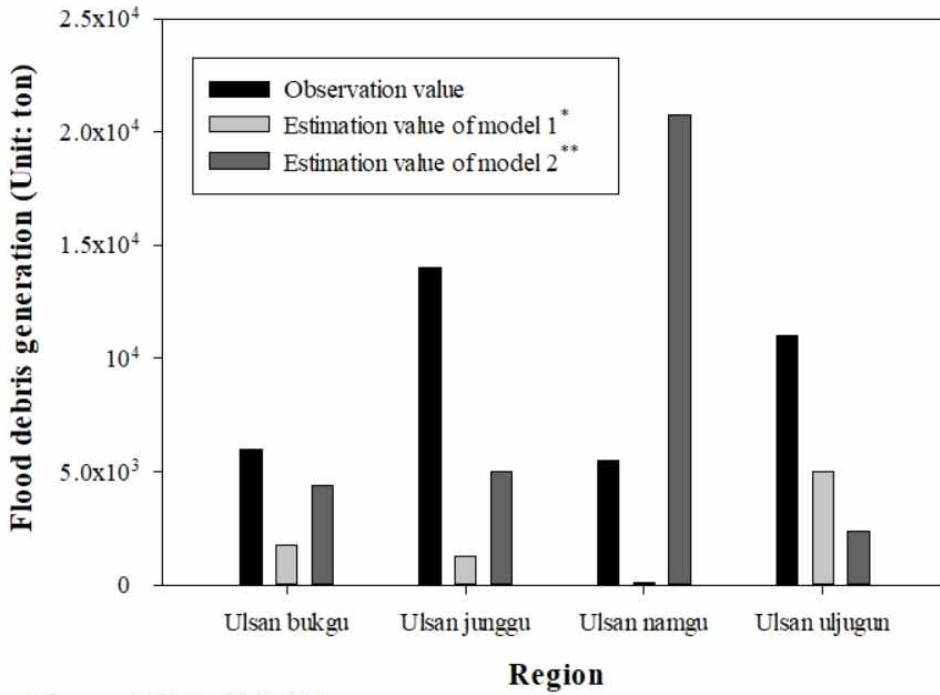
$X_1$  : 피해 건물의 수 (동)

$X_2$  : 피해 도로의 길이 (m)

$X_3$  : 침수 면적 (ha)

식 4-1과 식 4-2에 2016년 수해폐기물 발생량 사례들의 피해 정보를 입력하였을 때 추정되는 수해폐기물 발생량과 실제 발생량을 그림 4-1과 같이 나타내었다. 식 4-1을 이용했을 때의 추정되는 수해폐기물 발생량은 모든 사례들이 실제 수해폐기물 발생량에 비해 과소평가되어 나타났다. 이에 비해 식 4-2을 이용했을 때의 추정되는 수해폐기물 발생량은 실제 수해폐기물 발생량에 더 가깝게 나타났다. 오차의 평균값을 계산하였을 때 식 4-1의 경우는 -7,080 ton로 나타났고, 식 4-2의 경우는 -1,000 ton으로 계산된 것을 확인하였다. 식 4-2의 경우가 식 4-1보다 독립변수가 더 많이 입력되었고, 식 4-2에 입력된 독립변수 중에서 피해 건물(Hirayama et al., 2010; Yamanaka et al., 2014; 강의수, 2015)과 침수 면적(Chen et al., 2007; Chen et al., 2013; Yamanaka et al., 2013;

Yamanaka et al, 2014)은 다른 문헌에서도 확인된 것이기 때문에 GIS 공간자료를 이용한 모델이 더 정확한 것으로 판단된다.



\* Source: NEMA, 2008-2014

\*\* Source: LX, 2008-2014

그림 4-1 2016년 수해폐기물 발생량 사례들을 대상으로 하였을 때 실제 수해폐기물 발생량과 식 4-1와 식 4-2를 이용하였을 때 추정값의 비교

## 제 5 장 결론

본 연구에서는 국내의 수해폐기물 발생량 사례로부터 재해연보의 통계자료와 GIS 공간자료를 이용하여 수해폐기물 발생량 추정 모델을 개발하고 검증하고자 하였다. 재해연보의 통계자료를 이용하여 피해 정보와 수해폐기물 발생량과의 다중회귀분석을 실시한 결과, 피해 도로가 수해폐기물 발생량과의 설명력이 높은 것으로 나타났다. 집중호우와 태풍의 경우로 나누어 다중회귀분석을 각각 실시하여 재난의 유형에 따라 수해폐기물 발생량과 통계적으로 유의미한 독립변수가 다르게 나타나는지 확인하고자 하였으나, 집중호우와 태풍의 경우 모두 피해 도로가 수해폐기물 발생량과의 설명력이 높은 것으로 나타났다. 도시 지역과 농어촌 지역으로 분류하여 다중회귀분석을 실시하였는데 도시 지역의 경우는 피해 도로가 독립변수로 입력되었고, 농어촌 지역의 경우는 피해 농경지 면적이 독립변수로 입력되었다. GIS 공간자료를 수집하여 분석한 결과, 침수 면적이 재해연보에서는 대부분의 수치가 0으로 나타났는데 GIS 공간자료를 이용하여 산정하였을 때는 구체적인 수치를 확인할 수 있었다. GIS 공간자료를 이용하여 산정된 피해 정보와 수해폐기물 발생량과의 다중회귀분석을 실시한 결과, 피해 건물, 피해 도로와 침수 면적이 수해폐기물 발생량에 대한 변수로 입력되었다. 재해연보의 통계자료를 이용한 모델과 GIS 공간자료를 이용한 모델을 검증하기 위해 2016년 수해폐기물 실제 발생량과 추정값을 비교한 결과, GIS 공간자료를 이용한 모델이 더 근사하게 실제 폐기물 발생량을 추정하는 것을 확인하였다. GIS 공간자료를 이용한 모델에 입력된 독립변수가 2개 이상 투입되어 설명력이 높게 나타났고, 입력된 독립변수 중에서 피해 건물과 침수 면적은 문헌 연구에서 수해폐기물 발생량과의 설명력이 높은 것으로 확인되었기 때문에

더 정확하게 추정할 수 있는 것으로 예상된다. 향후 발생하게 될 수해폐기물 발생량 사례수를 추가하고 GIS 공간정보로부터 피해 정보들을 수집하여 각 피해 지역들의 지형적인 특징을 수해폐기물 발생량 추정 모델에 반영한다면 더 정확하게 수해폐기물 발생량을 추정할 수 있을 것이다. 정확하게 추정된 수해폐기물 발생량을 이용하여 필요로 하는 인력과 장비, 임시적환장의 수와 크기, 수해폐기물 수거 경로들을 예상하고, 수해폐기물 수거 및 처리 계획을 사전에 수립할 수 있다.



## 참 고 문 헌

강의수, 주문술, 전화숙, 김재영 (2015). “강우량과 침수건물 수를 이용한 서울시 수해폐기물 발생량 예측방법,” 한국폐기물자원순환학회지 32(7): 713-719

김이현, 홍석영, 홍승길, 최은영, 남재작, 소규호 (2010). “GIS 이용 폐기물 발생량 분포지도 작성,” 유기성자원학회지 18(2): 55-61

국민안전처 (2015). “재해지도 작성 기준 등에 관한 지침,”

국민안전처 (2015). “2015년 자연재난조사 및 복구계획수립 지침,”

국토지리정보원 (2011-2013, 2016). “연속지형지도,”

박원창, 김감래, 지종덕 (2010). “지적정보를 이용한 침수흔적도의 관리 및 활용방안,” 한국지적정보학회지 12(1): 1-12

소방방재청 (2008-2016). “재해연보,”

오길중, 강영렬, 김우일, 신선경, 김나, 김민선, 정성경, 연진모, 조운아 (2012). “폐기물의 안전처리 및 용도별 재활용방안 연구 - 재해폐기물 처리지침 마련,” 국립환경과학원

유기영, 윤태현 외 (2014). “서울시 폐기물의 중장기적 처리방안 연구,” 서울연구원

유창주, 홍순헌, 최현, 남광우 (2013). “침수흔적도를 활용한 침수지역 유형화에 관한 연구 - 부산광역시를 사례로,” 한국측량학회지 31(5): 393-400

윤석표, 김형욱 (2013). “사진계측기법을 이용한 재활용성 폐지 발생량 산정에 관한 연구,” 한국폐기물자원순환학회지 30(2): 130-135

이소라 (2013). “대전광역시 재해폐기물 관리방안,” 대전발전연구원

이승수, 조홍동 (2006). “풍수해 피해 예측 평가 도구(HAZUS-MS)의 소개,” 한국지반환경학회지 7(3): 26-30

일본 환경성 (2005). “수해폐기물 대책 지침,”

정상재, 김재영 (2015). “국내외 재해폐기물 관리 지침 비교 및 수해폐기물 처리 현황 분석,” 한국폐기물자원순환학회지 29(5): 497-503

조지혜, 김태현 외 (2016). “공간정보를 활용한 재해폐기물 성상별 최적 관리방안,” 한국환경정책·평가연구원

최현철 (2016). “사회과학 통계분석 (개정판),” (주)나남: 238-296

한국국토정보공사 (2008-2016). “침수흔적도,”

한국국토정보공사 (2017). “건물통합정보\_마스터,”

한국국토정보공사 (2017). “행정경계\_시군구,”

환경부 (2003). “장마철 수해쓰레기 처리 추진대책 - 수해쓰레기 수거 및 처리 실무 요령,”

환경부 (2009-2014). “토지피복지도,”

환경부 (2013). “재난폐기물 안전관리 지침,”

Asari, M. et al. (2013). “Strategy for separation and treatment of

disaster waste - a manual for earthquake and tsunami disaster waste management in Japan,” *Journal of Material Cycles and Waste Management* 15(3): 290-299

Brown, C. and M, Milke. (2016). “Recycling disaster waste: Feasibility, method and effectiveness,” *Resources, Conservation and Recycling* 106: 21-32

Brown, C., Milke, M., and Seville, E. (2011). “Disaster waste management: A review article,” *Waste Management* 31: 1085-1098

Chen, J.-R., Tsai, H.-Y., Hsu, P.-C., and Shen, C.-C. (2007). “Estimation of waste generation from floods,” *Waste Management* 27(12): 1717-1724

Chen, S., Fang, S.-S., Lin, C.-L., and Hung, H.-C. (2013). “Generation of solid wastes in typhoon disasters and their emergent cleaning and treatment means,” *Journal of Material Cycles and Waste Management* 15(3): 269-281

FEMA. (2010). “Debris estimating field guide,”

FEMA (2007). “Public assistance debris management guide,”

FEMA (2010). “Public assistance debris monitoring guide,”

Fetter, G., and Rakes, T. (2012). “Incorporating recycle into post-disaster debris disposal,” *Socio-Economic Planning Sciences* 46: 14-22

Grzeda, S., Mazzuchi, T. A., and Sarkani, S. (2014). “Temporary disaster debris management site identification using binomial cluster

analysis and GIS,” *Disasters* 38(2): 398-419

Hayashi, H., and Katsumi, T. (1996). “Generation and management of disaster waste,” *Soils and Foundations* 36: 349-358

Hirayama, N., Shimaoka, T., Fujiwara, T., Okayama, T., and Kawata, Y. (2010). “Establishment of disaster debris management based on quantitative estimation using natural hazard maps,” *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 140: 167-178.

Integrated Waste Management Board. (1997). “Integrated waste management disaster plan,”

JSMCWM (2012). “Strategy of separation and treatment of disaster waste - Focusing on the Great East Japan Earthquake 2011,”

Oh, G.-J. and Kang, Y.-Y. (2013). “The status of flood wastes treatment and future tasks in South Korea,” *Journal of Material Cycles and Waste Management* 15(3): 282-289

Sasao, T. (2016). “Cost and efficiency of disaster waste disposal: A case study of the Great East Japan Earthquake,” *Waste Management* 58: 3-13

Shibata, T., Gabriele, H. S., and Hata, T. (2012). “Disaster waste characteristics and radiation distribution as a result of the great east Japan earthquake,” *Environmental Science & Technology* 46: 3618-3624

Shirai, H., Kageyama, Y., Ohuchi, A., and Nishida, M. (2016). “Estimation of the disaster building domain using RapidEye data to estimate the amount of disaster waste,” *IEEJ Transactions on*

Electrical and Electronic Engineering 11(S2): S53-S59

Tabata, T., Zhang, O., Yamanaka, Y., and Tsai, P. (2016). "Estimating potential disaster waste generation for pre-disaster waste management," *Clean Techn Environ Policy* 18:1735-1744

UNEP (2012). "Managing post-disaster debris: the Japan experience,"

UN OCHA (2011). "Disaster waste management guidelines,"

US EPA (2008) "Planning for natural disaster debris,"

Yamanaka, M., Toyota, N., Hasegawa, S., and Nonomura, A. (2013). "Estimation method of amount of tsunami disaster waste during the 2011 off the pacific coast of Tohoku earthquake," *Int, J. of GEOMATE* 4(1): 456-461

Yamanaka, M., Toyota, N., Nonomura, A., and Hasegawa, S. (2014). "Estimation of amount of tsunami disasterwastes for Shikoku districts by Tounankai-nankai earthquake," *Journal of the Society of Materials Science* 63(2): 131-136.

## Abstract

# Estimation of flood debris generation using GIS-based inundation maps

Young Hoon Cho

Department of Civil and Environmental Engineering

The Graduate School

Seoul National University

Number of natural disaster is increasing and significant amount of disaster debris is also generated. Disaster debris serves as an obstacle for entering into damaged area so that it impedes lifesaving and recovery work. The most common way is collecting all the debris and transporting it to dumpsites for final disposal. It restricts efficient recycling of resources and increases greenhouse gas. To clean quickly and effectively disaster debris, debris forecasts can be used to determine the required response and recovery resources, the number and size of storage and reduction sites, and the final disposition of the disaster-related debris. In this study, estimation model for flood debris generation is proposed by implementing multiple regression analysis.

Flood debris generation and damage information was collected from annual reports of natural disasters. Independent variables which can be expected to relate with flood debris were damaged buildings, damaged roads, damaged rivers, damaged crops, damaged farmlands, flooded area. By developing multiple regression model with six independent variables and flood debris generation, this research tried to decide suitable estimation model which can have high power of explanation based on adjusted  $R^2$  and proper significance probability ( $p < 0.05$ ). To collect more detailed damage information such as flood depth, flooded area, damaged areas of land use, similar independent variables were calculated from GIS spatial information. These independent variables were damaged buildings, damaged roads, damaged rivers, damaged farmlands and flooded areas. But the collection method of 6 independent variables was overlaying flooded areas, building spatial information, land cover map and calculating total value of 6 independent variables. this study implemented multiple regression analysis between flood debris generation and 6 independent variables from GIS spatial information. To verify the accuracy of model, other flood debris data in 2016 was applied for confirming difference of real debris generation and estimated value.

In multiple regression analysis using annual reports of natural disasters, length of damaged roads was entered into selected estimation model. When total cases classified with typhoons and heavy rains, length of damaged roads was utilized into both estimation model. When total cases classified with city and rural areas such as farming and fishing villages, independent variable of

estimation model in case of cities was damaged roads but independent variable of estimation model in case of rural area was damaged farmlands. Estimation model of total cases from GIS spatial information was proposed with three independent variable (damaged buildings, damaged roads, and flooded areas). Each generation unit of independent variables was 5.29 ton/number of damaged buildings, -0.29 ton/m of damaged roads, 20.82 ton/ha of flooded areas. When estimation model utilizing annual report of natural disasters and other model utilizing GIS spatial information were applied to 4 cases of flood debris in 2016, the mean of error in case of GIS spatial information was -1,000 ton and the mean of error in case of annual reports was -7,080 ton. That is because the independent variables of estimation model in case of GIS spatial information were more than annual report. Damaged buildings and flooded areas entered into estimation model from GIS spatial information were already checked from literature reviews which these variable have high power of explanation for flood debris generation. By utilizing estimation model from GIS spatial information, more accurate estimation value of flood debris generation could be obtained and it also could be preliminary data to decide the size of number of temporary storage sites and economically efficient route for collecting flood debris.

**keywords : Debris generation, Estimation, Flood debris, GIS,**

**Inundation maps**

***Student Number : 2015-22936***