

Current and Future Trends of Flood Waste Collection and Disposal Systems in Korea

Won Kyu Kim^{1#}, Dong Woo Jang², Joo Won Kim¹⁺

¹ International Center for Urban Water Hydroinformatics Research & Innovation, 169 Gaetbeol-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea

² Incheon National University, Building 8A, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea

Abstract

This study examines the current state of flood waste treatment in Korea and recommends an alternative management strategy based on the lessons from Japan and US. Direct landfilling was recognized as one of the major problems in Korea as it was related to the absence of the master plan in the municipalities and the lack of cooperation between municipalities and waste facility authorities. Additionally, we pointed out inadequate capacity to determine the optimal scale of human resources and equipment due to the shortage and inconsistency of flood waste data and the lack of research on prediction of flood waste amount. The recommended solutions based on the investigation of the US and Japanese cases include institutional complementation granting financial incentives to the municipalities that establish a master flood waste plan. A better method of forecasting flood waste amount should be incorporated into the flood waste management in Korea by benchmarking the forecasting methods used in US and Japan. Furthermore, a routine survey of flood waste should be carried out to monitor actual implementation of the master plan.

Key words: disaster, flood waste, debris management, collection and disposal

1. 서론

UNEP/OCHA(2011)는 수해폐기물을 포함한 재해폐기물 전체에 대해 재난에 의해 발생된 고체 또는 액체 형태의 물질이라고 폭넓게 정의하고 있다. 우리나라도 이와 비슷하게 수해 폐기물에 대해 「폐기물관리법」 제2조 1호에 따른 폐기물로 규정하고 있으며, 이는 우리가 생활하면서 발생할 수 있고 발생된 폐기물의 수거와 처

리가 효율적으로 이루어져야 하는 대상에 해당된다 (Ministry of Environment, 2013a). 일반 생활폐기물과 다른 점은 수해폐기물은 주민안전 및 위생상의 문제를 일으킬 수 있고 수해지역의 복구에 지체가 될 수 있기 때문에 신속하게 처리되어야 한다는 점이다. 그럼에도 불구하고 우리나라는 환경부 기본 지침 외에 지자체별 상세한 수해폐기물 수거 및 처리계획이 부족한 실정으로 대규모 수해폐기물이 발생했을 경우 이에 대한 대

[#] The 1st author: Won Kyu Kim, Tel. +82-32-851-5731, Fax. +82-32-851-5730, e-mail. k10609@hanmail.net

⁺ Corresponding author: Joo Won Kim, Tel. +82-70-4756-3186, e-mail. kjw-0517@hanmail.net

Table 1. Status of incoming flood waste to SUDOKWON landfill (2010 - 2014)

Year	Seoul	Incheon	Gyeonggi-do	Total	Remarks
2010, ton	2,522	619	101	3,242	-
2011, ton	16,734	56	38,675	55,465	7/30~10/28
2012, ton	-	-	-	-	-
2013, ton	-	-	-	-	-
2014, ton	-	-	-	-	-
Total	19,256	675	38,776	58,707	-

은 미흡한 상황이다(Jeong & Kim, 2012).

수해폐기물과 수해가 발생하지 않을 때의 평상시 생활폐기물 수거와 처리는 기본적으로 폐기물관리법에 의해 이루어지며 가능한 재사용, 재활용 및 재이용을 우선시하고, 최종 잔재물(residue)은 매립지에 최종처분이 이루어진다는 점에서 공통적이다. 그러나 2011년 서울, 경기도의 수해폐기물 약 5.5만톤(92%)이 수도권 매립지에 직매립 되었으며, 2014년 부산의 경우 수해폐기물 약 0.8만톤(87%)이 생곡매립장에 매립되었다(Korea Environment Institute, 2016).

수해로 발생한 대부분의 폐기물은 폐기물관리법에 따른 폐기물로 분류됨에도 불구하고 수거와 처리가 급급한 상황에서 곧바로 최종처분인 직매립으로 처리되고 있는 실정이었다. 국토의 협소함, 기존 매립지의 확장 및 신규 매립지 건설의 어려움으로 인하여 매립폐기물량을 줄이기 위해 “자원순환기본법”을 제정하여 2018년부터 시행하려는 시기에 수년간 처리해야 될 수해폐기물을 일시적으로 다량을 매립하는 것은 폐기물처분부담금의 증가와 더불어 매립지 관리측면에서 불합리하게 작용한다.

환경부는 2013년 ‘재난 폐기물 안전관리지침’을 배포하여 수해폐기물의 수거와 처리에 대해 비교적 상세하게 기술하고 있다. 여기서 기술하고 있는 수해폐기물 수거와 처리체계는 동일본 대지진 당시와 비교할 때 상당히 흡사하나, 우리나라는 일본과 같은 대규모 수해가 아님에도 불구하고 재활용률이 상당히 저조하며(Korea Environment Institute, 2016) 수거에 있어서도 지자체별 구체적인 관리지침이 없어(Jeong & Kim, 2012) 복구지체가 우려되고 있는 실정이다.

이러한 배경에서 본 연구는 ①우리나라의 수해폐기

물 관리 실태의 문제점을 검토하고, ②다른 나라의 수해폐기물 관리 체계를 우리나라의 체계와 비교하였고, ③우리나라 수해폐기물의 수거 및 처리체계 개선 방안 에 대하여 제시하고자 한다.

II. 국내의 수해폐기물 현황

1. 수해폐기물 발생 및 처리현황 비교

우리나라의 수해폐기물 발생량은 ‘재해연보’에서 2008년부터 기록하기 시작하였으며, 발생지점에 따라 육상쓰레기와 해양쓰레기로 나뉜다. 육상쓰레기의 처리는 환경부 소관이며, 해양쓰레기는 해양수산부 소관으로 구분된다. 여기서는 생활과 밀접하여 긴급 복구를 필요로 하는 육상쓰레기의 수거 및 처리체계에 초점을 맞췄다.

〈Figure 1〉에 재해연보 자료를 바탕으로 수해폐기물 발생량과 처리에 소요되는 비용을 제시하였다. 수해폐기물 발생량을 기록하기 시작한 2008년부터 2015년까지의 자료이며, 2010년도는 태풍 곤파스의 영향, 2014년도는 부산 호우의 영향으로 수해폐기물의 발생량이 급격하게 증가하였다. 수해폐기물 처리에 소요되는 비용은 2012년도에 가장 높게 나타났는데, 수해폐기물 발생량과는 상관성 없이 일부 지역에 약 34억원을 보조하여 급격히 늘어나게 되었다.

재해연보에서는 수해폐기물 발생량을 ‘물량’으로 표기하여 기록하고 있으나, 발생된 수해폐기물이 어떠한 경로를 거쳐 최종처분이 이루어지는지에 대한 자료는 지자체 일부를 제외하고 전무한 실정이다. 환경정책·평가연구원(Korea Environment Institute, 2016) 자료에 따르면 2011년 7월 26일, 7월 28일에 서울시에서

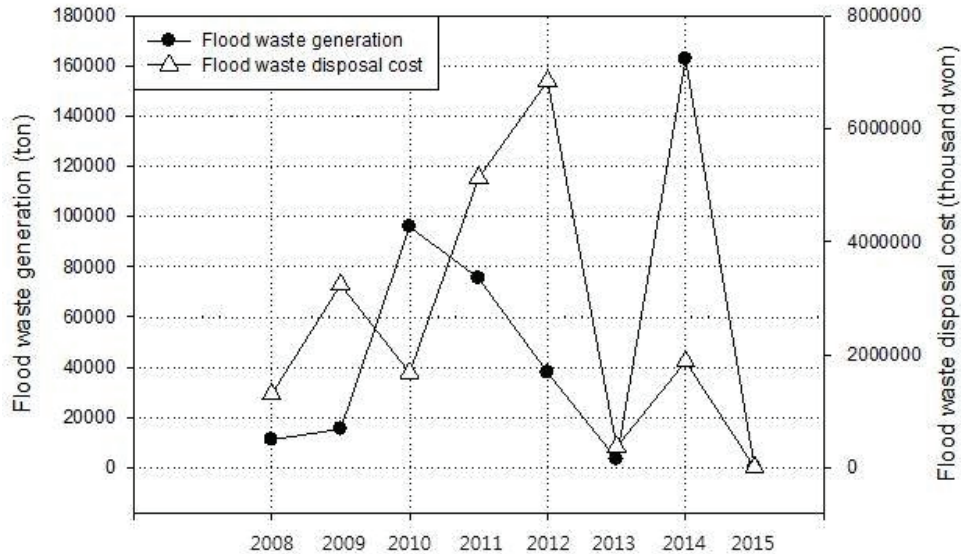


Figure 1. Flood waste generation and disposal cost in Korea

발생한 수해폐기물 중 약 81%가 매립되고, 소각 및 재활용은 19%에 그친다고 보고하였다. 반면, 동 자료에서 2004년 일본 니가타 현 미쓰케 시의 수해폐기물 처리 실적은 매립은 31% 수준에 그쳤으며 소각 55%, 재활용 14%로 높게 나타내었다. 평상시 생활폐기물 처리에 있어서 소각이 매립보다 반드시 나은 처리방법은 아니지만, 일시에 많은 양이 발생하는 수해폐기물에 대해서 소각은 매립지에 매립되는 양을 95%까지 감축시켜 대규모 수해 발생 시 몇 달에서 수년간 처리해야 될 폐기물을 양적으로 감축시켜 대규모 수해지역 복구 측면에서는 유리하게 작용할 수 있다.

Table 2. Comparison of waste treatment between Korea and Japan

	Recycled	Incinerated	Landfill
Korea(Seoul)		19%	81%
Japan(Mitsuke-Shi)	14%	55%	31%

* Source: Korea Environment Institute(2016)

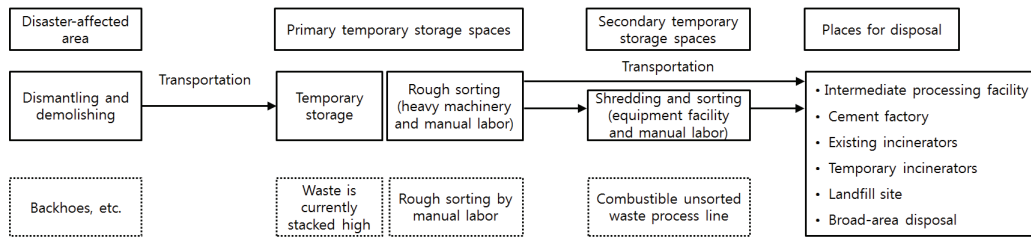
〈Table 3〉에는 2011년 동일본 대지진으로 인해 대규모로 발생된 재해 폐기물 발생량과 처리현황에 대해 구체적으로 나타내었다. 〈Table 3〉의 동일본 대지진으로 인한 재해폐기물 총 발생량은 20,123천톤이며, 이 중 쓰나미로 인해 발생된 폐기물은 10,600천톤이다. 주목할 점은 약 81%에 달하는 재해폐기물이 재활용 되었고,

Table 3. Disaster waste and tsunami disaster waste treated for 2011 Great East Japan Earthquake

Category	Prefectures	Municipalities completing treatment	Estimated disaster waste of volume (1,000t)	Treated volume (1,000t)			
				Recycled	Incinerated	Landfill	Total
Disaster waste	13	237/239 (99%)	20,123	16,290 (81%)	2,431 (12%)	1,332 (7%)	20,053 (99%)
Tsunami disaster waste	6	35/36 (99%)	10,600	10,434 (98%)	-	166 (2%)	10,600 (99%)
Recycled		Raw cement material		Heat recovery			
16,290 (81%)		1,107 (6%)		198 (1%)			

* percentage may not match due to rounding of fractions

* Source: Japan Ministry of the Environment(2015)



※ Source: Japan Ministry of the Environment(2012)

Figure 2. Disaster waste collection and disposal in Iwate prefecture

쓰나미로 인해 발생된 수해폐기물은 98% 수준으로 재활용이 이루어졌다는 점이다. 재활용 중 콘크리트 원료로 1,107천톤(6%), 열회수로 198천톤(1%)이 이용되었으며, 나머지 14,985천톤(74%)은 재활용처리시설로 이송된 것으로 판단된다. 우리나라 2011년 서울, 경기도의 수해폐기물 약 5.5만톤(92%)이 수도권매립지에 직매립되었던 사례와 2014년 부산의 경우 수해폐기물 약 0.8만톤(87%)이 생곡매립장에 매립되었던 점과 비교하면 재활용률의 차이에 있어서 일본이 높게 나타난 것을 알 수 있다(Korea Environment Institute, 2016).

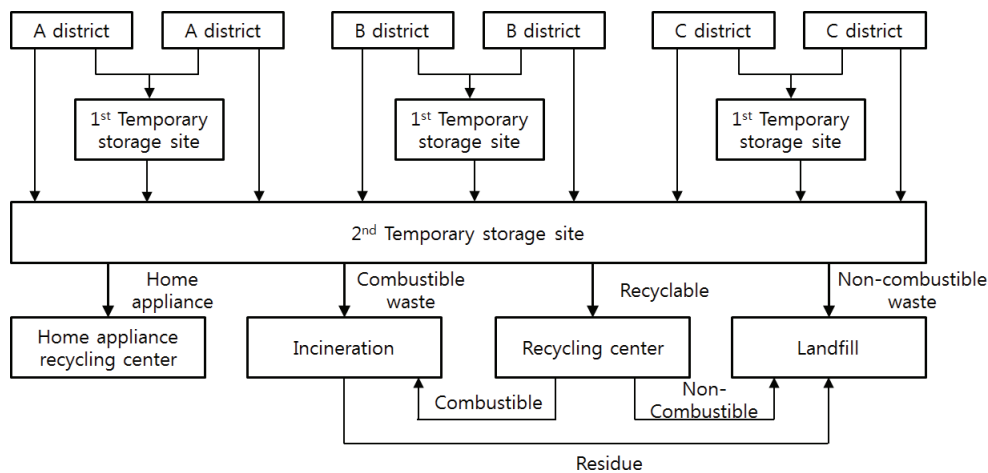
2. 수해폐기물 처리체계의 비교

1) 수해폐기물 분류 및 처리 현황

동일본 대지진 후 이와테현(Iwate)의 폐기물 처리 흐름과 우리나라 수해폐기물 처리 흐름도를 <Figure 2>와 <Figure 3>에 나타내었다. 1차, 2차 임시 적환장을 두고 폐기물을 수거한 후 최종 처리과정까지는 비슷한 수거체계를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 일본은

2차 임시 적환장에서 분쇄와 분류를 실시하는 반면, 우리나라는 2차 임시적환장에 대한 세부계획은 존재하지 않은 상태이다(Japan Ministry of the Environment, 2011). 또한 우리나라는 최종처분으로 폐가전 리사이클 센터, 소각시설, 재활용센터, 매립시설로 넓은 범위의 의미로 설명하고 있으나, 일본은 이외에도 시멘트 공장, 임시소각시설, 광역처리를 포함하여 구분하고 있었다. 이 중에서 광역처리의 경우 동일본 대지진 당시 이와테현과 미야기현은 재해폐기물을 자체 처리할 수 없게 되자 도쿄(Tokyo)로 50만톤의 재해폐기물을 보내 광역처리 할 수 있도록 하였다. 그리고 2차 적환장에서 역할을 자세하게 두어 파쇄를 통해 최종처리시설로 효율적으로 이송할 수 있도록 하였다.

미국은 연방재난관리청에서 지방정부로 하여금 구체적인 계획을 수립할 수 있도록 기본지침을 만들어서 배포하고 있다(FEMA, 2012). 이 지침에서 수해폐기물의 수거단계에서 적환장으로 이동한 폐기물은 기본적



※ Source: Ministry of Environment(2013a)

Figure 3. Disaster waste collection and disposal in Korea

으로 재해폐기물은 잔존 가치가 있는 물질인 금속류, 표토, 목재류, 콘크리트, 아스팔트 등과 관련된 물질에 대해서 재활용과 재이용이 수행되어야 한다고 규정하고 있다(FEMA, 2010). 이러한 목적은 최종처분장의 부담경감, 비용경감, 자원보존, 온실가스 저감이며 이 중 최종처분장의 부담경감에 가장 큰 목적을 두고 있다. 또한 미국은 수거단계에서 수해폐기물의 부피를 감축하기 위한 규정을 두고 있다. 미국의 경우 수해폐기물이 폐기물 처리시설로 이동하기 전 적환장에서 폐기물의 부피를 감축(volume reduction)하기 위해 목재류를 파쇄 하는데 이는 동일본대지진 당시 폐기물처리 방식과 비슷하다. 일본의 경우 폐기물 처리시설로 이동하기 전 2차 적환장에서 파쇄를 하고, 미국은 폐기물 처리시설로 이동하기 전 적환장에서 사전에 파쇄(pre-reduction)가 이루어진다. 이러한 방법은 파쇄를 통해 폐기물을 약 25% 수준으로 부피를 줄인 상태이므로 트럭과 같은 운송수단을 통해 이송하는 데 있어 원활하다는 장점이 있다(FEMA, 2007).

2) 인센티브 제도

우리나라와 미국의 가장 큰 차이점은 미국의 경우 재난관리를 담당하고 있는 연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency, FEMA)이 지방정부, 폐기물 공공처리시설 등으로 하여금 재해폐기물 관리계획(debris management plan) 수립여부에 따라 재정적으로 인센티브 혹은 불이익을 줄 수 있도록 하였다(FEMA, 2015). 구체적으로 재해폐기물 관리계획이

수립되어 있을 경우 약 2%의 재정적 인센티브를 부여하고, 그렇지 않을 경우 지속적으로 재정적으로 불이익을 주는 방식이다(FEMA, 2013a). <Figure 4>는 우리나라의 수해폐기물 처리에 있어서 재원조달 비율을 나타내었다. 미국과 달리 우리나라는 2010년 3.8%, 2011년 8.2%를 자체 복구액으로 조달한 것을 제외하고 99% 이상 국고로 충당하고 있어 사실상 지자체와 폐기물 공공처리시설에 수해폐기물 처리 의무를 지울 수 없었음을 알 수 있다.

3) 수해폐기물 가이드라인

미국은 각 지자체(cities, counties, tribes, etc)로 하여금 재해폐기물 관리계획 수립을 위해 폐기물관리 가이드라인을 제작하여 재난 관리의 한 분야로서 재해폐기물관리가 이루어지고 있었으며, 내용은 사전계획 승인·재해폐기물 관리를 위해 사전에 필요한 사항·재해폐기물 관리에 대한 내용으로 구성되어 있다(EPA, 2008). 구체적으로 지자체는 재해폐기물 관리계획을 연방재난관리청으로부터 허가를 받아야 하며, 허가를 받기 위해서는 재해폐기물 관리에 대한 내용이 포함되어 있어야 한다. 그리고 그 내용은 ①재해폐기물 발생량 및 종류 추정, ②환경에 대한 영향 평가, ③폐기물 처리시설 인벤토리 구축, ④재해폐기물 처리시설 사전 선정, ⑤폐기물 처리장비 및 인력 사전 지정, ⑥폐기물 수거업자, 공공기관 등과의 사전 조율, ⑦재해폐기물 예방전략, ⑧환경, 자원회수, 발생량 저감계획을 고려한 수거부터 처리까지의 세부계획을 포함한다.

EPA의 재해폐기물 관리 가이드라인을 우리나라의 “재난폐기물 안전관리 지침”(Ministry of Environment, 2013a)과 비교하였을 때, 우리나라 재해폐기물 관리 지침은 대부분 내용이 포함되지 않는 것으로 나타났다. 앞에서 재정적 인센티브를 언급하였지만 재해폐기물 관리계획 수립을 위해 인센티브 제도를 우리나라에 도입하더라도 계획 수립을 위한 지침이 세부적이지 않다면, 지자체에서 수립한 지침은 이행되지 않을 계획이 될 가능성이 높게 된다.

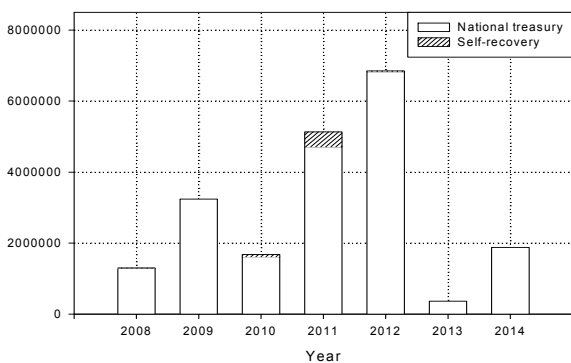
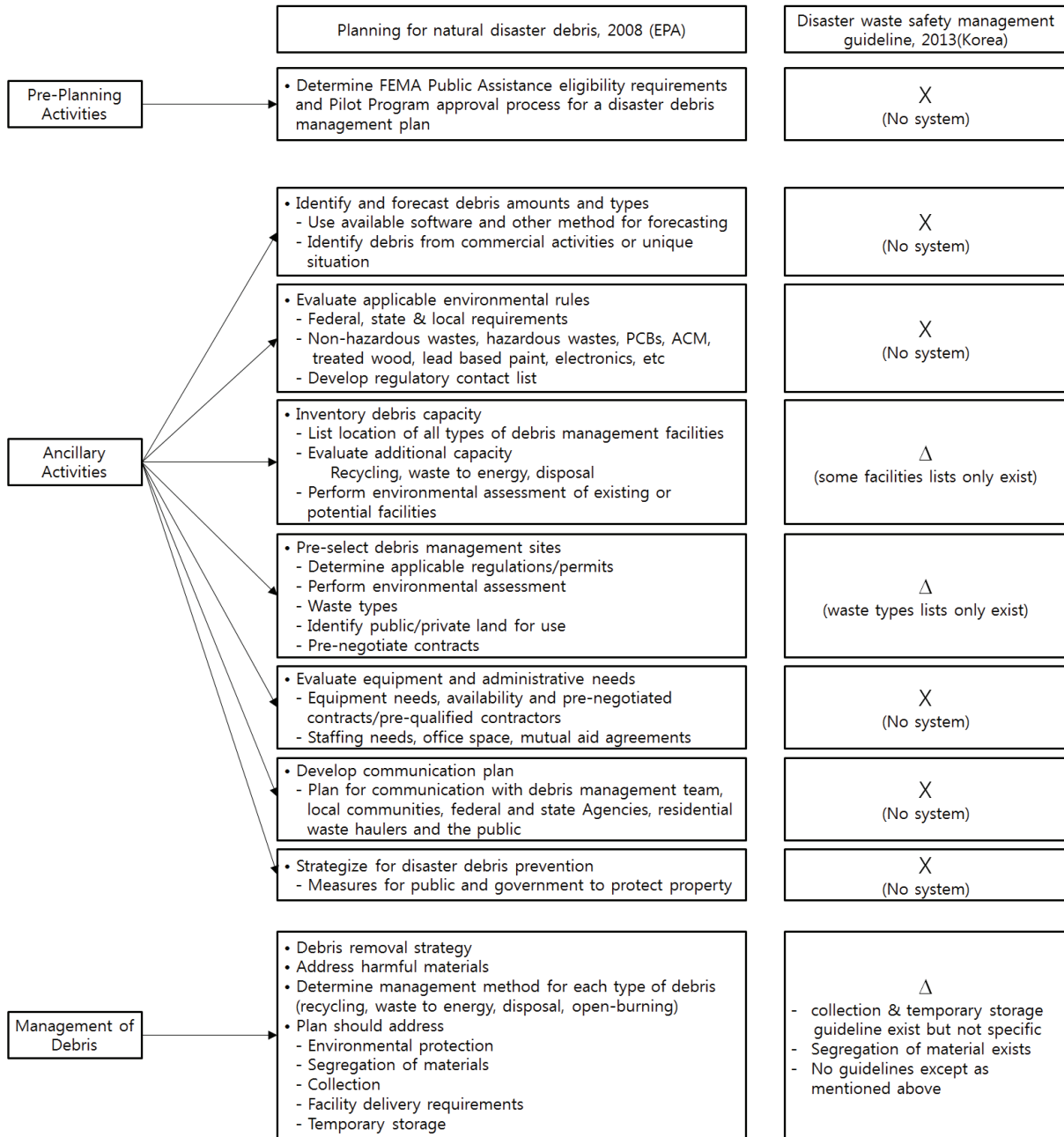


Figure 4. Flood waste management cost in Korea



※ Source: EPA(2008) and Ministry of Environment(2013a)

Figure 5. Comparison of flood waste guideline

3. 수해폐기물 통계의 부족 및 통계조사간의 불일치성

수거된 수해폐기물이 재활용, 소각 등의 처리가 이루어지기 위해서는 수해폐기물에 대한 발생량, 물리적 조성, 함수율, 발열량 등의 폐기물 특성이 필요하게 된다. 우리나라 환경부에서 2013년 발간한 ‘재난폐기물 안전관리지침’에서 수해폐기물에 대해서 일반 생활폐기물과 동일하게 규정하고 있으나, ‘제4차 전국폐기물통계

조사’에서는 표본조사를 통해 수해폐기물 발생량에 대해서만 조사가 이루어졌다(Ministry of Environment, 2013b). 지자체 230개소를 대상으로 발생 및 처리현황에 대해서 설문조사를 통한 통계조사를 실시하였으며, 발생량에 대한 자료는 있지만 수해폐기물 특성이나 처리방법별 통계조사는 이루어지지 않은 상태이다(Ministry of Environment, 2016). 또한 전국폐기물 통계조사 결과는 2011년 수해폐기물 발생량이 140,907

Table 4. Comparison of flood waste generation between (a) and (b)

	The 4th survey on waste materials, ton (a)	Department of Disaster Recovery Assistance, ton (b)	Differences, ton (a) - (b)
Seoul	17,154.4	5,200	11,954.4
Busan	460.3	-	460.3
Daegu	557.5	-	557.5
Incheon	563.9	-	563.9
Gwangju	0.0	-	0.0
Daejeon	550.0	-	550.0
Ulsan	1,133.0	-	1,133.0
Gyeonggi-do	79,793.7	55,402	24,391.7
Gangwon-do	7,259.0	5,661	1,598.0
Chungcheongbuk-do	345.0	-	345.0
Chungcheongnam-do	2,510.0	1,040	1,470.0
Jeollabuk-do	8,142.2	7,692	450.2
Jeollanam-do	1,032.4	479	553.4
Gyeongsangbuk-do	380.5	-	380.5
Gyeongsangnam-do	1,742.0	1	1,741.0
Jeju-do	19,284.0	-	19,284.0
Total	140,907.0	75,475	65,432.0

톤으로 보고하고 있지만, 재해연보상 2011년 수해폐기물 발생량은 75,475톤으로 상이하게 나타났다. 그리고 수해폐기물은 폐기물관리법에 따라 분류되는 폐기물이나 환경부에서 매년 발간하는 전국폐기물 발생 및 처리 현황에서 수해폐기물 항목은 존재하지 않은 상태이다. 각 지자체에서 일부 연간 수해폐기물 발생량에 대해서 보고하고 있지만 처리현황 등 자세한 사항에 대해서는 통계처리가 이루어지지 않은 상태이다.

III. 수해폐기물 수거단계에서의 발생량 예측

1. 통계를 이용한 예측

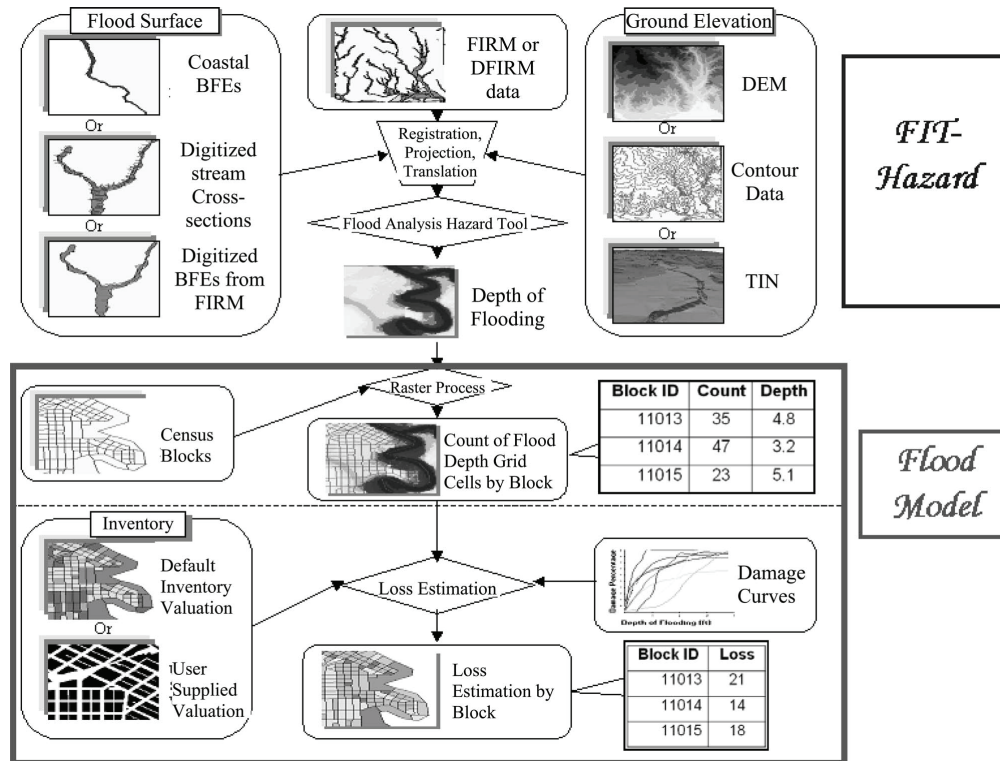
수거단계에서 필요한 가장 우선시되는 과정은 수해폐기물이 얼마나 발생할 것인가를 예측하는 단계이다. Chen, *et. al.*(2007)은 타이완 지역의 수해폐기물 발생량에 대해 인구밀집, 침수면적, 강우량을 이용하여 로그변환 회귀분석을 수행하였으며, 도출된 R^2 값은 0.538로 수해폐기물 수거 계획단계에서 비교적 의미

있는 결과값을 도출하였다(Chen, *et. al.*, 2007).

국내에서는 수해폐기물 발생량 원단위에 대해서 Kang, *et. al.*은 서울시에 한해서 침수건물수와 수해폐기물 발생량에 대해 실측치를 비교함으로써 기존 환경부에서 제시한 1.7톤/침수건물 보다 1.35톤/침수건물이 적절한 것으로 보고하였다(Kang, *et. al.*, 2015). 또한 강우량과 수해폐기물 발생량의 관계에 대해 과거자료를 이용한 회귀분석을 통해 강우량이 증가함에 따라 수해폐기물 발생량을 예측할 수 있도록 하였다. 그러나 현재 이 연구를 제외하고 국내 수해폐기물 발생량 예측에 대해서는 거의 전무한 실정으로 기초 자료가 매우 부족한 상황이다.

2. 시뮬레이션을 이용한 예측 I

미국은 수해폐기물 발생량 예측 단계에서 ArcGIS와 연동된 Hazus-MH를 이용하여 예측하는데 이를 <Figure 6>에 나타내었다(Scawthorn, 2006a).



※ Source: Scawthorn, et. al.(2006b)

Figure 6. Hazus-MH flood model

여기서 제시된 기술은 다음과 같다. ①대상 하천 단면도(stream cross-section) 입력 ②대상 하천 홍수위(base flood elevations) 입력 ③대상유역에 대한 고도(elevation) 입력 ④대상유역 침수면적 및 침수심 산정 ⑤충격곡선(damage curve) 추정 ⑥침수심에 따른 수해폐기물 발생 계수 입력 ⑦충격곡선에 따른 수해폐기물 발생 계수 입력 ⑧침수면적 및 수해폐기물 발생계수를 토대로 발생량 산정이 이루어진다. ①~④의 과정은 최근 우리나라에서 풍수해에 따른 피해액 산정에 대한 연구와 유사하며, ⑤~⑧ 과정은 풍수해 피해액 산정과는 구별되는 수해폐기물 산정 계수를 입력하는 단계라 할 수 있다. ①~③까지의 과정은 우리나라도 하천기본계획에 대부분 포함된 내용으로 필요한 자료를 수집할 수 있다. ④침수면적과 침수심은 현재 우리나라 풍수해 피해액 산정 연구과정에서 도출될 것으로 판단된다. ⑤는 대상하천 단면도와 강우량 등의 유입유량에 의한 유속과 침수심 그리고 충격력간의 관계를 나타낸다. ⑥은 0~4ft, 4~8ft 등으로 구분하여 침수심의 깊이가 건물

1층의 높이 단위로 설정되어 있으며, 침수심이 1개 층을 넘어갈 때마다 침수면적은 같더라도 침수심에 따라 폐기물 발생량이 증가하도록 구성되어 있다. 그리고 ⑦은 건물이 붕괴될 때의 충격량을 100%로 두었을 때, 50% 이하의 충격량에서는 가구, 전자제품, 생활폐기물 등의 발생이 이루어지도록 구성되어 있다. 50% 이상의 충격량에서는 콘크리트, 철근 등의 건축 폐기물의 발생이 시작되도록 구성되어 있다(Scawthorn, 2006b). 이와 같이 수해폐기물 발생량이 예측되면 수거계획을 수립할 수 있게 된다. 대규모 수해피해가 발생했을 경우 폐기물의 수거기간을 대략적으로 산정하고, 로더 1대당 일일 수거량을 산정한다면 수해폐기물 수거에 필요한 장비의 투입규모를 결정할 수 있게 된다. ①~④과정에 대해서는 기존 피해규모 산정이나, 피해액 산정 연구가 진행되어 있는 만큼 ⑤~⑧에 대한 추가적인 연구가 진행된다면 수해폐기물 발생량을 예측할 수 있게 되고 이에 따라 수해폐기물 대책 수립이 가능할 것이다.

Table 5. The expected debris amount for occupancy type i

$$EDW(i, j) = Depth\%_j \times Fa_i \times (DWF_{i,j} + DWS_{i,j} + (DWFoF_{i,j} \times FoF\%) + (DWFoS_{i,j} \times FoS\%))$$

$EDW(i, j)$ = Expected debris weight of occupancy i, for depth j

$Depth\%_j$ = the percent of the current census block subjected to the given depth, j

Fa_i = floor area of occupancy i (in 1000 square feet)

$DWF_{i,j}$ = debris weight (in tons per 1000 square foot) of building finishes for occupancy i, and depth j

$DWS_{i,j}$ = debris weight (in tons per 1000 square foot) of building structural components for occupancy i, and depth j

$DWFoF_{i,j}$ = debris weight (in tons per 1000 square foot) of foundation materials for buildings with footing foundations for occupancy i, and depth j

$FoF\%$ = percent of building area with footing foundations, aggregated from default foundation type distribution (Note: FoF% and FoS% must sum to 100%)

$DWFoS_{i,j}$ = debris weight (in tons per 1000 square foot) of foundation materials for buildings with slab-on-grade foundations for occupancy i, and depth j

$FoS\%$ = percent of building area with slab-on-grade foundations, aggregated from default foundation type distribution (Note: FoF% and FoS% must sum to 100%)

※ Source: FEMA(2013b)

3. 시뮬레이션을 이용한 예측 II

앞서 설명한 Hazus-MH는 2013년 수정되어 가이드라인이 배포되었다(FEMA, 2013b). ①~⑦까지의 과정이 동일하였으며, ⑧수해폐기물 발생량 계수 산정방법이 일부 수정되었다. 앞서 침수깊이 0~4ft, 4~8ft 등으로 구분하여 침수 깊이를 설정한 후 건물 밀집도(1,000 square feet)를 고려하여 블록단위로 적용하게 된다. 충격량에 따른 건물 마감재, 건물 구조물의 발생량을 예측하고, 건물 구조물 종류의 비율에 따라 폐기물 발생량을 예측하도록 하고 있다.

Hazus-MH의 이러한 일련의 과정은 홍수 빈도를 이용하여 계산하는 방법으로 폐기물의 발생량은 예측이 가능하나, 시간에 따라 발생량을 판단하지는 못한다. Hazus-MH의 단점을 보완하기 위하여 레이더, 강우계, 하천센서 등을 이용하여 강우가 지속되고 있는 상황에서 실시간으로 홍수 피해규모와 피해액 산정을 할 수 있는 연구가 진행되었다(Yildirim, 2016). Hazus-MH와 아이오와 홍수시스템(Iowa Flood Information System, IFIS)을 결합한 시스템으로 실시간 예측을 통하여 의사결정에 지원을 할 수 있었다. 앞서 수해폐기물 발생량 산정에 있어서 홍수 피해규모와 피해액 산정의 과정이

상당히 유사함을 생각한다면 향후 수해폐기물 발생량 산정에 있어서도 긍정적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론

우리나라 수해폐기물 관리에 있어서 문제점으로 세부계획 부재에 따른 직매립, 수해폐기물 발생량 예측 연구 부족과 수해폐기물의 성상, 발생량, 처리현황 등의 통계조사 부족 및 불일치성을 들었다. 미국과 일본 사례를 검토하여 향후 우리나라가 수해폐기물을 관리하는 데 있어서 나아갈 방향은 다음과 같다.

- 1) 미국은 지자체별 특성을 고려한 재해폐기물 관리 계획 수립을 위해 재정적 인센티브 지원, 세부계획 수립을 위한 지침 등의 제도적 장치를 도입하고 있었다. 수거부터 처리단계까지 사전에 긴밀한 협력을 통해 수해가 발생할 시 원활하게 대처가 가능하게 하였다. 또한 일본은 처리단계에서 광역처리개념과 시멘트 공장 의 연료로 이용하는 등의 세부계획을 수립하여 원활한 처리뿐만 아니라 재활용과 재이용률을 높이는 방법으

로 처리가 이루어지고 있었다. 이에 근거하여 볼 때 우리나라는 우선적으로 지자체가 수해폐기물 수거 및 처리에 대한 세부적인 계획을 세우기 위해 미국의 사례와 같이 재정적 인센티브 제도 고려, 가이드라인 제작 등을 우선적으로 고려해볼 필요가 있다.

2) 수해폐기물 발생량 예측은 수해 발생 시 대응 방안을 마련하는 데 있어서 가장 우선적으로 작용한다. 발생량이 산정되면 장비 투입, 자원, 인력 등의 투입 규모를 결정할 수 있게 된다. 수해폐기물의 수거단계에서 발생량 예측을 위해 미국은 ArcGIS와 수리학적 계산을 통해 예측하고 있었고, 이미 발생된 폐기물의 양을 산정하는 데 있어서 일본은 동일본 대지진 당시 인공위성 사진자료를 이용하여 실제 발생량과 근접한 수준으로 추정하였다. 그러나 우리나라의 수해폐기물 발생량 연구는 “피해 가옥수당 발생량” 정도로 수해가 발생한 후 피해 규모를 조사한 후에야 추산할 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

3) 일본은 발생된 수해폐기물에 대해 전체 발생량, 성상별 발생량, 처리방법별 처리현황 등에 대한 통계조사가 동시에 이루어지고 있어 수해폐기물의 발생 및 처리 과정을 관리자가 확인하며 부족한 부분을 대응·보완하며 진행하고 있었다. 반면 우리나라는 수해폐기물 발생량에 대해서만 ‘재해연보’에서 기록하고 있는 실정이지만, 이마저도 통계조사간에 오차가 크게 발생하고 있는 실정이었다. 추후 수해폐기물의 통계조사 근거를 마련하여 발생량, 처리현황 등의 통계작성이 이루어져야만 운영자 혹은 관리자의 의사결정이 원활하게 될 것으로 판단된다.

이상으로 볼 때 우리나라가 지금과 같은 제도를 유지한다면 향후 대규모 수해폐기물이 발생했을 시 수거와 처리에 있어서 과거와 같은 어려움이 있을 것으로 예상되며, 이제부터라도 다가올 수해라는 재해에 대비해 재난관리의 한 분야로서 수해폐기물에 대한 제도개선과 기초연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

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

References

- Charles, Scawthorn, F. ASCE, Paul Flores, Neil Blais, Hope Seligson, Eric Tate, Edward Mifflin, Will Thomas, James Murphy, and Christopher Jones. 2006a. Hazus-MH Flood Loss Estimation Methodology. I: Overview and Flood Hazard Characterization. *Natural Hazards Review*. 7(2): 60-71.
- Charles, Scawthorn, F. ASCE, Paul Flores, Neil Blais, Hope Seligson, Eric Tate, Stephanie Chang, Edward Mifflin, Will Thomas, James Murphy, Christopher Jones, and Michael Lawrence. 2006b. Hazus-MH Flood Loss Estimation Methodology. II: Damage and Loss Assessment. *Natural Hazards Review*. 7(2): 72-81.
- Department of Disaster Recovery Assistance. 2008-2015. *Statistical Yearbook of Natural Disaster*.
- EPA. 2008. *Planning for Natural Disaster Debris Guidance*.
- FEMA. 2007. *Public Assistance: Debris Management Guide*. FEMA-325.
- FEMA. 2010. *Public Assistance: Debris Management Guide*. FEMA-327.
- FEMA. 2012. *Public Assistance Debris Operations Job Aid*.
- FEMA. 2013a. *The Sandy Recovery Improvement Act of 2013*.
- FEMA. 2013b. *Hazus 2.1 Technical and User's Manual: Flood Model Technical Manual*.
- FEMA. 2015. *Debris Management Plan Review Job Aid*.
- Japan Ministry of the Environment. 2011. *Guidelines(Master Plan) for Disaster Waste Management after the Great East Japan Earthquake*.
- Japan Ministry of the Environment. 2012. *Chapter 2: Response to the Great East Japan Earthquake and Nuclear Power Station Accidents*.
- Jenq Renn, Chen, Hsiao Yun Tsai, Ping Chi Hsu, and Chun Cheng

- Shen. 2007. Estimation of Waste Generation from Floods. *Waste Management*. 27: 1717-1724.
- Jeong, Sang Jae and Jae Yeong Kim. 2012. Comparison of Disaster Debris Guidelines and Analysis of Flood Debris Recovery. *Journal of Korea Society of Waste Management*. 29(5): 497-503.
- Kang, Ewi Soo, Mun Sol Ju, Wha Sook Jeon, and Jae Young Kim. 2015. Flood Waste Prediction Method Using Rainfall and Flooded Buildings in Seoul. *Journal of Korea Society of Waste Management*. 32(7): 713-719.
- Korea Environment Institute. 2016. *Optimal Management of Disaster Waste by Its Properties Using GIS*.
- Ministry of Environment. 2013a. *Disaster Waste Safety Management Guideline*.
- Ministry of Environment. 2013b. *The 4th Survey on Waste Materials*.
- Ministry of Environment. 2016. *Status of Waste Generation and Treatment*.
- Ministry of the Environment Government of Japan. 2015. http://kouikishori.env.go.jp/en/archive/h23_shinsai/progress_management.
- Siddik, Ekici, David A. McEntire, and Richard Afedzie. 2009. Transforming Debris Management: Considering New Essentials. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 18(5): 511-522.
- UNEP/OCHA. 2011. *Disaster Waste Management Guidelines*.
- Yildirim, E., M. Y. Sermet, and I. Demir. 2016. Flood Damage and Loss Estimation for Iowa on Web-based Systems Using HAZUS. *In AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Korean References Translated from the English*
- 강익수, 주문술, 전화숙, 김재영. 2015. 강우량과 침수건물 수를 이용한 서울시 수해폐기물 발생량 예측방법. 폐기물자원순환학회. 32(7): 713-719.
- 국민안전처. 2008~2015. 재해연보.
- 정상재, 김재영. 2012. 국내외 재해폐기물 관리 지침 비교 및 수해폐기물 처리 현황 분석. 폐기물자원순환학회. 29(5): 497-503.
- 환경부. 2013. 재난폐기물 안전관리 지침.
- 환경부. 2013. 제4차 전국폐기물 통계조사.
- 환경부. 2016. 전국폐기물 발생 및 처리현황.
- 한국환경정책, 평가연구원. 2016. 공간정보를 활용한 재해폐기물 성상별 최적 관리방안.

Received: Aug. 14, 2017 / Revised: Dec. 1, 2017 / Accepted: Dec. 6, 2017

우리나라 수해폐기물의 수거 및 처리체계의 현황과 향후 추이 고찰

국문초록 본 연구는 우리나라 수해폐기물 처리현황에 대해 고찰하였고, 향후 우리나라의 수해폐기물 관리방안에 대해서 일본과 미국의 사례를 검토하여 제시하였다. 우리나라 수해폐기물 관리에 있어서 문제점은 지자체별 기본계획 부재와 이에 따라 폐기물 처리시설과 지자체간의 연계성 부족으로 인한 직매립을 들었다. 이외에도 수해폐기물 통계조사의 부족 및 조사 기관별 불일치성, 수해폐기물 발생량 예측에 대한 연구부족에 따른 인력투입이나 장비투입의 규모를 결정하는 대처능력이 미흡해지는 문제점을 제시하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 미국과 일본의 사례를 조사하였다. 우리나라는 지자체 수해폐기물 기본계획 수립여부에 따라 재정적 인센티브를 부여하는 미국의 방식을 통해 제도적인 보완이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 기본계획 수립을 위한 기본과정인 수해폐기물 발생량 산정에 있어서 미국의 발생량 예측방식과 일본의 발생량 산정방식이 우리나라 수해폐기물 관리에 병행되어야 할 것이다. 또한 기본계획 이행사항을 모니터링 하기 위해 수해폐기물 통계조사가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

주제어 : 재난, 수해폐기물, 수해폐기물 관리, 수거 및 처리체계

Profiles **Won Kyu Kim** : He received his B.A. and M.A. from University of Seoul, Korea in 2015. He is a researcher at International Center for Urban Water Hydroinformatics Research & Innovation, in which he has worked since 2017. His interesting subject and area of research and education is interdisciplinary research(k10609@hanmail.net).

Dong Woo Jang : He received his Master degree from Incheon National University, Korea in 2011. He is a Ph.D. course of the Department of Civil & Environmental Engineering at Incheon National University. His interesting subject and area of research are hydraulics, hydrology and water distribution system(nightray@paran.com).

Joo Won Kim : He received his B.A. from Korea National Open University, M.A. from Soongsil University and Ph.D. from Incheon National University, Korea in 2011. He is a researcher at International Center for Urban Water Hydroinformatics Research & Innovation, in which he has worked since 2015. His interesting subject and area of research and education is interdisciplinary research(kjw-0517@hanmail.net).