

미국 군에서의 재활용 실태에 관한 조사 연구 (A Survey on Recycling for the U. S. Army)

황영현, 강석호*, 이상복**

Abstract

Nowadays, flooding waste is serious problem to mankind and the endeavour for solving waste problem is performed in connection with environmental problem and natural resource problem. In Korea, there are a lot of movements related to reduction of waste, too. As the solution of these problems, recycling is recommended and many kinds of recycling technique are devised.

In America, military has been playing an important role in recycling area for a long time. This paper is the survey of several articles and working papers about America military's recycling research. We investigated the recycling of water, construction and demolition wastes, etc. These research results are very important in real field of military. It is considered our military has to prepare this recycling problem and now it's the right time. All of these methods can be adapted to our military, commercial companies and civilians through some modification. We suggest that our military should cope with recycling problem more deliberately.

Keyword: recycling, water recycling, construction and demolition waste recycling

* 서울대학교
** 서경대학교

1. 서론

산업사회의 도래와 함께 부각되어 온 제한된 부존자원의 사용 문제와 쓰레기 처리 문제는 거의 모든 국가에 걸친 범세계적인 과제라고 아니할 수 없다. 이 두 가지 문제에 대한 해답으로 제시되고 있는 방안이 바로 재활용(recycling)이며, 이러한 재활용 문제는 많은 국가에서 활발히 논의되고 있다.

현재 우리 나라에서도 점차 재활용 문제에 대한 인식이 환경단체나 정부 부처를 중심으로 확산되어 가고 있으며, 이러한 관련 법령들도 속속 제정되고 있는 실정이다. 재활용 문제와 관련된 법으로는 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률(1993.12.10 제정, 1995.1.1 개정), 폐기물 관리법(1992.12.8 제정, 1995.8.4 개정) 등이 있으며, 이를 주도적으로 추진하기 위해 한국자원재생공사법('94.4.1 제정)에 의해 한국자원재생공사가 만들어졌고, 환경관리공단이 설립되어 있다. 또한 '94년 말에 단행된 정부조직개편에서 기존의 환경처가 환경부로 격상되었다. 또한 '95년 1월부터 전국적으로 실시된 쓰레기의 분리수거를 통한 자원의 재활용 운동도 적극적으로 추진되어 가고 있다. 그러나 우리 나라의 재활용 역사는 선진국에 비해 상대적으로 부족하여 다양한 쓰레기들에 대한 구체적인 재활용 방안에 대한 연구가 미흡하며, 이로 인해 재활용 정책은 주로 가정용 쓰레기에 초점이 맞추어지고 있는 실정이다.

본 논문은 이러한 재활용 문제에 대한 선진국의 사례를 살펴봄으로써 우리 나라의 재활용 운동에 대한 방향을 제시하고자 씌어졌다. 여기에 주로 인용된 자료들은 미국 군대에서 추진되었던 재활용에 대한 연구 결과들인데, 이러한 연구 결과들은 우리 나

라의 군에서도 유용하게 사용될 수 있는 내용들이며, 대부분의 연구 결과는 그 바로 민간분야에서도 사용할 수 있는 것들이라고 생각한다.

미국 군에서는 1970년대부터 쓰레기 문제와 재활용 문제를 중요하게 인식하고 이에 대한 다양한 연구를 수행하였으며, 재활용 문제에 있어 선도적인 역할을 담당하고 있다. 이 논문에서는 미국 군 연구 결과 중 물의 재활용, 건축 폐자재의 재활용 및 폐운활유의 재활용 문제를 살펴보고, 재활용 문제에 대한 종합적 대응책에 대해 소개하였다.

그러나 이 논문의 목적이 단지 몇몇 분야에서 사용되는 이러한 세부적인 재활용 기법을 소개하기 위한 것은 아니다. 이러한 사례를 소개함으로써 재활용 문제에 대한 이해를 돕고, 우리 군에서도 이에 상응하는 연구가 활성화되어, 이를 통해 군에서 발생하는 쓰레기 문제에 대한 해결책을 찾고, 군의 연구 결과가 민간분야의 재활용 운동에도 긍정적인 도움을 제공할 수 있도록 하는 것이 이 논문의 궁극적인 목적이라고 할 수 있다.

이 논문의 구성은 2장에서는 미국이 대처하고 있는 쓰레기 문제와 이에 대한 미국 군의 대응에 대해 다루었고, 3장에서 미 육군에서 수행되었던 물의 재활용 문제를, 4장에서 폐자재의 재활용 문제에 대한 연구 결과를 소개하였으며, 5장에서는 종합적인 대책을, 마지막으로 6장에서 결론을 내렸다.

2. 미국의 쓰레기 문제와 미국 군의 대응

미국에서는 매년 60억톤이 넘는 상업용, 산업용, 농업용 그리고 주택용(가정용) 쓰레기들이 홍수처럼

쏟아져 나오고 있다. 이처럼 방대한 양의 쓰레기들은 환경을 위협하고 있다. 개인, 기업 그리고 정부는 이제 방대한 쓰레기의 양을 감소시키기 위한 많은 정책을 수립하고 있다.

지금까지 쓰레기 처리는 매립 방식을 사용하고 있다. 그러나 미국에는 쓰레기 매립지가 약 6,034 개에 달하고 있으며, 5년마다 기준에 비해 50% 정도가 늘어나는 추세이다. 그러나 매립지는 한정되어 있고, 매립 비용 또한 계속적으로 증가하기 때문에 이러한 매립 방법은 지속적으로 사용할 수 없는 쓰레기 처리방법이다.

이에 대한 대처 방안은 쓰레기를 줄이는 방법과 재활용 방법이다. 쓰레기 감소 방안은 궁극적으로 쓰레기를 만들지 않고 절약함으로써 감소시키는 것이다. 이 방법의 장점은 경제적이고 기술적으로 쓰레기 문제를 해결하고, 비교적 저렴하고 다루기 용이하다는 점이다. 기술평가국(The Official of Technology Assessment)은 산업에서 생성되는 쓰레기를 자원 감축 기법을 사용함으로써 몇 년 안에 50%까지 감소시킬 수 있다고 말하고 있다.

재활용 기법은, 이미 발생되어진 쓰레기를 산업용이나 상업용 목적으로 유용하게 다시 사용되어질 수 있도록 관리하는 기법이다. 현재는 고형 쓰레기들의 10%나 13%만이 재활용 기법에 의해 처리되어지고 있다. 재활용의 문제점들은 낮은 질과 가격 때문에 수요와 공급의 부조화가 생겨나고, 비싼 재생 비용 때문에 때로는 재활용품이 원래의 생산품 가격보다 비싸지기도 한다. 재활용은 모든 쓰레기 처리 문제를 종식시켜 줄 무조건적 해결은 아니다. 그러나 재활용과 각종 쓰레기 최소화 기법을 행함으로써 쓰레기 대홍수의 사태에 대응하고 자원 감축을 위한 적

절한 형태의 시장이 형성될 것이다.

미 국방성과 미 공군은 모두 1970년 이후로 자원 감축을 위한 많은 양의 쓰레기 처리 문제에 대한 많은 노력을 기울였으며, 특히 공군의 지도부들은 재활용 문제들을 해결하기 위한 여러 가지 시도를 벌였다. 이러한 재활용을 위한 여러 가지 정책들의 개발과 수행이 쓰레기의 발생과 그로 인해 파생되는 여러 가지 문제들을 해결하고 장기적인 이익을 제공하는 열쇠가 될 것이다. 미 공군은 자체의 인력을 통하여, 다양한 형태의 기구, 제조, 가공방법 등을 개발하고 있다.

특히 미 공군은 국방성과 함께 위협하지 않은 고형 쓰레기(Nonhazardous Solid Wastes, NHSW) 처리에 대한 중요한 역할을 담당하고 있는데, 이는 주로 군에서 발생하는 건축 폐기물이나 도로에서 발생하는 고체 폐기물을 포함하고 있다. 미 공군의 지도부들은 쓰레기 최소화와 재활용의 문제에 관심을 기울여 왔으며, NHSW의 발생과 관련된 문제들에 대하여 심도 깊은 분석을 실행해 오고 있다[5].

3. 물의 재활용에 대한 조사

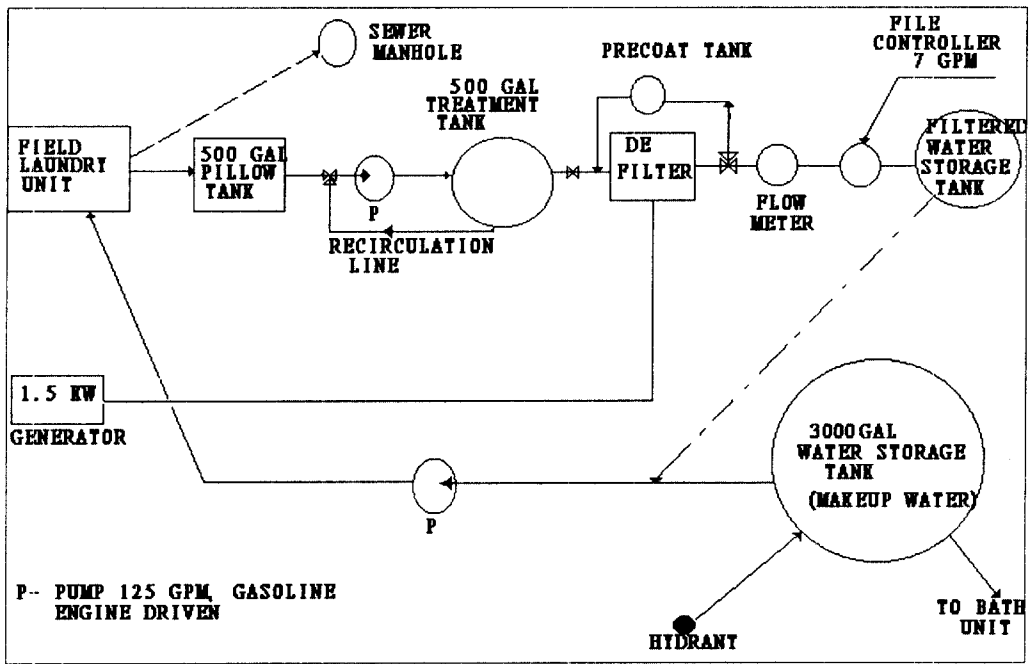
신선한 물의 공급은 군작전 수행시 가장 중요한 문제 중의 하나라고 할 수 있다. 그러나 신선한 물의 공급이 여러 이유로 점점 어려워지고 있다. 예를 들면, 평시에는 환경 파괴로 인한 물의 오염, 농지 면적 증가로 인한 물 공급원의 감소, 공업화로 인한 대량의 물 소비 등이 주요한 원인이라고 할 수 있으며, 전시에는 적군의 세간전이나 화학전에 의한 공격으로 인해 자연수를 사용할 수 없는 경우가 발생하기도 한다.

미 육군의 경우 1985년 한해 물값으로 지불한 금액이 1.2억불이나 될 정도로 막대한 양을 소비하고 있으며, 특히 서부 아시아나 아프리카 사막에서 작전 수행할 때 물의 공급 문제는 시급히 해결해야 할 중요한 과제가 되고 있다. 이제 물의 재활용에 대한 연구는 전시, 군사훈련시, 특별작전 수행시를 대비하여 필요할 뿐 아니라 평화시에도 필요하게 되었다. 이 장에서는 미국 군에서 이루어진 세탁에 사용한 물의 재활용에 대한 연구와 목욕물의 재활용에 대한 문제를 소개하고, 다음엔 종합적으로 제시한 폐순환 (Closed-loop) 개념을 소개한다. 이 모든 연구 결과는 우리 한국군 뿐 아니라 민간 회사에도 그대로 이용 가능할 것이다[1,2,6,8,9].

미 육군에서는 세탁에 사용한 물의 재활용에 대해서 체계적인 연구를 했다. 한 사례조사에 의하면, 병영에서 2대의 세탁기가 평균 20시간 동안에 1000갤런의 물을 사용했는데, 이만한 양의 물을 장기간 훈련 때나 실전시에 지속적으로 공급하기에는 많은 어려움이 있다. 이러한 많은 양의 물의 소비를 줄이는 방안에 대한 연구가 Field Laundry Wastewater Recycling System [FLWRS] 프로젝트란 이름으로 연구되어 실험을 거쳤다.

이 프로젝트의 수행결과로 제시한 세탁에 사용한 물을 정수하는 기기는 차로 이동할 수 있고, 설치하는 남자 2명이 할 수 있도록 설계되었다[그림1]. 여기에는 (1) 가솔린 펌프 엔진, (2) 화학 약품 처리, (3)

3.1 세탁에 사용한 물의 재활용



[그림1] 세탁 물 정수기

디아토마이트 필터(Diatomite filter) 등이 사용된다.

정수 순서는 다음과 같이 11단계로 이루어진다. (1) '사용한 물'을 필로오탱크(pillow tank)에 450 갤론 채운다, (2) 탄소(carbon) 6.5파운드, 소다화(soda ash) 2파운드, 450 ml 유황(Ph 8.0 이하)을 첨가한다, (3) 펌프를 사용하여 20분간 저어준다, (4) 음이온 폴리머-I을 추가하여, 15분~30분 정도 젖는다, (5) 양이온 폴리머-II를 첨가한 후 15분 동안 젖는다, (6) 20분간 가라앉힌다, (7) 분당 2 갤론씩 디아토마이트 필터를 통과시킨다, (8) 염산을 첨가한다, (9) 새로운 필터를 통과시킨다, (10) 새로운 통에 저장한다, (11) 정수된 물로 사용한다.

현장에서 사용된 물 450 갤론을 모으는데 5시간 소요되고, 이 물의 정수 처리에는 약 2시간이 소요되었다. 여러 번의 실험 결과 정수 결과는 만족했다 [6].

3.2 목욕물의 재사용

미 육군에서는 병사들이 목욕한 물(원문에는 shower water)을 정수해서 다시 사용할 수 있는 방안에 대한 프로젝트를 수행하였다. 사실 목욕은 위생상 등의 문제로 필요 불가결한 것이라고 할 수 있으나, 이에 사용되는 물의 양도 무시할 수 없게 되었다. 이를 간단히 소개하면 다음과 같다.

목욕물에 첨가된 화학품에 따라 다음과 같이 여섯 종류로 분류된다.

- (1) 기본적인 화학 성분이 포함된 물
(Chemicals present in make-up water)
- (2) 비누나 샴푸 등의 성분이 포함된 물
(Chemicals used in showing)

- (3) 기름, 향수, 오물 등 특수한 성분들이 첨가된 물
(Known chemicals released in showering)
- (4) 화약류나 농약류 같은 성분이 첨가된 물
(Unknown or unforeseen chemicals released in showing)
- (5) 소독약이 첨가된 물
(Chemicals present as a result of water treatment)
- (6) 강력한 소독약이 첨가된 물
(Chemicals used to clean shower facilities)

정수를 위한 기본 원칙은 다음 세 가지이다. (1) 샤워 밸브를 조정하여 샤워 물을 조정한다. (2) 처음 목욕 후 10~20% 물은 비누, 샴푸 등 많은 화학물이 첨가됐으므로 버린다. (3) 환경오염에 가장 오래 남는 살충제의 사용을 자제하고, 화학물질 제거에 좀더 정밀한 방법을 적용한다.

좀더 정밀한 방법으로 ERD 연구소에서 제시한 방법은 다음과 같다. (1) 정수 방법에 많이 사용되는 화학침전 방식을 사용하여 정수한다. (2) 시뮬레이션 시법으로 정수한 물을 분석하는 기법, (3) 0.2 미크론의 유리 섬유 원료로 만든 필터를 통과시키는 방법, 필터는 공기를 이용해 청소한다(Microfilter Technology). 이 정수 결과도 여러 실험을 거쳐 사용 가능함을 보여 주었다[2].

3.3 물의 재사용에 대한 종합적 대책

미육군에서 물의 사용 추세와 비용을 보면 다음 [표 1]와 같다.

미육군에서는 물의 종합적 대책으로 Closed-loop 개념을 발표했다. 이 개념은 물의 보전, 재사용, 재활용의 개념을 포함하고 있다.

[표 1] 미군의 물의 사용량과 비용

년도	물의 사용량 (단위 10억 갤론)	물 사용 비용 (단위 100만 달러)		
		물공급	폐수처리	합 계
1976	149.1	41.4	23.7	65.1
1977	136.4	47.1	24.5	71.6
1978	133.9	53.0	36.4	89.4
1979	127.6	52.8	36.7	89.5
1980	126.4	56.6	41.2	97.8
1981	125.4	60.0	50.5	110.5

물의 보전(conservation)은 물의 사용시에 낭비가 없도록 하는 것이다. 즉 꼭 필요한 물만 사용하게 하는 것으로 예를 들면 자동 밸브 잠금 장치를 설치하거나 샤워시 물의 속도를 늦추는 방법 등이 있다.

여기서 말하는 물의 재사용(reuse)이란 한번 사용한 물을 다른데 사용에 지장이 없다면 버리지 않고 다른데 사용하는 것으로, 별도의 정수과정을 거치지 않는다는 점에서 재활용(recycling)과는 구별된다. 한번 사용한 물을 다시 나무에 준다든지 화장실에 사용한다든지 하는 것이 재사용의 예라고 할 수 있다.

물의 재활용은 물을 정수하여 사용하는 것이다. 2-1절과 2-2절에서 소개한 경우가 재활용의 경우이다.

Closed-loop 개념은 단지 군내 내부뿐 아니라 민간 회사에도 그대로 적용할 수 있다. 이미 여러 경우에 적용하여 효과를 보았다고 보고됐다. 각 적용시 방법은 다음과 같다.

(i) 군대 부대 내에서 경우

물 보전: 샤워 물 적당히 조정, 화장실 물 적당량 조정 등

물 재사용: 사용된 물을 정도에 따라 다른 곳에서 재사용

물의 재활용: 에어컨과 보일러 물, 세탁물, 세차

(차량, 비행기)후의 물

(ii) 민간에서의 경우

물 보전: 밸브에 자동 잠금 장치 설치, 샤워 물 적당히 조정, 화장실 물 적당량 조정 등

물 재사용: 사용된 물을 정도에 연못이나 정원에 물 주기

물의 재활용: 에어컨과 보일러 물, 세탁물, 페인팅 작업 후 등

이 개념은 물의 부족이 예견되는 경우, 체계적으로 이를 대비하는데 많은 도움이 될 것이다. 효과적으로 이 개념을 수행하기 위해서는 민간 회사와 협조하여 물의 재활용에 필요한 필요 기기를 생산하도록 유도하는 것이 필요하다[8.9].

4. 폐자재 활용에 대한 조사

우리 군은 현재 오래되어 노후화 되고, 사용에 불편한 시설들을 신축 또는 개축하는 사업을 대대적으로 수행하고 있어, 많은 건축 폐기물이 발생되고 있다. 이제 우리 군에서도 건축 폐기물의 재활용 문제에 대해서 심각한 고려를 할 단계가 되었다고 생각된다. 민간에서도 쓰레기 매립장 문제가 전국적으로 중요한 문제가 되고 있고, 이 때문에 지역간에 갈등을 빚는 일도 매스컴에서 자주 접할 수 있다. 오래된 건물들의 해체로 인한 폐기물 또한 심각한 사회 문제로 지적되기도 한다. 그러나 아직 우리나라에서는 재활용 산업이 제대로 성숙하고 있지 못하며, 건축 폐기물의 재활용 실적은 극히 낮은 실정이다.

본 장에서는 미국 군에서 연구된 건축 폐자재의 활용에 대한 문제와 아스팔트 콘크리트 포장재의 재사용 문제를 다루었고, 마지막으로 부동액의 재활용

에 대해서 살펴보았다[3,4,7].

4.1 미국에서의 고품 쓰레기 문제

건축 폐기물의 재활용에 영향을 미치는 요인들은 여러 가지가 있다. 우선 경제적으로 매립 방법보다는 효과적이어야 하는데, 전세계적으로 매립지가 줄어들고 있고, 매립 비용이 급증하는 추세이며, 매립지가 도심과 점차 멀어짐에 따라 운송 비용 또한 증가하고 있어 점차 재활용이 매립에 비해 경제적인 대안이 되어 가고 있다. 또한 재활용에 필요한 기술의 발전이 필요한데, 폐기물의 각 구성 성분별로 다양한 활용법이 연구되고 있다. 그러나 아직 폐기물 재활용 회사는 매우 적은 숫자이며, 그나마 많은 수익을 올리지 못하고 있는 경우가 많다.

미 연방 정부내의 자원 재생 프로그램을 촉진하기 위하여 1991년 8월 31일에 시행된 행정명령(Executive Order) 12780조에는 연방 기구에 "발생한 폐기물로부터 재사용 가능한 자원의 재활용과 폐기물의 감소를 효과적인 비용으로 촉진시키도록" 요구하고 있다. 이에 따라 미국의 각군도 폐기물 재활용 방안을 모색하고 있는데, 특히 많은 부피를 차지하는 건축 폐기물 재활용에 대한 노력이 시행되고 있다. 특히 미 공군에서는 1997년까지 고체 폐기물의 50% 정도는 감소시킨다는 계획을 세우고 추진 중이다.

재활용의 경제성을 결정하기 위해서는 매립시에 발생하는 비용과 재활용시의 비용 및 이익, 또한 재활용품을 다루는 시장의 존재 유무 등의 요인들이 고려되어야 한다. 또한 이러한 비용들을 계산하기 위해서는 건축 폐기물의 발생량을 계산해야 하며, 폐기물의 구성 성분을 파악해야 할 것이다. 이러한

다양한 자료를 얻기 위해서 이 논문의 저자는 관련 문헌들을 조사하는 한편, 관계자들과의 면담 또는 설문 조사를 실시하였다. 이 논문에서는 이러한 자료들을 바탕으로 특정지역에서의 재활용 방안이 경제적으로 유익한지를 결정해 주는 예견적 모형(predicative model)을 고안하였고, 공군 기지 중의 하나인 Hill AFB의 자료를 이 모형에 적용하여 모형을 테스트 하였다.

이 모형에 필요한 기초자료인 건축 폐기물의 유형과 발생량은 육군 공병단(Army Corps of Engineers)에 의해 수행된 연구 결과를 이용하였는데, 그 이유는 이 연구에 포함된 표본에 공군 기지를 포함하는 몇몇 군사시설들이 포함되었다는 사실과, 육군의 연구는 해석변수(파괴되는 구조들의 유형과 지역)와 종속변수(산출된 폐기물의 양)사이의 유효한 관계를 설명하였기 때문이다.

예견적 모형은 스프레드 시트로 개발되었다. 특정 지역에 관련된 추가적인 자료를 스프레드 시트에 입력하면 경제적 시행가능성(Economic Feasibility)을 나타내는 수치를 얻을 수 있는데, 이 수치가 음수가 아니면 재활용 방안이 경제적이란 것을 의미하게 된다. 또한 경제적 시행가능성을 구한 후에는 각각의 변수들에 대한 민감도 분석을 수행하는데, 입력자료가 -100%~200% 범위 내에서 변화할 때 결과에 미치는 영향을 구하여 그래프로 나타내게 된다.

연구를 적용 결과 1994년 Hill AFB에서는 건축 폐기물의 재활용이 비경제적인 것으로 판명되었다. 그리고 민감도 분석을 수행한 결과 건축 폐기물의 재활용의 경제성에 영향을 미치는 주요 요인들은 기지와 매립지 사이의 거리, 운임, 매립지의 비용, 기지와 재활용 센터와의 거리, 재활용된 물자들의 가

격, 인부들의 노임 등의 순으로 나타났다. 그러나 여기서 사용된 현재의 비용이 점점 쓰레기 문제가 심각해지면서, 미래에는 각 요인별 비용이 높은 비율로 비싸질 것이다. 그때는 다른 결과가 나올 것이다. 제시된 모형은 약간의 수정을 가해 주고, 특정 지역에 필요한 자료만 확보된다면 미국 본토 및 기타 다른 나라 어디에서도 사용할 수 있을 것이다.

개발된 모형은 다음과 같은 용도로 사용될 수 있다. 첫째로 이 모형은 기지에서 건축 폐기물을 재활용하는 것을 정당화하는 데 도움을 줄 수 있다. 반대로 이 모형은 재활용 대안이 경제적으로 시행 가능하지 않는 경우에 대한 설명을 제공할 수 있으며, 이런 경우에 추가적으로 요구되는 비용에 대한 정보를 얻을 수도 있다. 또한 기지에서 건축 폐기물의 재활용이 경제적으로 효과적인 시기를 구하는데 이 모형을 사용할 수 있을 것이다.

이 논문에서는 건축 폐기물 재활용을 장려하는 한가지 방법으로 공군의 건설 프로젝트에 재활용이 가능한 자재의 사용을 허용하도록 공군의 건축 시방서를 변경하는 방안을 제시하고 있다. 또한 이를 위해서 그로 인한 비용과 이익을 평가하기 위한 연구가 수행되어야 하며, 이 때 재활용 제품 사용이 건설의 품질에 미치는 영향을 동시에 평가되어야 한다고 주장하고 있다[3].

4.2 아스팔트 콘크리트 포장도로의 재활용

1973년 오일쇼크 이후 포장도로의 재활용에 대해 많은 논의가 되어 왔다. 군대 내에서도 아스팔트 포장도로의 재활용도 많이 연구 보고되었다. 포장도로의 경제적인 이익과 잠재적인 이익, 즉 자원 보존, 에너지 보존, 환경 보존 때문에 많은 연구가 이루어

지고 있다. 보고된 것 중 대표적인 것으로 Cold-mix 방법이 있고, 그 외 Hot-mix 재활용 방법 및 Portland cement concrete 방법 등이 있다. 여기서 Cold-mix 방법만 소개한다.

Cold-mix 방법은 기존의 도로에 새로운 도로포장을 할 경우 기존의 도로를 분쇄해서 골재로 사용하는 방법이다. 이 방법의 이점은 어떤 포장 구조에도 응용할 수 있으며, 중간 단계 도로 포장 도포에도 사용할 수 있다. 현재 포장된 도로를 분쇄하여 골재로 사용하므로 자원보존과 환경 경제적인 면에서 많은 이득이 있다. 재생 도로와 일반 도로의 구성은 같다. 이 방법은 일반적인 아스팔트 포장비용의 10~30% 범위를 줄일 수 있다고 보고됐다[7].

4.3 군용 부동산의 재활용

군대내에서 모든 차량과 비행기 등에 사용되는 부동산은 엄청난 량이다. 이에 1988년 11월 미전략공군총사령부(Headquarters Strategic Air Command)에서 사용된 부동산을 재활용하는 시스템에 대한 효율성을 평가하기 위한 프로젝트를 시작했다. 이 프로젝트의 목적은 사용된 부동산의 처리와 새로운 부동산 구매에 관한 비용을 절감하는데 있다 (프로젝트 이름: MEEP H88-24, Antifreeze Recycling System).

사용된 부동산은 다음과 같이 네 범주로 나누었다.

- (1) 유리 용기 내에서 냉각수의 거품 발생 정도,
- (2) 엔진 냉각수에 의한 유리용기의 부식 정도, (3) 열방지 시스템 하에서 엔진 냉각수에 의한 알루미늄 합금의 부식 정도, (4) 엔진 냉각수에 의한 알루미늄 펌프 진공 부분의 부식 정도. 이에 대한 처리 방법

으로 다음과 같이 세 방법을 제시했다. (1) Glyclean System: 화학 첨가물을 넣고 불순물을 침전시켜 필터로 걸러 낸다, (2) Kleer-Flo System: 기계적인 여과법만 사용하여 오염물만 제거한다, (3) Wynn System: 위의 Glyclean System과 Kleer-Flo System의 장점을 모두 사용한 기법이다. 즉 화학 첨가물로 부식물을 침전시키고 기계적인 여과법으로 오염물을 제거한 것이다. 아직 이 방법이 정식으로 채택되어 사용되지는 않고 있다. 재활용된 부동액의 성능이 완전한 검토가 끝나지 않았기 때문이다. 현재까지는 상당히 효과적인 것으로 보고됐다[4].

5. 종합적 재활용 대처 방안

쓰레기 최소화에 대한 대처 방안은 자원 절약 방법과 재활용을 최대화하는 방법을 동시에 사용하는 것이다. 이번 절에서는 이 두 가지 방법에 대해 간단히 정리해 본다.

5.1 자원 절약

미환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 원자재 사용의 감축을 유도하기 위한 정책적 수단으로 법규의 제정(Regulation), 보상과 규제를 통한 방법(Incentives/Disincentives), 그리고 교육적 방법(Education/Recognition)의 세 가지를 제시하였다. 이를 각각 살펴보면 아래와 같다.

(1) Regulation: 이것은 비위협성 고체 쓰레기 생성을 금하라는 행동 명령이다. 그러나 이러한 방법은 구체적 실행에 어려움이 있어 실제 실행에 어렵다.

(2) Incentives/Disincentives: 경제적인 면을 감안한 방법이다. 세금 증가나 비용 절감과 같은 재정적인 자극을 주는 것으로 세금이나 보수와 같은 것이 있다. incentives/disincentives는 널리 사용되고 가장 효과적인 방법이다.

(3) Education/Recognition: 개인이나 단체에게 재료 절감의 습관을 들이고 자극하는 방법으로 교육을 시켜 문제점을 정확하게 인식시켜 주는 방법이 최고다. 교육을 받으면 경제적인 자극을 인식하게 되고, 그 결과를 보답하게 된다.

원자재 사용의 감축은 EPA 쓰레기 처리 기술에 있어서 주요 기술이다. 이는 쓰레기 독성과 용량을 줄여 주고 수용력을 높여 준다.

5.2 재사용 및 재활용의 최대화

재사용이나 재활용을 하기 위해서는 먼저 재료가 재활용 프로그램에 포함될 것인가를 결정해야 한다. 재활용이 되면 재정적인 이익이 생긴다거나 매립이나 소각보다 환경을 보호할 수 있다고 확신해야 한다. 즉 재활용의 결정은 경제적인 면만 보아서는 안 되며, 기타 환경문제, 건강문제 등이 고려되어야 할 것이다.

이러한 다각적인 검토를 통하여 재활용 항목을 선정해야 하며, 일단 재활용 품목으로 선정되면, 재활용된 재료들을 상업이나 산업 목적에 유용하게 재사용 할 수 있는 방안을 모색해야 한다.

성공하기 위한 재활용 프로그램은 다음 조건을 만족해야 한다. (1) 효과적인 수집과 분리 수거, (2) 단체와 개인의 참여 정도, (3) 재사용되는 재료들에 대한 가격 보상이 보장되어야 한다. 이를 위해 극복해야 할 장애물로는 재활용 시장이 발달되어야 하나

아직 재사용이나 재활용을 위한 프로그램이 발달하지 못하고 있다. 각 사회는 특이성이 있고 그에 맞는 프로그램을 만들어야 한다.

재활용 프로그램을 개발하기 위해선 (1) 쓰레기의 재료와 내용물을 알아보기 위해 분석되어야 하며, (2) 모든 쓰레기 처리 방안들은 비용과 효과면에서 가장 최대의 이익을 얻기 위한 방법을 선택하기 위해 평가되어야 하며, (3) 지역 사회에 위치해 있는 공군 시설을 포함하는지 넓은 지역 사회가 재활용 결과에 포함되는지 결정되어야 한다. 재활용 운영을 만드는데 가장 중요한 것은 재활용 재료를 매매하는것이다. 그리고 공급과 수요의 불균형을 고려하여야 한다. 재활용 중심지(Materials Recovery Facilities)에서는 재판매(resale)를 위해 분리 쓰레기 시설 등을 갖추어야 한다.

매립 지역의 부족과 재활용 프로그램의 급증 때문에 현재 재활용 중심지가 40~60 사이에서, 1995년에는 500까지 증가할 것이라고 예측한다. 재활용 중심지와 같은 방안이 미래에 유용할 것이다. 재활용 중심지는 재활용 재료들을 수집하고 더 유용하게 만들 수 있기 때문에 중요하다. 이 개념은 군대 내부뿐 아니라 민간 부분에도 그대로 적용가능하다[3,5]. 이 두 기법에 대한 장단점을 요약하면 다음 표와 같다.

[표 2] 자원 절약과 재활용 최대화의 장단점 비교

구 분	장 점	단 점
경제적 측면	1. R) 생산품의 재판매나 재활용으로 수입 증가 S) 저장소와 취급비용의 절감 쓰레기 수송료와 처리비용 절감 S) 원재료 비용 절감 생산능력 증가 안전비의 절감 S) 생산질의 향상	1. 계획, 쓰레기와 시장의 부과세 등 설치비가 든다. R) 운영비가 많이 든다. (기구, 훈련비, 유지비 관리비)
환경 측면	2. 매립 지역의 보존 천연 자원의 보존 환경공해의 독성과 양의 감소	2. R) 재활용이 항상 환경에 좋은 방법은 아니다. R) 쓰레기의 재사용은 다른 위험물을 만들 수있다.
프로 그램 경영 측면	3. S) 전문적인 기술 보급이 요구 R) 기술과 프로그램 운영의 정보가 많음	3. S) 경험부족으로 공급을 얻기 어렵다. 지도자가 단기간 동안 해결책을 얻기를 원한다. S) 성공적인 증거가 긴 시간동안 나타나지 않는다.
S: 자원 절약에 특히 중요한 것, R: 재활용 최대화에 특히 중요한 것		

6. 결 론

지금까지 우리는 미국 군에서 이루어진 쓰레기 줄이기와 재활용 및 재사용 문제에 대해 살펴보았다. 사실 미국 군은 우리 군대보다 많은 면에서 풍부하지만 재활용 면에서도 앞서 있으며 많은 경우 미국의 재활용 운동에 있어서 선구적인 역할을 수행하고 있다.

사실 우리 군도 다른 정부부처에 솔선수범하여 재생용품의 구매에 앞장서고, 쓰레기 분리수거에 적극 협조하는 등 재활용 정책에 적극적으로 호응하고 있다('94.1.31. 조선일보). 또한 공군 제3252부대는 재활용품 교환을 위한 직거래 센터를 설치함으로써 모범적인 사례로 언론에 보도되기도 하였다('94.3.11. 동아일보). 그러나 아직 우리 군은 미국 군과 같이 재활용 방안에 대한 구체적인 연구에는 관심을 기울이지 못하고 있다. 그러나 군에서 많이 발생하는 쓰레기 유형에 대해서는 군에서 적극적인 연구를 수행하여 이의 해결방안을 모색할 필요가 있으며, 더 나아가 이러한 해결방안은 민간에 파급시킴으로써 군의 위상을 제고할 수 있을 것이다.

이러한 연구가 실제로 우리 군에서 이루어진다면, 미국 군에서 이미 이루어진 연구들이 많은 도움을 줄 것이다. 위에서 살펴본 Closed-loop 개념인 절약, 재사용, 재활용은 단지 물뿐만 아니라 다른 분야에도 적용할 수 있는 개념이며, 건축 폐자재의 활용방안 등은 우리 군에서 쉽게 이용할 수 있는 방법들이라고 생각한다. 그러나 미국 군에서 발생하는 쓰레기의 유형이나 발생량, 매립이나 재활용에 소요되는 비용구조가 큰 차이를 보일 것이므로 이러한 차이점을 규명한다면, 우리 실정에 적합한 모형을 개발할

수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Bingham, Y. K. Pan and B. Swaidan, Recycling of Hydroblasting Wastewater Final Feasibility Report, NCEL Technical Note, N-1837, AD-A243 847, Oct. 1991.
2. Burrow, W. D., D. W. Nelson and S. A. Schaub, Shower Water Recycling II Health Considerations, Technical report 8905 of U.S. Army Biomedical Research and development laboratory fort Detrick, Dec. 1990.
3. Dixon, B. L., A Predictive Model for the Determination of the Economic Feasibility of Construction and Demolition Waste Recycling in the Air Force, Master Thesis of Air Force Institute of Technology Air University, Sept. 1993.
4. Dwayne, D., An Evaluation of Three Commercial Processes for Recycling used Military Antifreeze, MIL-A-46153, Technical report of US Army Belvoir RD&E Center Fort Belvoir, June 1992.
5. Mcdermott, B. F., Analysis of a Waste Minimization Problem for Nonhazardous Solid Wastes Utilizing Source Reduction and Recycling Techniques and its Application to Air Force Installations, Master Thesis of Air Force Institute of Technology Air University, 1991.

6. Scholze, R. J., Bandy, J. T., Gardiner, W. P.,
Cicccone, V. J., D. K. Jamison and E. D. Smith,
Testing of a Field Laundry Wastewater
Recycling System, Technical Report N-87/01 of
US Army Corps of Engineers, Oct. 1986.
7. Shoenberger J. E, User's Guide: Cold-mix
Recycling of Asphalt Concrete Pavements,
Technical Report of US Army Engineering and
Housing Support Center, Sep. 1992.
8. Smith, E. D., Bandy, J. T., Gardiner, W. P. and
F. Huff, Closed-loop Concepts for the Army:
Water Conservation, Recycle, and Reuse,
Technical Report N-85/01 of US Army Corps
of Engineers, Nov. 1984.
9. 이상복, 황영현, 강석호, 미 육군에서 물의
재사용에 대한 연구, 대한산업공학회 추계
학술발표대회, 1995.10.