원단위를 활용한 공동주택의 건설폐기물 산정 자동화 시스템 개발 및 사례분석

A Case Study and Development of Computing System of Construction Waste for an Apartment by Using the Estimating Waste Units

김창학* · 김효진**

Kim, Chang Hak · Kim, Hyo Jin

Abstract

The importance of demolition industry is becoming larger because of reusing and recycling of construction waste in current trend to pursue for sustainable development. As considering situation of the domestic housing construction and existing house, a scale of demolition industry is expecting to be increased continually. Therefore, for sustainable development is needed forecasting and managing rightly demolition waste to be producted at demolition phase. But, The development of model for estimating demolition waste is not sufficient in the country, also, the development of computer system for managing it rightly has not yet been created. In this study developed the estimating waste units for estimating demolition waste of an apartment and a house. A regression model for quantifying demolition waste easily is developed to do simulation again after making the estimating waste units through analyzing draws. This model is developed as a computer system for increasing application and then verified the reliability through field application. this regression model can quantify a sort of 22 demolition waste easily based on the size of the floor area and a number of units. This system is expected to quantify demolition waste easily which is producted during redevelopment and remodeling of existing house.

Keywords : construction waste, demolition, deconstruction, recycling, reuse

요 지

지속가능한 발전을 추구하는 최근의 추세에서 해체산업은 자원의 재활용이나 재생 측면에서 중요성이 더욱 커져가고 있다. 주택건설 및 기존주택현황을 고려할 때 해체시장의 규모는 계속 증가될 것으로 예측되고 있다. 따라서 지속가능한 발전을 위해서는 해체폐기단계에서 발생하는 건설폐기물을 정확히 예측하고 관리하는 것이 필요 하다. 그러나 국내에는 이러한 폐기물을 예측하기 위한 모델의 개발이 미흡하고, 또 이를 적절히 관리하기 위한 시스템의 개발도 이루어지지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 공동주택 및 단독주택 등의 건설폐기물의 발생을 예측하기 위해 원단위를 개발하였다. 본 원단위는 공동주택의 도면을 실측 분석하여 원단위를 산정한 후 시뮬레이션을 실시하여 회귀분석 모델을 개발하였다. 또한 이의 활용성을 높이기 위해 전산시스템을 개발하였다. 본 모형의 적절성을 파악하기 위해 사례분석을 실시하였다. 본 회귀모형은 공동주택의 바닥면적 및 세대수를 근거로 22개 폐기물을 비교적 쉽게 산출할 수 있는 장점을 갖고 있다. 본 모형은 국내에서 광범위하게 이루어지고 있는 재개발, 재건축 등에서 발생 가능한 폐기물을 정확하고 쉽게 산출할 수 있는 장점을 갖고 있는 것으로 파악되었다. 해체물량의 정확한 산정과 예측은 건설폐기물관리에 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

핵심용어 : 건설폐기물, 해체, 분리해체, 재활용, 재사용

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

국내에서는 도시 및 주거환경정비법 등에 의해 소규모 또는 대규모로 계획적이고 체계적인 개발로 도시환경을 개선하고 있다. 아파트, 단독주택, 빌라, 오피스텔 등 재개발사업으로 인해 폐콘크리트, 폐아스팔트, 폐목재 등의 건설폐기물

이 급격히 증가하고 있으며, 60~70년대에 건축된 건물들의 노후화로 인해 이의 재개발의 필요성은 더욱 커져가고 있다. 따라서 지속가능한 사회의 발전을 위해 건설폐기물의 재활용률을 높이는 것은 매우 중요한 사회적 이슈가 되고 있다. 또한 건설폐기물은 국내 전체 폐기물 발생 중에서 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 또한 사회적으로 재건축, 재개발 등이 이루어지고 있으나 이때 발생하는 폐기물을 정확히 예

*정회원 · 교신저자 · 경남과학기술대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 (E-mail : ch-kim@gntech.ac.kr)

**정회원 · 한국토지주택공사 주택도시연구원 연구위원 · 공학박사 (E-mail : hyojin@lh.or.kr)

측하고 관리하기 위한 시스템이 잘 갖추어 있지 못하다. 해체산업에서 가장 큰 문제점으로는 해체업자가 매우 영세하여 해체공사관리를 위한 톨을 갖고 있지 못하여 생산성이 많이 떨어지는 것이다. 따라서 이를 체계적으로 관리하기 위한 절차와 톨의 개발이 절실하며, 국가적으로도 해체물량의 산정 및 관리하기 위한 기준을 갖고 있지 못하기 때문에 해체 물량의 산정도 발주처, 회사별로 편차가 매우 심하고, 기준이 되는 지침서가 없다. 따라서 해체업계에서는 회사별 경험치를 활용하여 공동주택의 폐기물의 발생량을 산정하고 있다. 따라서 해체폐기물의 재료별, 성상별 예측기준이 없으므로 발주물량 및 공사비 산정에 어려움을 겪고 있으며, 폐기물의 재활용계획을 발주전에 수립할 수 없는 단점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 건설폐기물의 발생량을 신속하고 정확하게 하기 위한 원단위를 개발하고 전산시스템을 구축한다. 또한 이의 적절성을 검증하기 위한 사례분석을 실시한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구에서는 공동주택의 해체공사에서 발생하는 폐기물을 신속하게 예측하기 위해 단위 면적당 발생하는 원단위 모델의 개발과 이를 활용하는 방법론 및 전산시스템을 개발하고, 사례분석을 통해 이의 적절성을 판단한다. 기존연구에서 부위별 원단위를 산정한 사례가 있으나(김창학, 2008), 이는 단순 산술평균법을 활용하여 원단위를 산정하였으며, 대표적인 아파트 바닥면적을 대상으로 하고 있으므로 다양한 바닥면적에 적용하는 것에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 바닥면적에 적용이 가능하도록 몬테칼로 시뮬레이션을 활용하여 원단위 모델을 제안하고, 이의 적절성을 검증하기 위하여 표준품셈과 본 연구에서 제안하는 원단위 모델을 현장에 적용하여 그 결과를 비교분석하였다. 본 연구에서 제시하는 원단위의 분석은 현재 해체대상이 되고 있는 70~80년대 RC 라멘조형식의 공동주택을 대상으로 원단위 회귀식의 제안과 이를 활용할 수 있는 시스템의 개발에 연구범위를 한정하였다. 연구 흐름도는 그림 1과 같다.

2. 원단위 모델 개발

2.1 국내현황분석

본 연구에서 제시하는 원단위 모델이라 함은 공동주택의 건설폐기물을 예측하기 위해 공동주택의 단위면적당 발생하는 건설폐기물의 재료별 원단위 지수이다. 국내에서는 표준품셈 등에서 원단위를 제시하고 있으나 폐기물의 성상별 발생량을 정확히 표현하지 못하고 정확성이 떨어져 해체회사별로 독자적인 경험치를 활용하고 있어, 발주물량 산정 및 공사비산정 등에 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 공동주택의 폐기물 발생량을 재료별로 정확한 예측이 가능할 수 있는 원단위를 제시한다.

폐기물의 발생량 예측 방법으로는 설계도서에 의한 방법, 실측에 의한 방법, 배출원단위에 의한 방법, 도면을 활용하는 방법, 기타 방법 중에서 현장조건 및 시설물의 특징에 따라 적절한 방법을 사용하고 있다. 현업에서는 노후 주택의

경우 실측에 의한 방법과 원단위(t/m^2)를 혼합하여 사용하는 것이 일반적이다. 그러나 실측 도면을 작성하여 활용하여도 정확성을 담보하지 못하는 경우가 많은 것이 실정이다.

국내에서 건설폐기물을 예측하기 위해 원단위를 제안한 사례는 서울시정개발연구원(1995), 건설교통부(1995), 한국건설기술연구원(2000), 건설공사표준품셈(2003), 한국환경정책평가연구원(2004) 등이 있으나 간접추계방식을 활용하여 그 정확성이 떨어지고 있으며, 주택도시연구원(2007), 김창학(2008)이 직접추계방식을 활용하여 원단위를 제안한 사례가 있다. 특히 주택도시연구원(2007)과 김창학(2008)의 연구는 공동주택의 원단위와 부위별 원단위를 발표하였으나, 바닥면적별 평균을 제시하여 바닥면적이 상이한 경우 보간법을 활용해야 하는 단점을 갖고 있다. 김강민(2008)의 연구는 단독주택지의 재개발 사업을 대상으로 원단위를 제시하고 있으나 폐기물의 재료별로 제시하지 않음으로서 재활용계획 등에 제한적으로 활용될 수밖에 없는 단점을 갖고 있다.

따라서 이러한 연구는 시설물별 특징, 세대의 다양한 바닥면적 등의 특징을 반영하지 못하고 있어 그 정확성이 다소 떨어지는 것으로 파악되었다. 따라서 본 연구에서는 공동주택의 세대별 바닥면적을 반영하고, 발생 가능한 재료별 폐기물을 산정할 수 있는 원단위 회귀식을 제시하고, 사례분석을 통해 표준품셈제안 원단위와의 비교분석을 실시함으로써 본 모델의 적절성의 검증과 차별화를 추구하였다.

그림 1. 연구절차

2.2 원단위 모델개발

2.2.1 1차 원단위 모델

1차 원단위 모델은 현재 해체 대상이 되고 있는 1970년대 말에서 1980년대 초에 건립된 아파트의 도면을 실측하여 아파트를 구성하는 모든 공간(복도, 물탱크 등)을 통계 분석하였으며, 분석대상은 표 1과 같이 바닥면적별로 구분하여 10개단지 33개의 도면을 부위별, 재료별로 구분 정밀 분석하였다. 도면 분석을 통하여 공동주택의 바닥면적에 따른 잔재의 종류별로 원단위 기준을 제안하였으며, 구성자재의 종류별 발생가능한 잔재의 종류는 모두 22종류로 구분하였다. 1차 분석결과는 표 2와 같다.

표 1. 분석대상 도면목록

구분	년도	형 식	바닥면적(m ²)									
			33.3	36.63	43.29	46.62	49.95	56.61	73.26	79.92	83.25	89.91
RC	78	NS형	○	○	○	○			○	○		
	79	NS형	○	○	○	○			○	○		○
	80	NS형	○	○	○	○						○
	82	NS형	○	○	○	○					○	
	83	NS형			○	○						
	82	NS형							○			
	83	NS형		○				○				
	84	NS형		○					○		○	
	85	NS형				○	○					

*5층, 철근콘크리트 라멘조

표 2. 원단위 산출

종류		단위	바닥면적(m ²)									
			33.3	36.63	43.29	46.62	49.95	56.61	73.26	79.92	83.25	89.91
철근콘크리트		m ³	0.4706	0.4814	0.3825	0.4505	0.3887	0.3514	0.3945	0.377565	0.3442	0.3727
무근콘크리트		m ³	0.0354	0.0262	0.0235	0.0205	0.025163	0.025666	0.02534	0.02608	0.021229	0.0253
블록/벽돌		m ³	0.2064	0.2256	0.1516	0.1837	0.16126	0.16546	0.13399	0.1062	0.16365	0.1601
내화벽돌		m ³	0.0944	0.1098	0.0715	0.08	0.073749	0.070243	0.051575	0.053	0.047862	0.0694
타일		m ³	0.01215	0.011	0.00984	0.01024	0.0093222	0.010123	0.0081038	0.00856	0.009065	0.00964
아스팔트방수		m ³	0.0089	0.0068	0.006382	0.0066	0.006553	0.006383	0.006254	0.0064	0.006044	0.006163
목재류	각재	m ³	0.0106	0.0098	0.00744	0.0077	0.00747	0.007449	0.006376	0.0066	0.005884	0.006087
	합판	m ³	0.0016	0.0015	0.001106	0.0013	0.001179	0.001297	0.001134	0.0012	0.001044	0.00101
전등류		kg	0.0005	0.0004	0.000314	0.0004	0.000339	0.000298	0.000301	0.0002	0.000197	0.000239
철근		kg	40.049	45.875	39.09	44.11	39.232	41.473	25.245	30.0599	25.89	30.407
유리		m ²	0.0009	0.0008	0.000612	0.0007	0.000622	0.000661	0.000483	0.0005	0.000445	0.000431
집성보드		m ³	0.0015	0.0014	0.001266	0.001	0.001318	0.001399	0.001328	0.0014	0.0013	0.0012
장판지		m ²	0.0004409	0.0004833	0.0003774	0.0004113	0.0003749	0.0004004	0.0003475	0.0003703	0.0003461	0.0003689
고재류	황동줄눈	m	0.148	0.0336	0.0919	0.0294	0.09286	0.06122	0.0867	0.11428	0.0621	0.0515
	고무줄눈	m	0.0062	0.0025	0.00418	0.0025	0.004388	0.003392	0.003435	0.004932	0.00268	0.0022
	알루미늄	m	0.0000029	0.000003	0.0000027	0.0000028	0.0000027	0.0000023	0.0000019	0.000002	0.0000017	0.0000016
모르타르		m ³	0.051608	0.043391	0.03814	0.042121	0.038892	0.038073	0.03115	0.032892	0.02912	0.027947
인조석		m ³	0.224	0.1693	0.1392	0.1575	0.14934	0.12881	0.10773	0.1169	0.09459	0.0787
스치로폼		m ³	0.00367	0.00319	0.002586	0.00256	0.0027164	0.00286	0.002554	0.00281	0.002468	0.0028065
철재	출입문	m ³	0.000027	0.000029	0.000025	0.000029	0.000025	0.000022	0.000017	0.000015	0.000016	0.000014
	물탱크	m ²	0.0024	0.0022	0.0021	0.0018	0.0021	0.0017	0.0015	0.0015	0.0013	0.0011
	난간	m	0.3293	0.3495	0.3242	0.2918	0.32331	0.29059	0.29132	0.2915	0.2774	0.2561

표 1의 원단위는 기존의 원단위와 달리 바닥면적에 따라 좀 더 정밀한 원단위를 제공하고 있으나 샘플수의 한계, 바닥면적이 표 2에서 제공하지 못한 경우 보간법 등을 적용해야 하는 한계를 갖게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 몬테칼로 시뮬레이션을 활용하여 원단위 회귀식 모델을 개발하였다.

2.2 원단위 회귀모형 개발

2.2.1 원단위 회귀모형 절차

본 연구에서는 해체물량 예측의 정확성을 높이기 위해 시뮬레이션 기법을 적용한 폐기물예측 모형을 제시하고자

하며, 그 절차는 그림 2와 같다. 연구의 원단위 구성은 전체원단위 중에서 세대별 평균을 활용하여 통계분석과 몬테칼로 시뮬레이션을 거쳐 바닥면적별 원단위를 계산하여 적용할 수 있도록 하였다. 각 바닥면적별 평균과 표준편차를 이용하여 재료별 1000개 난수를 생성 하였으며, 이러한 산출결과 중에서 정규분포를 통해 95% 신뢰구간만을 선택하여 평균하였다. 시뮬레이션은 시스템에 대한 이해를 하고 의사결정에 도움을 주기 위해 현재 혹은 미래에 일어날 수 있는 상황을 수학적이고 논리적인 모형으로 재현 하였다. 그림 3은 원단위 세부 시뮬레이션 과정을 나타내고 있다.

그림 2. 원단위 시뮬레이션 순서도

그림 3. 원단위 시뮬레이션

2.2.2 회귀모형제안

본 연구에서 제안된 회귀분석 절차는 다음과 같다.

- (1) 자료의 탐색 : 조사된 재료별 원단위를 통하여 변수들이 어떠한 관계를 가지고 있는가를 대략적으로 파악한다.
- (2) 회귀분석 수행 : 세대별 면적과 재료별 해체물량을 구분하여 적절한 분석 방법을 선택하여 분석한다.
- (3) 모형 선정 : 회귀함수의 적합성, 회귀계수에 대한 유의성 검증 및 추정, 반응변수의 변화를 보기위해 세대별 면적을 독립변수로 선정한다.
- (4) 모형의 검토 : 회귀분석을 통해 찾아진 회귀모형을 적합한 모형으로 판단하기 위해서는 잔차의 독립성, 정규성, 등분산성이 만족되어야 하는데, 난수생성으로 발생한 1000개의 난수 중에서 95%의 신뢰구간에 있는 원단위만 선택하여 모형을 검토하였다. 모형의 검토 단계에서 타당하지 않을 경우 다시 3단계로 돌아가 새로운 모형 선정을 하였으며, 1차 원단위 결과 값과 유사한 값을 나타낼 수 있는 회귀식을 도출하였다.
- (5) 결론 및 예측 활용 : 회귀 모형 및 계수들의 통계적 유의성이 입증된 후 추정된 회귀식을 통하여 모형을 해석하여, 세대별 재료의 해체물량을 예측하고, 모형의 적절성을 검증하기 위해 도면분석 물량과 비교분석을 실시하

그림 4. 원단위 회귀모형식

여 모형의 적절성을 검증한다.

그림 4와 같이 철근콘크리트의 결정계수(R^2)는 추정된 회귀직선에 의해 종속변수가 설명되어지는 정도를 나타내는 척도로써 94.2%의 데이터는 총 변동 중에서 회귀직선에 의하여 설명되는 변동이 회귀 제곱합이 차지하는 비율을 나타낸다. 위의 선형회귀식들을 분석하면 바닥면적별, 바닥면적 별로 투입된 양 사이에는 상관관계가 있는 것으로 파악되었으며, 전체 바닥 면적당으로 환산하면 $1m^2$ 당 투입재료의 양이 증가함을 알 수 있다. 아파트의 단위 세대당 해체 물량을 산출함으로서 도면분실 등의 원인으로 도면 실측계산이 어려운 경우에 부분적으로 부위별, 재료별로 원단위를 적용하여 폐기물 발생량을 산출할 수 있도록 한다. 따라서 요소별, 재료별로 바닥면적별 폐기물 발생량에 관한 원단위 선형 회귀모형을 표 3과 같이 제안하였다. 본 모형의 적용은 다음 식과 같이 산출된 재료별 원단위 회귀식에 세대면적을 곱해서 세대별 물량을 정리한다. 본 회귀모형은 평형으로 계산되어 있으나 시스템에서는 세대면적으로 입력하면 자동 변환되어 계산되도록 구성하였다. 표 3의 R^2 를 보면 콘크리트류, 벽돌, 모르타르 등의 재료는 높은 상관관계를 나타내고 있으나 전등류, 기타 고재류, 철재 등은 낮은 상관관계를 나타내고 있으나 전체 폐기물에서 차지하는 비율이 미미한 관계로 본 모형의 활용성은 적절한 것으로 판단된다.

- 세대별 예상 해체물량 = 회귀모형 × 세대면적

- 동별 예상 해체물량 = 회귀모형 × 세대면적 × 세대수

2.2.3 체적 및 중량 환산계수

본 모형을 적용한 폐기물량은 부피를 기준으로 하고 있으므로, 이를 다시 무게와 해체후의 발생량을 예측하기 위해서는 재료별 중량환산계수, 부피환산계수 등이 필요하다. 표 4의 환산계수는 거제도 00아파트 시험시공 결과(대한주택공사, 2004)를 반영하여 적용하였으며, 시스템 내에서는 사용자가 사용을 하면서 각종 계수를 현장에 맞게 수정하여 반영할 수 있도록 구성하였다. 본 시험의 주요 내용을 살펴보면 시험시공 인력에 의한 내장재 철거 시에 발생한 내장재의 종류별 단위중량을 산출을 위한 체적의 측정은 계량을 위한 운반차량의 적재함에 내장재 종류별 적재 높이를 고려하여 현장에서 직접 측정하였으며, 특히 목재류나 고철류의 체적은 실제 현장처리를 방식으로 반출트럭의 체적을 측정하였기 때문에 많은 공극이 포함되어 있으나 이는 현장에서 운

표 3. 원단위 회귀모형 제시

종류	단위	원단위 회귀식	R ²
철근콘크리트	m ³	y = 5.045 + 0.2553x	94.2%
무근콘크리트	m ³	y = 0.2537 + 0.02118x	90.2%
블록/벽돌	m ³	y = 2.262 + 0.1307x	92.5%
내화벽돌	m ³	y = 2.246 + 0.02940x	86.8%
타일	m ³	y = 0.1206 + 0.007495x	93.2%
아스팔트방수	m ³	y = 0.06982 + 0.005309x	96.5%
목재류	각재	m ³ y = 0.2001 + 0.003743x	91.7%
	합판	m ³ y = 0.07520 + 0.002696x	90.5%
전등류	m ³	y = 0.01316 + 0.00007x	28.8%
철근	kg	y = 1030 + 13.5x	75.0%
유리	m ²	y = 0.0219 + 0.000193x	83.2%
집성보드	m ³	y = 0.00907 + 0.004190x	93.4%
장판지	m ²	y = 0.004799 + 0.000301x	96.4%
기타 고재류	황동줄눈	m y = 0.562 + 0.06626x	35.5%
	고무줄눈	m y = 0.07266 + 0.002272x	33.0%
	알루미늄	m y = 0.000086 + 0.000001x	48.3%
모르타르	m ³	y = 1.073 + 0.01711x	90.4%
인조석	m ³	y = 5.905 + 0.02517x	31.6%
스치로폼	m ³	y = 0.02309 + 0.002373x	93.0%
철재	철재 출입문	m ³ y = 0.000933 + 0.000004x	45.3%
	물탱크 출입문	m ² y = 0.06661 + 0.000518x	46.3%
	난간 등	m y = 3.974 + 0.2278x	75.3%

반량 산출을 위한 것이므로 적절한 것으로 판단된다. 시험시공 결과를 반영한 체적 및 중량환산계수는 ‘현장의 실제발생량/ 도면분석량’의 방법으로 산출하였으며, 이 결과를 시스템에 적용하였다.

3. 시스템 구성 및 현장적용

3.1 현장개요

현장적용 대상지역은 인천의 재건축지역에 위치한 아파트를 대상으로 하여 폐기물을 산출하였다. 본 대상아파트는 80년대 중반에 건축되었지만 도면이 없는 관계로 그림 5와 같이 평면도와 입면도를 실측하여 도면을 작성하고 면적을 계산하였다. 본 대상아파트는 6층, 144세대로 구성되어 있으며, 총 바닥면적은 표 5와 같다.

그림 5. 청아 아파트 입면도

표 4. 잔재 종류별 체적 및 중량환산계수

구 분		체적환산계수			중량환산계수		
		A동	B동	평균	A동	B동	평균
수지류	장 판 지	2.966	2.966	2.966	0.286	0.286	0.286
	스티로폼	0.179	0.185	0.182	0.138	0.143	0.141
	유리섬유	2.578	2.578	2.578	1.396	1.396	1.396
전등류	형광등, 전등류, 소켓류	5.267	5.636	5.452	0.538	0.569	0.553
철재류	철재 출입문, 철재 난간	3.279	2.601	2.940	0.608	0.482	0.545
황동류	황동줄눈, 난방분배기	1.567	1.567	1.567	0.898	0.898	0.898
비철류	알루미늄 새시	2.100	2.158	2.129	0.599	0.615	0.607
스테인리스	싱크대 (스테인리스부분)	1.329	1.329	1.329	0.625	0.625	0.625
목재류	문/셔틀, 창/창틀 등	4.678	4.554	4.616	1.112	1.082	1.097
유리류	창문	1.855	1.855	1.855	0.801	0.801	0.801
콘크리트류	철근콘크리트	-	1.697	1.697	-	1.073	1.073
	모 르 터	-	1.551	1.551			
	조 적 류	-	1.549	1.549			
	자 갈 류	-	1.254	1.254			
	타 일 류	-	2.065	2.065			
	평 균	-	1.623	1.623			

표 5. 지장물 현황

구 분	지 장 물		
	동(개)	연면적(m ²)	비고
청아아파트	A동	5,181.99	
태화/미성 아파트	B동	3,628.74	

3.2 표준품셈적용

본 연구에서 제안하는 원단위의 적절성 판단과 비교분석을 위해 표 6과 같이 건설표준품셈에서 제안하는 원단위를 적용하여 건설폐기물을 산출하였으며, 그 결과물은 표 7과 같다. 표 6에서 보는 바와 같이 표준품셈의 원단위는 콘크리트, 금속 및 철재류, 혼합폐기물 3종의 폐기물만을 산출할 수 있어 다양한 폐기물을 산출할 수 없는 단점을 갖고 있다. 따라서 현장에 일괄 적용하기에는 문제점이 있음을 알 수 있다.

표 6. 표준품셈 폐기물 산출 원단위

용 도 별				콘크리트	금속 및 철재류	혼합폐기물	총계
해체 공사	주거용	단 독 주 택		1.409	0.048	0.203	1.660
		아 파 트		1.566	0.061	1.169	1.796
	비주거용	업무용	철근 콘크리트조	1.488	0.073	0.135	1.696
			철골조	0.937	0.055	0.135	1.127
			철골철근 콘크리트조	1.644	0.122	0.152	1.918
		공공용	철근 콘크리트조	1.409	0.067	0.118	1.594
			철골조	0.937	0.055	0.118	1.110
			철골철근 콘크리트조	1.409	0.122	0.118	1.649

표 7. 표준품셈 원단위 적용 건설폐기물 발생량

구 분			지장물 (m ²)	원단위 (ton/m ²)	발생량 (ton)
주거용 아파트	청아 A동	콘크리트류	5181.99	1.566	8114.996
		금속 및 철재류		0.061	316.1014
		혼합폐기물		1.169	6057.746
	청아 B동	콘크리트류	3628.98	1.566	5682.983
		금속 및 철재류		0.061	221.3678
		혼합폐기물		1.169	4242.278
합 계			8,810.97		24,635.472

3.3 시스템 적용

원단위를 활용하기 위해서는 시스템에 구축된 시설물 분류 코드를 통해 구하고자 하는 시설물의 형식을 선정하면, 이것은 분류코드와 연계되어 선정된 시설물정보에 맞는 원단위가 자동으로 생성되게 되며, 이것은 바닥면적과 곱해져서 폐기물의 발생량이 계산되게 된다. 본 시스템에서의 DB구성은 그림 6에서 보듯 시설별 원단위가 구축되게 되나, 단독주택 및 상가 등의 원단위는 기존 문헌조사 결과(김강민, 2008)를 활용하였다. 원단위의 물량산정은 시설물의 바닥면적을 토대로 계산되기 때문에 기본물량정보는 부피로 환산된다. 그러나 현장에서는 해체물량의 무게와 운반물량이 중요하기 때문에 이 물량은 환산계수 DB의 재료별 단위중량과 부피환산계수와 곱해서 무게와 증가된 부피를 계산하게 된다. 이 물량은 폐기물의 운반량 산정 등에 활용이 가능 하다. 그림 7은 원단위를 활용한 시스템개발 화면을 나타낸 것이다. 원단위 계산 시스템은 아파트와 단독주택용으로 구분하여 적용하였다. 유저는 단순히 세대수와 세대 바닥면적만 입력하면 원단위 회귀모형에 의해 22개 폐기물을 동별, 바닥면적별로 산출할 수 있다.

그림 6. 원단위 DB활용 개요도

3.3.1 사례분석

본 연구에서는 위에서 개발된 원단위 시스템의 적절성을 검증하기 위해 인천의 재개발단지 00아파트를 대상으로 하여 건설폐기물의 발생량을 산정하였으며, 이는 도면분석물량과 비교검증을 실시하여 그 편차를 분석함으로써 시스템의 적절성을 판단하였다. 시스템 적용결과는 그림 8과 같으며, 발생 폐기물의 계산결과는 표 8과 같다.

본 시스템에서 적용된 폐기물의 경우 실무 적용상의 활용성을 위해 각기 계산된 폐기물을 다시 분류 종합하여 콘크리트류(철근콘크리트, 무근콘크리트, 모르타르, 인조석, 블록/벽돌, 내화벽돌), 목재류(각재, 합판), 금속 및 철재류(철근, 철문, 난간, 줄눈), 혼합(타일, 아스팔트방수, 전등류, 유리,

그림 7. 원단위 적용 시스템 화면

그림 8. 청아아파트 A동, B동 계산결과 화면

스치로폼), 재활용(장판지), 생활폐기물(기타)로 구분하여 집계하였다.

표 8. 회귀모형 시스템 적용 폐기물산출결과 요약

동명	재료별	발생량(Ton)
A동	콘크리트류	8696.7
	목재류	45.1
	금속및철재류	171.6
	혼합	134.3
	재활용	14.6
	생활폐기물	41.3
B동	콘크리트류	6522.5
	목재류	33.8
	금속및철재류	128.7
	혼합	100.7
	재활용	10.9
	생활폐기물	31.0
합계	콘크리트류	15219.2
	목재류	78.9
	콘크리트류	15219.2
	금속및철재류	300.4
	혼합	235.1
	재활용	25.5
	생활폐기물	72.3

3.3.2 비교분석

본 연구에서 제시한 원단위 회귀모형을 적용한 분석결과와의 적절성을 검증하기 위해 표준품셈제안 원단위, 도면분석, 1차 원단위 모형을 적용하여 폐기물 발생량의 예측 결과 값을 비교분석하였으며, 그 비교 대상은 표 9의 청아아파트 A동을 대상으로 하였다. 표 9의 결과 값은 표준품셈 원단위, 1차 원단위, 회귀모형 원단위를 적용하여 폐기물량을 산출하고, 이의 적절성을 검증하기 위해 도면분석을 통해 산출된 결과 값과 비교를 수행 하였다. 그 결과 콘크리트류(콘크리트, 벽돌, 모르타르)의 경우 표 10과 그림 9에서 보듯 도면분석, 1차 원단위, 회귀모형 적용 값은 매우 유사하게 집계 되었으나 표준품셈의 값과는 편차가 있음을 알 수 있다. 또한 혼합폐기물의 경우 표준품셈 6057톤, 회귀식 모형의 경우 134톤으로 표준품셈이 너무 과다하게 나오는 것으로 파악되었다. 혼합폐기물의 처리단가가 일반폐기물 처리비에 비해 매우 고가임을 고려하면 이의 개선이 필요한 것으로 판단된다. 또한 표준품셈의 원단위를 활용할 경우 폐기물, 금속철재류, 혼합폐기물의 3가지만을 산출할 수 있으나 본 모델은 22가지 폐기물을 산출할 수 있어 폐기물별 발생량을 산출할 수 있어, 다양한 폐기물관리계획에 적용할 수 있는 장점을 갖고 있는 것으로 판단된다.

표 9. 원단위 모형별 발생량 비교분석 (TON)

구분	원단위 적용 모델			
	표준품셈	도면분석	1차원단위	회귀모형
콘크리트류	8,115	8,700	8,685	8,696
금속 및 철재류	316			171
혼합폐기물	6,057	107	119	134

그림 9. 원단위 모형별 발생량 비교분석

4. 결 론

본 연구에서는 공동주택의 발생폐기물을 예측하기 위해 도면분석을 실시하여 폐기물의 구성요소를 파악하고, 바닥면적별 해체 폐기물의 발생량을 산정할 수 있는 1차 원단위를 제시하였다. 그러나 공동주택이 다양한 바닥면적으로 구성되어 있으나 이를 반영할 수 없는 단점을 갖고 있고, 샘플수의 제한이 문제시 되었다. 따라서 이러한 단점을 개선하기 위해 시뮬레이션을 실시하여 회귀분석 모형을 제시하였다. 또한 사용자의 편의를 제공하기 위하여 이를 전산화된 프로그램으로 개발하여 제시하였다. 또한 본 연구에서는 본 모델의 정확성을 검증하기 위하여 도면분석, 표준품셈, 본 회귀모형을 현장에 적용하여 검증하였다. 검증결과 표준품셈에서 제시한 원단위는 혼합폐기물이 과다 발생하는 것으로 파악 되었으며, 본 모델의 적용결과는 도면분석량과 큰 차이를 보이지 않으므로 실무에 적용하는데 문제가 없는 것으로 판단 되었다. 또한 본 모델은 폐기물 종류별로 산출이 가능하기 때문에 현재 해체산업에 적용되는 분별해체방식에 적용하는데 더 큰 장점을 갖는 다고 판단된다. 현대의 해체산업은 자원의 재활용률을 높이기 위한 해체방식으로 진화되어 가고 있기 때문에 해체폐기물을 종류별로 정확하게 파악하는 것이 더욱 중요하게 되어 가고 있다. 그러나 국내에는 이러한 추세를 반영할 수 있는 지침과 모델이 없어 문제점으로 지적되었다. 따라서 본 모델의 적용은 해체산업의 발전에 좀 더 일조할 수 있는 중요한 자원이 될 수 있을 것으로 사료 된다. 그러나 본 모델의 예측 값과 현장에서 실제 발생한 폐기물량과의 비교 분석은 차후 연구에서 반드시 추가되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2006년 06 건설핵심 B04 지원사업과 2011년 경남과학기술대학교 기성회연구 지원에 의하여 이루어진 것으로 본 연구를 가능케 한 건설교통부와 경남과학기술대학교의 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

김창학 이정희 김효진 강인석(2008) 해체물량 산정을 위한 3D 자동화 시스템 개발, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 763-766.

김창학 김효진(2006) 건설해체공사의 폐기물 통합관리 시스템의 개발, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, Vol.26, No.4D, pp. 627-634.

김창학, 이경희, 김효진(2008) 해체산업발전을 위한 해체시장분석 및 예측, **한국건설관리학회 학술발표대회 논문집**, 한국건설관리학회, pp. 833-837.

김창학, 이경희, 박지민(2009) 해체폐기량 산정 자동화 시스템, **한국건설관리학회 학술발표대회논문집**, 한국건설관리학회, pp. 661-666.

김창학, 이경희(2008) 공동주택의 분별해체를 위한 부위별 원단위 산정사례연구, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, Vol. 28, No.1D, pp. 73-81.

건설교통부(2006) 도심지 건축물 해체기술 연구기획보고서, 한국건설교통기술평가원.

건설교통부(2006) 환경위해요인 최소화를 위한 도심지 고층건물의 유형별 최적 해체기술 개발, 한국건설교통기술평가원.

대한주택공사(2004) 공동주택의 철거잔재의 활용성 향상을 위한 해체기술 및 시스템 개발 보고서, 한국건설교통기술평가원.

주택도시연구원(2007) 공동주택의 폐기물원단위 산정기준에 관한 연구.

서울시정개발연구원(1995) 건축물폐재류의 적정처리 및 재활용방안.

한국건설기술연구원(2000) 부천상동지구 발생폐기물 재활용처리 방안에 관한 연구.

한국환경정책평가연구원(2004) 건설폐기물분리배출 및 발생원단위 산정 등에 관한 연구.

(접수일: 2011.12.21/심사일: 2012.3.2/심사완료일: 2012.9.6)