

친환경 리모델링 철거공사의 최적 TACT공정 개발 - 사례연구를 중심으로 -

Development of Optimal TACT Process for Eco-Friendly Demolition Works in Aged Housing Remodeling - Focus on Case Study -

우 중 평* 김 기 현** 황 영 규*** 김 경 래**** 차 희 성*****
Woo, Joong-Pyung Kim, Ki-Hyun Hwang, Young-gyu Kim, Kyung-Rai Cha, Hee-Sung

요 약

기술문명의 지속적인 발전은 이루어 경제성장과 물질적 풍요로움을 주었으나, 환경에 대한 고려를 통한 발전이 무엇보다 요구되는 시기가 되었다. 건설 분야의 경우도 예외가 아니다. 따라서 최근 건설 산업에서는 친환경 공법을 적용하며, 폐기물을 줄이는 등 환경에 대한 관심이 어느 때보다 높아졌다. 국내의 노후 공동주택이 점차 증가함에 따라 성능개선방안으로 재건축 및 리모델링이 수행되고 있다. 하지만 재건축이 가지는 비용적, 환경적 측면에서의 문제로 인해 리모델링의 수행이 대안으로 인식되고 있다. 리모델링 공사는 특성상 철거공사가 선행 된다. 철거공사는 필연적으로 건설폐기물 발생이 수반된다. 따라서 환경적 측면을 고려한 폐기물 처리가 중요하며, 이를 위해서 선별 분리를 위한 친환경 리모델링 철거공사가 수행되어야 한다. 그러나 친환경 리모델링 철거공사는 주로 기계를 사용하여 수행하는 기존 방식에 반하여 인력이 중심이 되므로 생산성 측면에서 효율성이 낮다. 리모델링 공사는 특성상 철거공사 후 후행공사가 진행되기 때문에 철거공사의 작업효율성 확보가 중요하다. 따라서 본 논문은 친환경 리모델링 철거공사의 세부공정을 작업효율성이 포함된 공정으로 재구성하고자 하였다. 이를 위해서 노후 공동주택을 선정하여 실제 사례연구를 실시하였다. 친환경 철거공사 사례적용을 분석하여 본 사례에 적합한 TACT공정을 개발하였고 이를 고층형 아파트에 적용시키기 위해 공정 Simulation을 실시하여 친환경 리모델링 최적 TACT공정을 제안하였다.

키워드 : 노후 공동주택, 리모델링, TACT공정, 친환경, 철거공사, 작업효율성

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

산업혁명 이후 기술문명은 지속적인 발전을 거듭해 오면서 경제성장, 물질적 풍요를 우선시하여 우리가 살고 있는 지구환경을 조금씩 시들게 하고 있다. 그리고 건설공사의 경우 환경파괴 문제가 부각되어 환경저해 사업으로 인식되고 있다. 최근에 재건

축·재개발등에 의한 건설 산업에서는 친환경적인 공법을 적용하며, 폐기물을 줄이는 등 환경에 대한 인식을 새롭게 하고 있다.

우리나라는 1970년 후반 도시의 인구 집중 및 과밀화로 인하여 정부는 그 대안으로 주택보급률 증가 정책을 사용함에 따라 공동주택 집중건설이 수행되었다. 그 결과, 2009년 현재 신축 후 15년 이상 경과된 노후 공동주택은 200만 가구를 넘어서고 있다(표1. 참조).

* 일반회원, 아주대학교 건축공학과 석사과정, extoll007@ajou.ac.kr

** 일반회원, 아주대학교 건축공학과 박사과정, hkim@ajou.ac.kr

*** 중신회원, A+CM DNC 대표이사, 공학박사, apcm@chol.com

**** 중신회원, 아주대학교 건축학부 정교수, 공학박사, kyungrai@ajou.ac.kr

***** 중신회원, 아주대학교 건축학부 부교수, 공학박사(교신저자), hscha@ajou.ac.kr

표 1. 사용연수별 공동주택현황 (국토해양부, 2009년 기준)

사용연수 (사용검사일 기준) (단위:천세대)

사용연수 (사용검사일 기준) (단위:천세대)						
구분	소계	5년이하	6-10년	11-15년	16-20년	21년 이상
세대	7,777	2,090	1,758	1,869	1,201	859

이와 같이 노후 공동주택의 수가 급격하게 증가하면서 주거 환경적인 문제, 구조성능의 저하, 설비의 노후화에 따른 성능저하 등으로 인하여 노후 공동주택에 결함 및 문제점이 발생되고 있으며, 앞으로 더욱 범위가 넓고 다양화 될 것이다. 이러한 노후 공동주택을 개선하기 위한 방법으로 현재 사업추진의 용이성 때문에 재건축이 가장 많이 활용되고 있으나, 천연골재의 부족, 폐기물 발생으로 인한 자연환경 파괴, 국가적 자원 낭비 등으로 인하여 향후 급격하게 증가하는 노후 공동주택 개선방안으로 노후 공동주택 리모델링 공사가 대안으로 부각되고 있다. (황영규 외 2008)

리모델링 공사는 철거공사가 필수적으로 수행되어야 후행 공사를 실시 할 수 있다. 하지만 철거공사로 인하여 콘크리트, 벽돌, 유리, 목재, 금속, 비닐 등 여러 가지 건설 폐기물이 다양으로 발생하여 환경오염이 야기된다. 이런 철거 부산물인 폐기물은 철거공사를 수행함에 있어서 불가결하게 나오는 결과물이다. 따라서 이 결과물을 줄이는 노력과 친환경적으로 처리를 하는 노력이 모두 중요한 문제로 인식되고 있다. 철거공사 수행 중간에 이런 폐기물의 선별분리로 재활용, 재사용, 폐기 등 목적에 맞게 사전에 정리한 수, 차후 폐기물을 처리하는 것이 바람직 할 것이다. 이러한 철거방식은 철거되는 모든 폐기물을 현장 일부 공간에 적재시킨 후 분리 반출하는 행위를 통해 폐기물의 재사용, 재활용률을 상승시킬 수 있다. 그러나 기존의 혼합폐기물을 발생시키는 기계 장비가 주로 쓰이는 방식에 비해 작업생산성은 저조하기 마련이다.

리모델링 프로젝트에서의 철거공사는 선행작업 이므로 생산성이 떨어지면 철거공사의 기간도 늘어날 것이고, 리모델링 공사기간에도 큰 영향을 미치게 될 것이다. 따라서 리모델링 철거공사의 친환경성을 감안한 생산성확보 차원에서 친환경 리모델링 철거공정의 개발이 절대적으로 필요하다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 리모델링 철거공사를 대상으로 친환경 적이며, 작업효율성이 있는 철거 공정 개발이 목적이다. 본 연구의 현재 범위는 리모델링 철거공사 중 공동주택으로 한정한다. 연구의 방법은 그림 1에서 볼 수 있듯이 친환경 프로세스를 선행연구에서 조사하여 정립하고, 사례연구를 통하여 정립한 프로세스와 연관

된 공정 데이터를 추출한다. 추출된 데이터를 분석하여 나온 결과를 토대로 최적공정 모델을 개발한다. 최적 개발 모델로 15층 높이의 아파트를 대상으로 공정 Simulation을 실시하여 친환경 리모델링 철거 TACT공정을 완성한다(그림1. 참조).

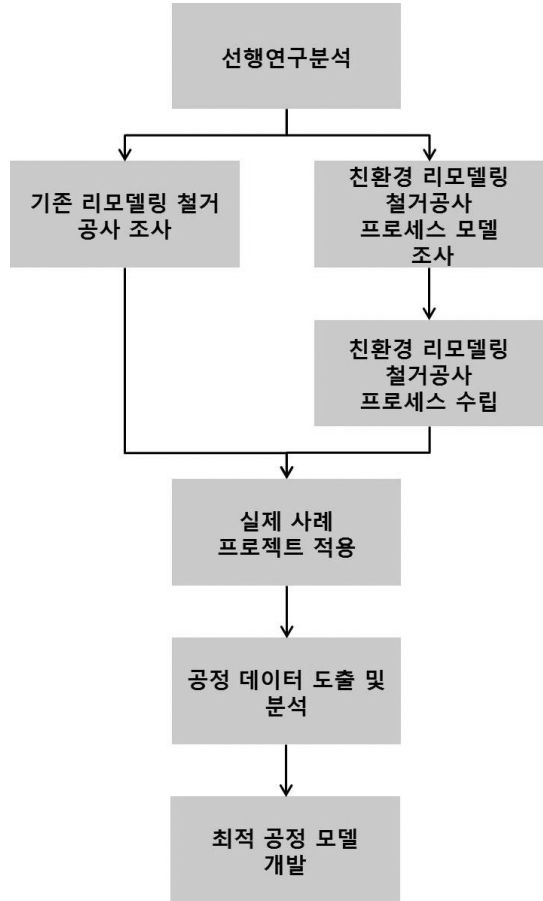


그림1. 연구의 흐름 및 방법

2. 선행 연구 분석

최적공정을 개발하기 위해서 국·내외 철거공사에 대한 사전 연구를 분석해본 결과를 정리하면 다음의 표2. 와 표3. 과 같다.

표 2. 국내 철거공사에 관한 선행연구

관련문헌	주요내용
김호진 (2004)	기존 해체작업 수행은 효율성만 중시함 해체 후 발생하는 폐기물 중 재활용이 가능한 폐기물에 이물질이 포함되어 처리 비용 발생 및 매립장 부족현상 나타남
송석달 (2006)	현행 철거공사는 작업의 용이성, 비용 등에 중점을 맞춰 소음, 진동, 폐기물 처리량 등에 문제를 간과하고 있음
황영규 (2008)	국내 노후 공동주택 리모델링 공사는 신축공사와 달리 철거 공정이 선행되는 특징이 있음 철거공사는 소형백호우, 브레이크 등 파쇄형 장비가 사용되어 소음, 진동, 비산먼지 등이 발생되어 주변 환경에 악영향을 끼치며, 민원의 원인이 됨 철거공사 후 발생하는 건설폐기물은 재활용이 가능한 폐기물에 각종 잔재들이 혼합 배출되어 재활용 성능을 저해하기 때문에 새로운 철거 방식이 제시되어야 함

표 3. 국외 철거공사에 관한 선행연구

관련문헌	주요내용
Manar Shami (2007)	건축물의 해체 후 발생하는 폐기물의 분리반출 및 재활용 자재의 활용시장 개척, 노동 인력의 교육훈련을 통한 자원 재활용률을 높이고자 함
The US Environmental Protection Agency (1998)	건축물의 종류별 재건축, 리모델링 시 발생하는 폐기물의 종류 및 양을 통계 분석함 발생된 폐기물을 매립, 재활용, 재사용으로 분류하여 폐기물 관리방안을 제시함
Ken Sandler (2003)	건축물의 해체 시 발생하는 폐기물을 구성 성분별로 분류하고 분류된 폐기물 별 재활용 방안을 제시함
Fouad M. Khalaf (2004)	조적조 건물의 해체 시 발생하는 폐 벽돌을 분쇄하여 쇄석골재를 콘크리트 생산에 재활용하고자 함 폐 벽돌을 이용해 만든 쇄석골재의 품질기준 및 품질관리 기법 제시 폐 골재를 이용한 콘크리트 강도 및 점착성, 연성, 수축성, 변형성, 내화성, 수밀성 등을 분석
황영규 (2008)	일본의 경우 경제성, 공기 및 효율성보다 잔존 구조체의 안전성과 소음, 진동 등 환경유해요인의 최소화에 초점을 맞추어 부분철거 공사를 시행하고 있음 독일의 경우 해체현장에서 철저한 분리수거 원칙을 고수한 분별해체 방안을 사용하고 있음 호주, 노르웨이, 네덜란드는 리모델링이나 재건축할 경우 사용자의 50~80% 정도는 해체과장에서 발생한 폐기물을 리사이클 하여 사용하고 있음 미국의 경우 해체공사업체 연합회를 중심으로 해체공법과 폐기물 등 일련의 관련기준과 지침이 제공하며 분별해체를 유도하고 있음 플로리다 대학의 건설 환경 센터에 의하면 6층 건물의 분별해체의 경우 직접 공사비는 21%가 높지만 자재의 재활용과 잔존가치를 고려할 경우 단순 철거보다 37%가 더 저렴하며 10% 정도 경제성이 있다는 연구결과 발표

위의 국내 문헌들에서 알 수 있듯이 현행의 철거공사는 환경에 대한 문제를 외면한 채 작업효율성만을 가지고 수행하고 있다는 문제가 도출되었다. 하지만 문제 도출만으로 끝나고 그에 대한 해결책 및 개선방안에 대한 결과가 명확하게 드러나지 않고 있다.

한편, 국외 문헌들은 대부분 폐기물의 활용가치의 극대화, 재 활용(Recycle), 재생, 분리반출, 폐기물 시장의 개척 및 마케팅 등 다양한 연구가 진행되고 있는 것을 확인할 수 있다.

선진 외국은 건설폐기물의 재활용(Recycle) 향상을 위해 분별해체의 의무화와 철거공사 관행의 변화로 분별해체가 일반적인 해체공법으로 자리 잡고 있었다. 반면 우리나라는 아직까지 대부분 기존의 방법으로 이루어지고 있다. 이것은 영세한 해체공사업체가 친환경성보다 생산성을 위주로 공사를 수행하고 있기 때문이다. 따라서 기존 방법보다 친환경성을 고려한 철거공사에 대한 방법은 아직 국내에 정립되지 못하고 있다. 따라서 친환경적인 철거공사의 표준 공정계획 방법을 제시하고자 한다.

선행연구로 친환경 리모델링 철거공사 프로세스 모델이 정립이 되어 있다는 것을 확인하였다. 친환경 리모델링 철거공사 프로세스는 철거공사에 앞서 철거작업의 기초적인 정보를 제공하고 참여자간 의사소통이 가능하게 하여 체계적인 작업수행이 가능하게 된다. 또한 철거기본도면에 의한 폐기물 분리반출을 통해 재사용(Reuse) 및 재활용(Recycle)이 가능한 가구류와 내부수장재를 분리철거하고 별도의 수거장소를 마련하여 폐기물 중간처리업체로 장외반출이 가능하게 된다. 철거 중 발생하는 폐기물의 특성에 따라 수거장소를 따로 구성하여 폐기물의 발생 즉시 선별분리가 가능하게 되어 폐기물의 재사용(Reuse) 및 재활용률을 높일 수 있다(그림2. 참조). (황영규, 2008)

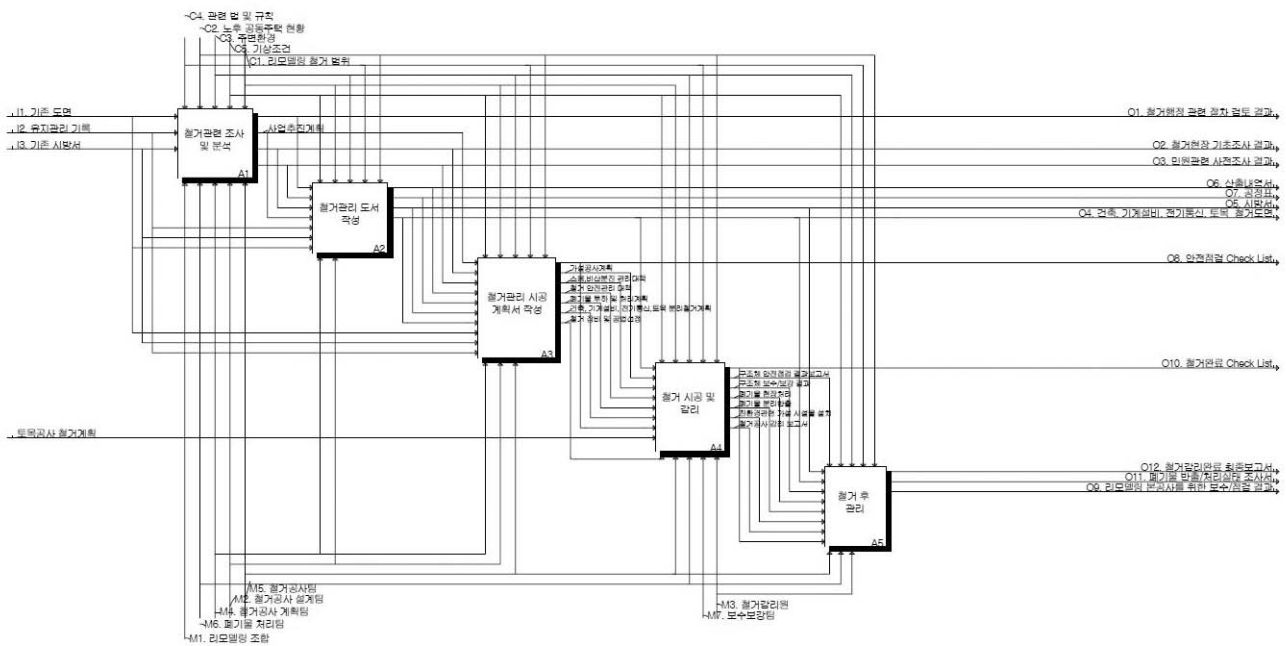


그림 2. 친환경 리모델링 철거공사 프로세스 모델 (황영규, 2008)

3. 친환경 리모델링 철거공사 특성분석

3.1 리모델링 철거공사의 특성

철거공사는 각 층별, 세대별로 동일한 철거 작업이 연속적으로 진행되므로 친환경 철거 프로세스 각 단계별 반복적으로 공사를 수행할 수 있다.

이것은 건설공사의 골조공사 후, 마감공사를 수행할 때 반복적으로 보이는 특징과 유사하다. 따라서 이러한 특징을 이용하여 마감공사의 효율성을 높이기 위한 TACT공정계획을 친환경 리모델링 철거공사에 적용 가능 할 수 있다는 것을 짐작 할 수 있다.

3.2 TACT공정의 정의

TACT공정관리기법은 작업의 프로세스를 명확하고 세밀하게 예상하여 반복되는 단위작업들을 서로 간섭되지 않게 조정하여 하나의 그룹으로 만들고 그러한 그룹끼리 순서를 지정하여 동일한 TACT타임 (TACT작업의 작업 구역 내에서 작업팀, 작업자의 작업소요시간) 을 기준으로 하여 반복적인 공정계획을 수행하는 방식이다(표4, 참조).

표 4. TACT공정관리기법

정의	작업구역을 일정하게 통일시켜 선·후행 작업의 흐름을 연속적으로 만드는 공정기법
목표	정해진 시간의 정량생산 시공에 의해 자원평준화와 공정간 유휴시간을 '0'으로 함으로써 공기단축 및 품질향상 도모한다.
관리 포인트	협력업체의 의견수렴으로 협의와 자율에 의한 공정관리다. TACT공정관리 시행을 위한 전제조건은 사전계획 완비다. 지속적인 점검과 협의로 합의사항 및 일정을 준수하여 선행공정이 후속공정에 피해를 주지 않도록 실시한다.

TACT공정관리는 전체공정을 흐름생산(Pull) 방식을 적용하여 작업의 흐름을 연속화 하여 공정 간의 생산 시간을 균일화 시키고 공종별 생산능력을 정확히 측정하여 예상 작업시간 설정과 흐름을 정확히 판단해야 한다. (김태영, 2006)

표 5. 친환경 리모델링 철거공사 택트 공정관리 항목 및 내용

단계	추진항목	세부내용
1	현재 문제점 분석	도입취지와 전원 의식향상을 위한 작업자 교육 철거공사 단위작업별 인력 및 기계장비의 관계확인
2	공정 재편성	현 문제점 및 추진계획 통보 택트타임에 맞도록 단위작업별 표준화 실시(정수화된 TACT타임 설정) 공정편성 효율향상 추진
3	TACT 타임 설정	철거공사 공정별 평균시간 산정
4	TACT공정 개발 생산 도입	작업자 운용교육 및 도입운전 전공정이 정해진 시간에 생산 수행토록 사전 조치
5	TACT공정관리 운영	공정간 택트타임 준수 및 관리 동기부여 전원참여

친환경 리모델링 공사의 TACT타입의 설정을 위한 항목별 내용을 정리하면 위에 표5. 와 같다.

3.3 친환경 리모델링 철거공사 프로세스 정립

선행연구의 친환경 철거 프로세스를 바탕으로 사례적용을 위한 대상현장의 철거 프로세스를 재정립하였다. 그림3. 과 같이, 가구 및 보일러 등 수장재는 폐기물투하 시 입구로 사용하는 창호와 그 주변의 잡철물과 함께 철거를 수행하고, 반출하기위한 천장 및 벽 마감재를 그 후속으로, 그리고 바닥 마감재와 내외부 벽체 철거 후 최종적으로 조적폐기물을 투하를 하는 방식으로 진행하였다.



그림 3. 친환경 리모델링 철거공사 사례적용

4. 친환경 리모델링 철거공사 최적공정 개발을 위한 사례연구

4.1 기존 방식의 철거공사 프로세스

사례연구를 비교하기 위하여 기존 철거방식의 철거공사가 수행되어져야 한다. 따라서 사례연구의 대조군으로 기본철거방식에 대한 프로세스를 정립하였다. 해당 프로세스 각 단계를 나타내면 그림4. 와 같다.



그림 4. 기존 리모델링 철거 방식 사례 적용

4.2 사례연구를 위한 TACT 공정예측

TACT공정은 각 단위작업별 정수비의 TACT타임을 만드는 것이 중요하다. 본 연구에서 사례연구를 수행하기 위해서 선행연구를 통해 5단계의 단위작업으로 철거공사를 수행하였다. 따라서 아래 그림 과 같이 단위작업을 기준으로 기본 단위작업별 TACT공정의 기본형은 아래 그림5. 와 같이 나타낼 수 있다.

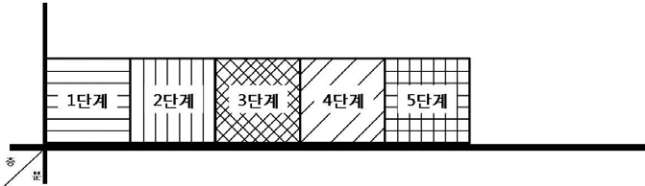


그림 5. 친환경 리모델링 철거공사 TACT공정 기본형

TACT공정 기본형을 바탕으로 실제사례에 적용하여, 친환경 리모델링 철거공사 최적공정 개발을 위한 데이터를 수집할 수 있었다. 사례적용을 통해 도출될 데이터를 활용하여 시뮬레이션을 실시한 최종 TACT공정은 아래 그림6. 과 같이 예측 될 수 있다.

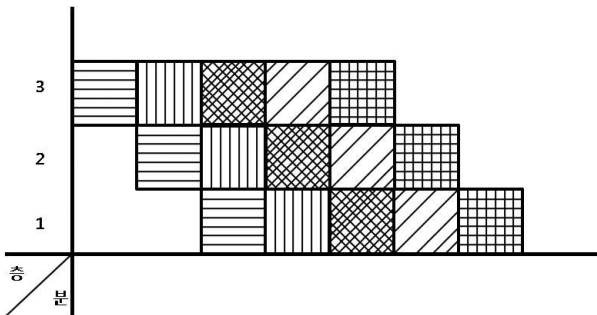


그림 6. 친환경 리모델링 철거공사 사례연구 예측 TACT공정

4.3 사례연구 현장 개요

친환경 리모델링 철거공사 사례연구 대상 현장은 광주의 노후 공동주택이며 자세한 사항은 그림7. 과 같다.

사 례 연구 현 장 개 요

- 위치: 전라남도 00구 0동 00번지 시영아파트
- 구조형식: 라멘구조
- 규모: 3개층 24세대 2개동
- 세대면적: 약 30m²
- 사례연구 대상: 동측 1개동 양 단부 12세대
(기존방식: 6세대, 친환경방식: 6세대)
- 사례연구 기간: 2009년 3월 14일~ 20일 (7일간)

그림 7. 사례연구 현장 개요

4.4 사례적용 데이터 측정 및 분석 데이터 도출

철거작업 수행 시 비효율적인 요소들이 도출되어 공사기간이 지연될 수 있다. 이에 대하여 선행연구 검토결과를 바탕으로 비효율적 요소들을 도출해 보면, 협소한 작업공간으로 인한 작업 제약, 구조적인 안전성 고려, 폐기물 투하/분리/반출 시기 및 방법 선정, 철거장비의 진입방법 선정, 추가철거작업 발생 등이다. (강사일 외, 2008)

철거공사 사례연구 대상 현장에서도 협소한 장소에서의 장비 운용이 원활 하지 않았고, 장비 진입입구가 생각 외로 협소하여 처음 진입할 때 장비의 이동시간이 지체되었다. 그러나 이런 요소들은 반복 작업으로 인한 학습효과로 개선되었다. 따라서 이런 유희시간은 공사 전체 시간에서 제외하여 실제 공사 수행시간만 추출하였다. 또한 각 세대별 바닥마감재가 모두 달라 공사 수행에 있어서 어려움이 있었다. 3층만 바닥재가 존재하고 나머지 층은 슬래브만 있을 뿐 바닥재가 없었다. 하지만 바닥마감재 종류가 다른 것은 아니었고, 현재의 아파트 즉, 차후 20년 뒤 고층아파트 (15층 이상의 아파트를 지칭함)가 리모델링을 받는다면 대부분의 마감재가 대동소이 할 것이기 때문에 상황을 가정하여 실제 작업 시간에 포함하여 연구를 진행하였다(표6 참조).

표 6. 친환경 철거 실제수행 작업시간

공종	부위	유희시간을 제외한 작업수행시간(분)
가구류/압철물 철거 (4인1조)	3층	109
	2층	49
	1층	71
	소계	229
천장/벽 철거 (4인1조)	3층	25
	2층	33
	1층	36
	소계	94
바닥재 철거 (1인+1기계1조)	3층	92
	2층	0
	1층	0
	소계	92
내벽철거 (1기계1조)	3층	104
	2층	150
	1층	140
	소계	394
폐기물투하 (1기계1조)	3층	226
	2층	345
	1층	0
	소계	571

기존 철거공사 역시 폐기물의 투하작업에서 투하지점의 거리가 사례연구 대상과 근접하여 1층은 수행하지 않았다. 그 외의 수행 작업시간은 아래 표7. 과 같다.

표 7. 기존철거 실제 수행 작업시간

		유류시간 제외한 수행시간(분)
수장재철거 (4인1조)	3층	57
	2층	76
	1층	73
	total	209
내벽철거 (1기계 1조)	3층	231
	2층	157
	1층	54
	total	442
폐기물 투하작업 (1기계 1조)	3층	343
	2층	247
	1층	-
	total	590

그 결과 사례연구의 기존 철거방식과 친환경 리모델링 철거공사의 결과는 아래 그림8. 과 같다. 전체 작업시간은 친환경 방식이 길게 나타났으나, 천장재, 조적벽, 바닥재를 미리 철거하여 내벽철거의 수행 시 기계 궤도바퀴에 끼거나 운전자의 시야를 방해하는 폐기물이 줄어들어 단위 시간당 생산성은 높게 나타났다. 즉, 기계 사용시간이 줄어들어 공사비 절감의 효과를 나타내는 요인이 되었다.

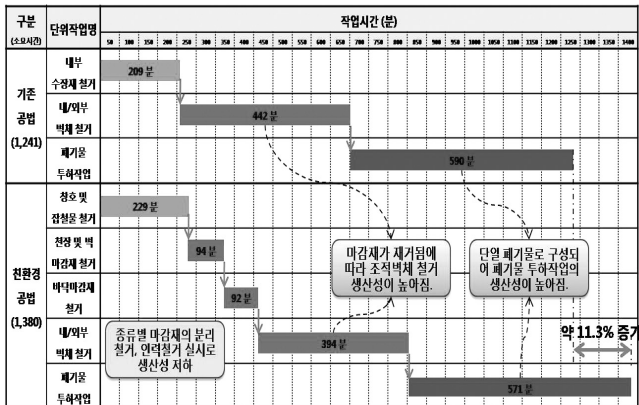


그림 8. 사례연구 철거공사 수행시간 비교

친환경 리모델링 철거공사가 1,380분, 기존의 철거공사는 1,241분으로 친환경 리모델링 철거공사가 약 11.3%정도 작업시간이 많았다. 한편, 폐기물 량은 저울 및 쌓여진 부피를 측정하여 아래 표8. 과 같이 도출되었으며, 폐기물 처리비용은 한국건설자원협회에서 공시한 건설폐기물 수집 종류별 운반단가, 중간처리단가, 단위비중환산표를 사용하여 산정 결과, 친환경 철거공법이 기존 철거공법 사용 보다 약 63.7% 정도 절감되었다(표9. 참조). 또한 혼합폐기물이 아닌 재활용이 가능한 폐기물을 분리하여 환경오염을 줄일 수 있으므로 친환경적인 공사라고 할 수 있다.

표 8. 철거공사 사례연구 발생 폐기물량 비교

구분	기존 철거공법	친환경 철거공법	
매립 폐기물	41,77971 ton	26,37621 ton	
재활용 가능 폐기물	없음	사시류	100kg
		샌드위치 패널류	6㎡
		잡철물류	180kg
		장판류	1㎡
소각 폐기물	없음	가구류	1㎡
		페목재류	40㎡

표 9. 기존철거 및 친환경 철거공사 폐기물 처리비용

공법	구분	발생량 (Ton)	운반단가 + 중간처리단가 (원/Ton)	처리비 (원)	합계(원)
기존 철거공법	매립 폐기물	41,77971	168,207.46	7,027,658	7,027,658
	재활용 가능 폐기물	2,59	12,943	33,522	
친환경 철거공법	매립 폐기물	26,37621	62884.92	1,658,665	2,550,760
	소각 폐기물	13,53	63,457	858,573	

4.5 친환경 리모델링 공사의 TACT타임 산정

친환경 철거공사가 기존 철거공사보다 폐기물 처리비용의 경제성이 더 높은 것을 알았다. 그러면 TACT공정화 시키면 작업수행시간이 어떻게 될지 Simulation을 통하여 알아보도록 하였다.

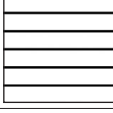
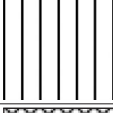
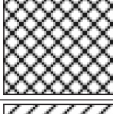
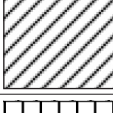
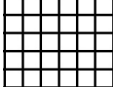
친환경 철거공사 사례연구가 5단계로 나뉘져 있기 때문에 각 단계별 수행시간을 산정했다. 수행시간은 3점 척도를 이용하여 아래의 식으로 산정하였다.

$$Time = \frac{O + 4M + P}{6}$$

O: 최단시간 (Optimistic)
 M: 중간시간 (Most Likely)
 P: 최장시간 (Pessimistic)

그러나 바닥재와 폐기물투하의 단계를 보면 3점 척도를 이용할 수 없는 상황이다. 이것은 바닥재의 경우 사례연구 대상지가 노후화된 건물이다 보니 3층만 바닥재가 있었을 뿐 나머지 층에는 존재하지 않았고, 폐기물투하의 경우는 1층은 위층에서 투하한 폐기물이 1층 높이 이상으로 쌓여 측정하지 못하였다. 따라서 바닥재는 3층과 동일한 상황이라고 가정하여 시간을 산정하였고, 폐기물투하는 측정된 2개 층의 평균으로 가정하고 산정하였다. 그리고 계산되어진 수행시간은 시간의 “분”단위가 기준이며 계산의 편의성을 위하여 소수점은 반올림하여 정수로 도출하였다. 따라서 단위작업별 실제 수행 작업시간의 분석 결과 데이터

표 10. 사례연구의 단위작업별 작업시간 분석 결과

단위작업	수행시간	표현색
가구류/잡철물 (4인1조)	74	
천장/벽 (4인1조)	32	
바닥재 (1인+1기계1조)	92	
내벽철거 (1기계1조)	136	
폐기물투하 (1기계1조)	286	

는 위에 표10. 과 같다.

수행 작업시간 분석 결과 바탕으로 친환경 리모델링 철거공사 사례연구의 철거 순서만 가진 기본 TACT형식의 모델로 나타내 보면 아래 그림9. 와 같다. 철거공사는 최상층부터 최하층으로 내려오며 진행되는 방식이므로 TACT모델 역시 최상층인 3층에서부터 시작이 된다. 하지만 각 단위작업별 수행시간이 다르기 때문에 유희시간이 나타나는 것을 볼 수 있다.

4.6 TACT공정의 TACT타입 재산정 및 최적 TACT

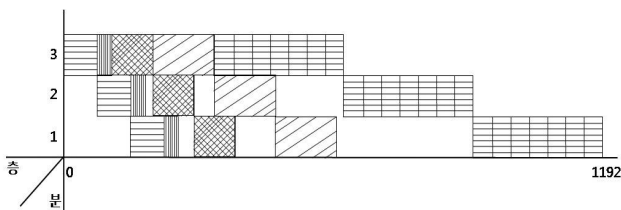


그림 9. 친환경 리모델링 철거공사 사례연구 기본 TACT 모델

공정 모델 제안

TACT공법을 적용하기 위해서는 하나의 기준이 되는 시간을 정하여 그 시간의 정수배가 되게 하는 것이 필요하다. 왜냐하면 정수비로 표현하여야만 각 단위작업별 인력 구성 및 작업조 편성을 쉽게 할 수 있기 때문이다. 표6. 을 보면 각 단위작업 당 수행시간이 정수배가 되지 않는다. TACT공정의 특징은 각 단계별 공정사이 유희시간이 없도록 하는 것이다. 따라서 수행시간의 속도를 맞추기 위해 Buffer(완충여유시간)를 두어 정수배가 되도록 유도한다. 정수배로 수행시간을 변환할 수 있는 이유는 각 공정별 수행되는 생산성이 각각 같기 때문에 투입되는 자원의 량과

수행되는 시간의 비가 반비례라는 가정을 했기 때문이다.

5가지 Process 중 기계와 인력이 동시 투입된 바닥재를 기준으로 하여 모든 단위작업의 수행시간을 재 산정한다(표11. 참조). 바닥재 단위작업을 기준으로 한 이유는 바닥재만 인력과 기계의 작업조가 구성되어있어 다른 단위작업을 기준으로 잡을 때 만약, 바닥재 철거 작업이 1/2의 정수비가 되어야 하는 경우가 발생한다면, 한명의 인력을 반으로 나누기 불가능하고, 생산성을 따져 나눈다면, 기계장비와 인력의 생산성을 나눠 생각하기 어렵기 때문이다.

폐기물투하의 경우 수행시간이 기준의 정수비가 되기에 너무

표 11. TACT공정의 TACT타입 산정을 위한 Buffer 적용

단위작업	사례 수행시간	Buffer	TACT타입을 위한 변환	정수비
가구류/잡철물 (4인1조)	74	18	92	1
천장/벽 (4인1조)	32	14	46	1/2
바닥재 (1인+1기계1조)	92	0	92	1
내벽철거 (1기계1조)	136	48	184	2
폐기물투하 (1기계1조)	286	-10	276	3

Buffer가 커지므로 폐기물투하 과정은 Compact한 작업을 수행한다고 가정하고 수행시간을 10분 정도 낮춰 산정했다.

TACT공정에 맞게 비율을 넣어 인력과 기계를 산정하면 아래와 같다(표12. 참조).

위의 표를 바탕으로 TACT공정으로 표현을 하면 그림10. 과 같다.

표 12. 최적 TACT공정의 TACT타입 산정

단위작업	수행시간	정수비	표현색
가구류/잡철물 (4인1조) -> (4인1조)	92	1	
천장/벽 (4인1조) -> (2인1조)	92	1	
바닥재 (1인+1기계1조) ->(1인+1기계1조)	92	1	
내벽철거 (1기계1조) ->(2기계1조)	92	1	
폐기물투하 (1기계1조) ->(3기계1조)	92	1	

결과적으로 기존 철거공사 수행시간은 1,241분, 친환경 리모

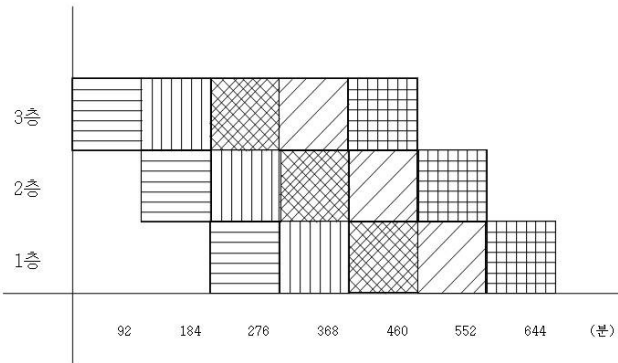


그림 10. 친환경 리모델링 철거공사 최적 TACT 공정

델링 철거공사는 1,380분, TACT공정 기본 모델은 철거수행 시간이 1,192분이 걸린 반면, 최적 택트타임을 설정하여 TACT 모델을 수립한 철거완료 시간은 644분으로 약 54%정도 시간이 감소하였다는 것을 알 수 있다. 이것은 철거의 순서만 생각하여 수행하는 것 보다, 철저한 인원 계획 및 관리를 하여 수행하는 것 보다 높은 생산성 및 효율성을 가진다고 할 수 있다.

차후, 지금의 아파트 즉, 15층 높이의 공동주택이 리모델링을 하게 된다면 본 연구 결과를 바탕으로 친환경 리모델링 철거공사 시 최적의 TACT공정을 도출해 보면 그림11. 과 같은 공정으로 표현 할 수 있다. 다만 고층의 기계 장비 운반 및 이동 등 여러 문제를 해결하는 것이 향후 연구되어야 하며, 이를 참고해야 할 것이다.

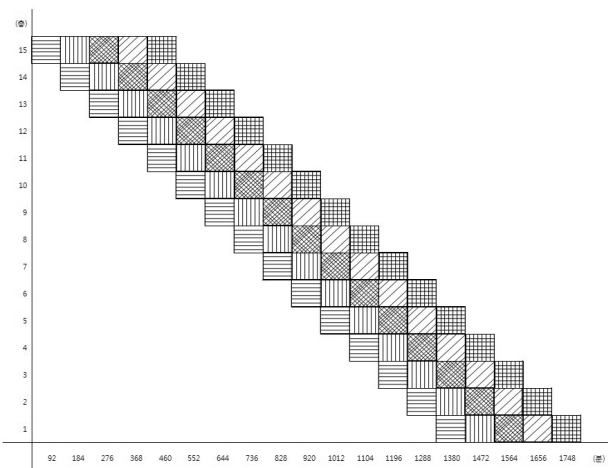


그림 11. 15층 공동주택 친환경 리모델링 철거공사 최적 TACT 공정 제안

5. 결론

최근 산업 전반에 걸쳐 환경 문제가 대두되고 있다. 건설산업 역시 과거의 공해를 일으키는 대표적인 산업이라는 오명을 벗고자 많은 관심을 가지고 있으며, 폐기물량을 줄이는 등 인식을 달리 하고 있다. 노후 공동주택이 점차 증가함에 따라 개선 방안인 철거공사는 리모델링 공사 시 반드시 적용되어야 하는 주요 공정이다. 그러나 폐기물의 량, 공사기간에 따른 환경오염 등 환경적인 측면에서 생각하면 반드시 친환경 리모델링 철거 공사는 수행되어야 한다. 따라서 친환경적이면서 효율성을 확보 할 수 있는 최적의 공정이 절대적으로 필요하다.

현재의 친환경 철거공사는 무분별한 계획과 시공방법으로 유희시간의 낭비 및 작업량 증가, 폐기물의 과다 발생 등 많은 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해 친환경 리모델링 철거공사를 TACT공정으로 변환시켜 유희시간의 최소화, 선 분류 작업을 통한 폐기물의 최소화, 층당 공사계획을 세움으로서 나올 수 있는 최적 공사기간 및 인력 확보, 그리고 철거공사의 일정한 품질확보를 할 수 있다.

최적의 친환경 리모델링 철거공사를 사례연구에 반영시켜본 결과, 친환경 리모델링 철거공사 폐기물이 기존의 철거공사의 폐기물량 보다 적게 나왔으며, 공사 수행 시 미리 제거한 천장재, 조적벽, 바닥재 등으로 인하여 오히려 기계공사시 작업의 효율성이 더 좋게 나왔다. 이것을 종합해 보면 친환경 철거방식이 폐기물 처리비와 작업효율 향상에 의한 비용의 절감으로 기존 철거보다 경제성이 높게 나타나게 되었다.

추후 현재의 고층 공동주택이 리모델링이 본격화 될 경우 고층 공동주택의 기계 장비의 운반법과 이동경로 등 활용법이 친환경 철거공정계획의 심도있는 접근이 요구된다.

본 논문에서 개발한 친환경 리모델링 철거공사 최적 TACT공정을 활용함으로써 기존 철거공사의 친환경성을 증진시킬 수 있으며, 폐기물 분리 반출로 인해 저조한 작업효율성을 높일 수 있는 최적의 공사방법을 정착화 시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비 지원에 의

해 수행되었음.

본 연구는 과학기술부 우수연구센터 운영사업인 한양대학교 친환경 건축 연구센터의 지원으로 수행되었음. 과제번호 R11-2005-056-03004-0.

참고문헌

- 강사일, (2007) “리모델링의 특성을 반영한 철거공사의 공정계획 수립방안”, 아주대학교 대학원
- 공동주택통계현황, 국토해양부, 2009
- 김재원 외 5인, (2006) “건축공중 및 내부자재별 친환경평가 분석을 통한 Smart Component 개발에 관한 연구”
- 김지현 외 3인, (2007) “작업흐름 기반의 택트공정관리 프로세스”, 건축도시연구정보센터
- 김태영 외 1인, (2006) “TACT 공정관리의 문제점 및 개선방안”, 건축도시연구정보센터
- 김효진, (2004) “자원재활용 효율향상을 위한 분별해체 공정 정립 방안”, 건축도시연구정보센터
- 김효진 외 3인, (2006) “해체공사 수행실태 및 공동주택 분별해체 시험시공”, 한국건설관리학회 논문집
- 박민선 외 3인, (2006) “계약이론을 이용한 택트공정관리 개선에 관한 연구”, 건축도시연구정보센터
- 백종현, (2006) “노후건축물 해체공사의 실태분석 및 개선방안에 관한 연구”, 영남대학교 대학원
- 서상욱 외 4인, (2003) “TACT 공정관리 시스템 개발 및 적용 사례”, 한국건설관리학회 논문집
- 송석달, (2006) “리모델링 건축물 현장 사례를 통한 해체공법 선정에 관한 연구”, 영남대학교 산업대학원
- 신경희 외 4인, (2002) “노후 건축물의 철거 또는 리모델링 판단을 위한 의사결정”, 대한건축학회 논문집
- 정주영, (2007) “공동주택 마감공사의 택트공정관리 프로세스 개선방안”, 단국대학교 대학원
- 황영규 외 3인, (2008) “친환경 리모델링 철거공사 프로세스 모델”, 한국건설관리학회 논문집
- 황영규, (2008) “친환경 리모델링 철거공사 프로세스 모델 개발”, 아주대학교 대학원
- Fouad M. Khalaf, Alan S. DeVenny, (2004) “Recycling of Demolished Masonry Rubble as Coarse Aggregate in Concrete: Review”, JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING
- Ken Sandler, (2003) “Analyzing what's recyclable in C&D debris”, Biocycle
- Manar Shami, (2007) “Managing deconstruction Projects for sustainability”
- The U.s. Environmental Protection Agency, (1998) “Characterization of building-related construction and demolition debris in US”

논문제출일: 2009.07.02

논문심사일: 2009.07.03

심사완료일: 2010.11.07

Abstract

Technology based civilization has made a sustained advancement, resulting in economic growth and material prosperity. The outcome was the beginning of environmental destruction. Especially, in regard to construction, it has been recognized as a key culprit for pollution. As such, the construction industry has recently shown interest in the environment, as it has been applying environment friendly method of construction and reducing wastes. As the number of old common housing increases in our country, reconstruction and remodeling are implemented as a means of improvement. However, it can be said that remodeling is the inevitable option because of cost and environmental problems associated with reconstruction. As part of its feature, remodeling work is preceded by removal work. And, removal work inevitably creates construction wastes. Treatment of wastes that takes into consideration environmental aspects is important and for this, removal work that is based on environment friendly remodeling to ensure selective separation must be implemented. Yet, a removal work based on environment friendly remodeling has a lower level of output compared to existing methods. Because remodeling work by its nature has a post construction work which proceeds after it, securing work efficiency is important as the removal work is a critical path activity. Thus, the present study improves the work process of a removal work that is based on environment friendly remodeling so that it becomes a work process that includes work efficiency. For this, as a case study, old common housing has been selected, and a TACT process has been developed which is based on data acquired from environment friendly removal work. And, this study develops an optimal TACT process which is based on environment friendly remodeling by conducting a simulation for a 15 floor apartment.

Keywords : *PAged Housing, Remodeling, TACT-Process, Eco-Friendly, Demolition Work, Workability*
