

Global Report

환경영향 감축을 위해 건축문화유산의 개조 재사용을 위한 순환경제 전략

1. 서론
2. 연구 방법
3. 문헌 고찰
4. 결과: 건축문화유산의 개조 재사용을 위한
순환경제
5. 논의 및 결론

1. 서론

1.1. 순환경제

인간의 활동이 환경 파괴, 서식지 파괴 및 인간의 웰빙을 위협하는 생태계 변화를 야기한다는 인식으로 순환경제(Circular Economy; 이하 CE)와 같은 보다 지속 가능한 전략을 추구하게 되었다 (Bruce et al., 1996; EMF, 2013; Korhonen et al., 2018). 경제학에서 제품 공급망은 일반적으로 선형으로 이해되고 있다. 선형 공급망은 천연자원을 인간의 복지를 지원하는 제품으로 만드는 과정이다, 소비자는 이러한 제품을 사용하고 나서 폐기물로 버린다. CE 공급망 모델은 선형 경제 모델과 대비된다, CE에 대한 많은 정의가 있으며, 각각 서로 다른 이론적인 기반을 가지고 있다. (Kirchherr et al., 2017; Reike et al., 2017). CE 전략에 최상의 단일 옵션은 없다. 많은 순환성 전략은 상호 보완적이며, 다양한 산업 및 사회적 상황에 적합하다 (Moreau et al., 2017). 모호성을 피하기 위해 본 과업에서는 CE 및 CE 전략을 다음과 같이 정의한다

순환경제는 재료의 사용 범위를 넓히고 재료 및 에너지의 소비와 낭비를 줄여서 천연자원 채취와 환경영향을 최소화하는 생산 및 소비 과정이다, 새로운 제품으로의 전환, 장수명 설계, 폐기물 최소화 및 복구/ 재사용, 개인 소유 대신 공유 및 서비스 제공을 포함하는 소비의 재정의의 통해 재료의 유효 수명이 연장된다.

CE는 수명주기에 미치는 영향을 최소화하면서 재생 가능하고 독성이 없으며 생분해 가능한 재료의 사용을 강조한다. CE는 지속가능성의 개념으로 지구 내의 생물물리학적 한계 내에서 인간의 복지를 촉진하는 사회 구조에 포함되어야 한다.

1.2. 건물의 환경 영향

거주지의 필요성은 인간의 복지에 절대적으로 중요하다. 환경에서 채굴한 천연자원의 막대한 소비와 환경으로 반환되는 폐기물 배출을 야기는 거주용 건물의 건설, 이용, 폐기가 대규모로 수행된다. 이러한 수요로 건설 산업은 세계 최대의 자원 및 원료 소비주체가 되었다 (WEF, 2016). 또한, 전 세계 기후 변화와 관련된 건축 산업의 온실가스 배출량은 꾸준히 증가하고 있다. 국제에너지 기구(International Energy Agency)는 1990년 이후로 건물 관련 배출량이 45% 증가했음을 지적하였다(IEA 2017). 이로 인해 건물의 환경 영향, 특히 온실가스 배출의 관리가 지속가능한 경제를 성취하고 지구 온난화를 제한하는데 대단히 중요한 요인이 되었다. 2018년 10월, 국제기후변화위원회(IPCC, the International Panel on Climate Change)는 지구 온난화를 산업화 이전 수준보다 1.5°C 이하로 제한하는 옵션을 검토했다. IPCC는 이 목표를 달성하기 위해서는 건축 분야에서의 급격한 변화가 필요할 것이라고 지적했다 (Rogelj et al., 2018).

2017년 국제에너지기구는 “보다 효율적인 건축물들이 전체 에너지 시스템 변환을 가능하게 한다.”는 발언으로 건축 분야의 어려운 지속가능성의 도전과 기회를 강조했다(OECD / IEA, 2017).

1.3. 지속가능한 도시 개발

인구가 늘어나는 도시를 지속적으로 건설하고 관리하는 방법은 건축, 경제 정책, 계획 및 경제 등의 여러 학문 분야를 아우르는 활발한 연구 분야이다 (Andersson, 2006; Hassan and Lee, 2015; Hoornweg and Freire, 2013; Lehmann, 2010, 2011; Lehmann, 2013; Lewin and Goodman, 2013; Quintero, 2013; Roadwell, 2011; Wolch et al., 2014).

2018년 유엔의 추정 조사에 따르면, 현재 인류의 55%가 도시에 살고 있다 (United Nations, 2018). 이 현상은 다른 여러 국가에서도 상승 추세를 보인다 (Habitat, 2016). 유엔의 보고서인 Urbanization and Development: Emerging Futures에는 다음과 같은 원칙이 제시되어있다. “환경, 도시 계획, 거버넌스 사이에서 중요한 연결이 확립될 때 혁신적인 변화를 이끌 수 있는 환경적 지속가능성을 촉진한다.” (Habitat, 2016). 지속가능한 도시화 논의는 국제적 수준과 지역 정부 수준의 문화를 광범위하게 포함한다. 예를 들면, 유네스코는 2015년에 “Culture for Sustainable Urban Development Initiative

(지속가능한 도시개발 발의)”를 시작했다. UN의 지속가능한 개발 목표 11(The United Nations Sustainable Development Goal 11)은 “안전하고 탄력적이며 지속가능한 도시와 인간의 정주지를 만들기”는 “세계문화유산과 자연유산을 보존하고 보호하는 노력을 강화한다.”는 목표를 포함하고 있다. 2016년에 설립된 유럽 연합을 위한 도시 아젠다(암스테르담 협정)는 도시 개발의 주요 측면으로 문화유산을 통합한다. 모든 건축문화유산이 도시에만 있는 것은 아니지만 향후 개조 재이용될 건물들의 대부분이 도시에 집중되어 있다. 그 건물들은 지속가능한 도시개발에 있어서 중요한 존재다.

1.4. 문화유산은 도시를 만든다.

문화유산은 전세계 도시 지역의 경제 발전과 장소 만들기 운동을 위한 자원이다 (Montgomery, 2003; Richards, 2011). 예를 들어 주요 도시 (예 : 파리, 비엔나, 뉴욕, 두바이 등)에는 문화 역사를 보존하고 상업 지구의 기능을 확보함으로써 관광객을 유치하는 역사 지구가 있다. “역사 도시는 지속 가능한 관점에서 성장 잠재력이 높은 문화적 가치와 경제적 가치를 모두 갖춘 자산을 보유하고 있다.” (Girard, 2014) 또한 문화유산 유적지는 고대의 것이거나 그렇지 않을 수도 있다. 예를 들어, 현대적 고층 빌딩은 말레이시아와 홍콩의 문화적 특징이다. 문화, 문화유산 및 문화 유적지와 지속 가능한 발전에 대한 그들의 기여는 점점 더 연구의 초점이 되고 있다 (Dessein et al., 2015; Guzmán et al., 2017; Hill, 2016; Melo, 2012; Soini and Dessein, 2016; Throsby, 2017; Vélez et al., 2016; Wright and Eppink, 2016). Barthel-Bouchier의 책 Cultural Heritage and the Challenge of Sustainability (문화유산과 지속가능성의 도전)은 새로운 분야에 대한 설득력 있는 개략적 실체이다 (Barthel-Bouchier, 2016). 2011년 유네스코 보고서인 “Recommendation on Historic Urban Landscape (역사 도시의 경관에 대한 권장 사항)”은 다음과 같이 역사 도시의 경관을 설명한다: “역사 도시의 경관은 더 넓은 도시 맥락과 지리적 환경을 포함하기 위해 “역사적 중심”이나 “양상불 “을 넘어서, 문화 및 자연의 가치와 속성이 역사적으로 적층된 결과로 이해되는 도시 지역이다. 유네스코의 권장사항은 국제 사회의 문화와 도시에 관한 논쟁이 복잡하고 상호 얽힌 것으로 구성하고 있음을 보여준다.

1.5. 개조 재사용 연계

건축문화유산의 개조 재사용은 위에서 설명한 주요 추세와 연계되며 본질적으로 복잡하다. 주제의 중요성이 점점 커지고 있다 (Alikhani, 2009; Aytac et al., 2016; Boeriet al., 2016; BullenandLove, 2011a, b; Camociniand Nosova, 2017; Hein and Houck, 2008; Ijla and Broström, 2015; Rodrigues and Freire, 2017; Wong, 2016). 연계된 이슈로 도시 환경에서 (문화유산의 가치가 있거나 없는) 건물의 개조 재사용은 학제적(transdisciplinary) 사고를 필요로 한다. 학제 간 접근은 보편적이고 다각적인 문제 (무질서 문제)를 해결하기 위해 학제 간 지식을 끌어낸다. 이 연구는 실제로 광범위하게 신봉되지는 않지만, 개조 재사용 건물의 환경적 이점을 확립한다. 개별 건물 및 메타 분석에 대한 연구에 따르면 에너지 소비량, 이산화탄소 및 기타 온실 가스 배출량, 화석 연료 소비량, 담수 소비량 및 재료 사용량이 크게 감소했다. 여러 분석들은 기존 건물의 개조 재사용이 환경에 유익하다는 것을 증명하였다(Assefa and Ambler, 2017; Baker et al., 2017; Bullen and Love, 2010; Elefante, 2007; Kubbingaetal., 2017; MunarimandGhisi, 2016; Thornton, 2011). 환경 편익의 주요 원동력은 “구체화된 에너지 (embodied energy)”인데, 이는 초기에 건물을 건설하는 데 필요한 누적 에너지 투입량 (Hammond and Jones, 2008)과 건물 사용 중에 소비되는 공정/운영 에너지이다 (Cabeza et al., 2013). 재사용으로 줄일 수 있는 이산화탄소의 양 또는 기존 건물을 짓기 위해 사용된 에너지와 재료의 이산화탄소량으로 계산된 구체화된 에너지는 건물 수명에 유리하게 작용한다. 도시의 건물 수명은 수백 년에 걸쳐 지속될 수 있으며, 현대식 콘크리트 및 철골 건물은 유지 보수에 따라 장수명화 할 수 있다. 중대한 유의점은 환경적 장점이 있지만 이러한 장점의 실현을 보장할 수 없다는 것이다. 첫째, 기존 건물의 재사용이 새로운 건축에 대한 요구와 욕구를 완전히 감소시킬 수 없다 (CooperandGutowski, 2017). 둘째, 재사용 불가능한 건축문화유산은 예를 들어 배출량이 제로인 건물과 비교할 때 오늘날의 예측 기준 (BullenandLove, 2011a)에 미치지 못할 수 있다. 셋째, 순환 전략 및 개조 재사용은 환경 및 지속 가능

성 혜택을 감안하지 않을 경우, 철거 및 신축보다 더 많은 비용이 발생하는 대안으로 여겨지고 있다.(Bullen and Love, 2011a; Debacker and Manshoven, 2016). 이러한 유의점에도 불구하고 건축문화유산의 개조 재사용은 환경을 위한 승리라는 결론이다. 여기서 제안하는 건축문화유산의 개조 재사용을 위한 포괄적인 CE 프레임워크는 다른 출처의 주요 학습 내용을 집계하고 종합한 독창적인 자료이다. 이런 식으로 전략 설정, 프로젝트 평가, 정책 평가 및 인식 제고에 사용할 수 있는 새로운 도구가 만들어진다. 이는 연계 문제에 대한 적절한 전략이다. 건물 사용자, 프로젝트 관리자, 건축가, 도시 계획자 등도 협업 브레인스토밍에 이 프레임 워크를 사용할 수 있다. 이 프레임워크는 공급망 전반에 걸쳐 개조 재사용 전략의 더 많은 실행을 장려하기 위해 학계 외에 문화유산 개조 재사용과 관련된 건설 산업 종사자를 대상으로 한다. 이 논문은 틈새시장을 다루고 있지만, 광범위한 CE 관련 연구 분야 및 일반 건설 분야와 관련이 있다. 제안된 프레임워크와 그 적용의 중요성을 이해하려면 건물의 개조 재사용에 대한 지속적인 논의 중에 이 프레임워크를 제안하는 것이 중요하다.

2. 연구 방법

연구 방법은 개념적 틀 (그림 1)에 제시된 바와 같이 네 단계로 구성되었다.: 1) 문헌 고찰; 2) 주제에 적합한 CE 프레임워크 선택; 3) 산업의 요소들과 CE 모델을 실현하기 위한 가능한 개입 내용들을 가장 잘 반영하는 건물 수명주기의 단계 정의; 4) 각 단계별 소비되는 재료 자원들을 줄이고 긍정적인 환경 결과를 목표로 하는 새로운 모델에 따라 문헌에서의 개입 내용 종합

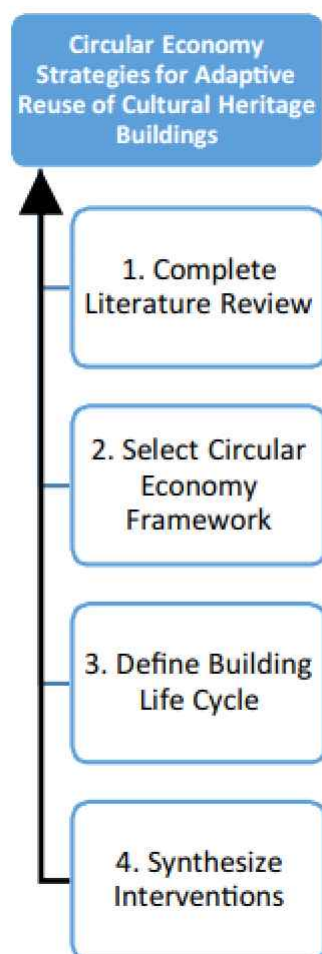


그림 1. 본 연구의 개념적 프레임워크

1) 해당 주제가 광범위한 출판물 영역에서는 새로운 주제이며 틈새영역이므로 체계적이고 반복적인 문헌 검토 과정이 필요했다. 주요 관련 문헌 검색은 2018년 3월부터 9월까지 수행하였다. 학술지 논문과 출판된 도서의 문헌 검색은 여러 데이터베이스 (ScienceDirect, GoogleScholar 및 Web of Science)

를 활용했다. 또한 2018년 3월부터 8월 사이에 “Web of Science Search Alert”가 사용되었다. 검색을 수행하는 데 사용된 핵심 단어는 “적응 재사용”, “순환 경제”, “문화 유산의 개조 재사용”, “건물 및 건설”, “환경영향 평가”, “지속가능성 평가”, “도시재생”, “건설”, “건축 환경” 및 “녹색 건물”이었다.

원본에 수록된 참고문헌 목록으로 부터 추가 논문들을 찾아냈고 구글과 Bing (Bing)의 인터넷 검색은 보충적인 회색 문헌(Grey literature)을 찾아냈다. 그림 2에 제시된 문헌 고찰 과정의 주요 목표는 일반 출판물을 제외하고 가장 연관성이 높은 출판물을 발췌하는 것이었다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 이 과정은 여러 광범위한 장르에서 출발하여 학술지 논문, 회색 문헌 및 서적(녹색 상자로 표시)으로 구성된, 비교적 적은, 중요한 관련 문헌들을 발췌하는 것으로 끝났다. 일반적인 건물의 개조/ 재생의 장르는 광범위하고 이 연구의 범위(왼쪽 첫 번째 노란색 상자)를 벗어난다. 건물의 개조 재사용에 관한 일반적 출판물과 건물의 환경적 결과를 개선하기 위한 전략들이 이러한 틈새시장에 연관되어 있다. 그러나 이 장르는 연구 목적을 넘어선 관계로 2점 채점으로 표시했다. 마찬가지로 건물의 환경 성능을 개선하기 위한 전략(파란색 2점 채점을 가진 녹색 상자 오른쪽의 파란색 상자)에 대한 문헌이 관련되지만 일반적으로 이 연구의 범위를 벗어난다.

이 연구와 직접 관련 있는 범주는 다음과 같다. 1) 건축문화유산의 개조 재사용; 2) 건축 및 건설 부문의 순환경제 전략; 3) 지속가능한 도시 개발을 가능하게 하는 문화 및 문화 유산.

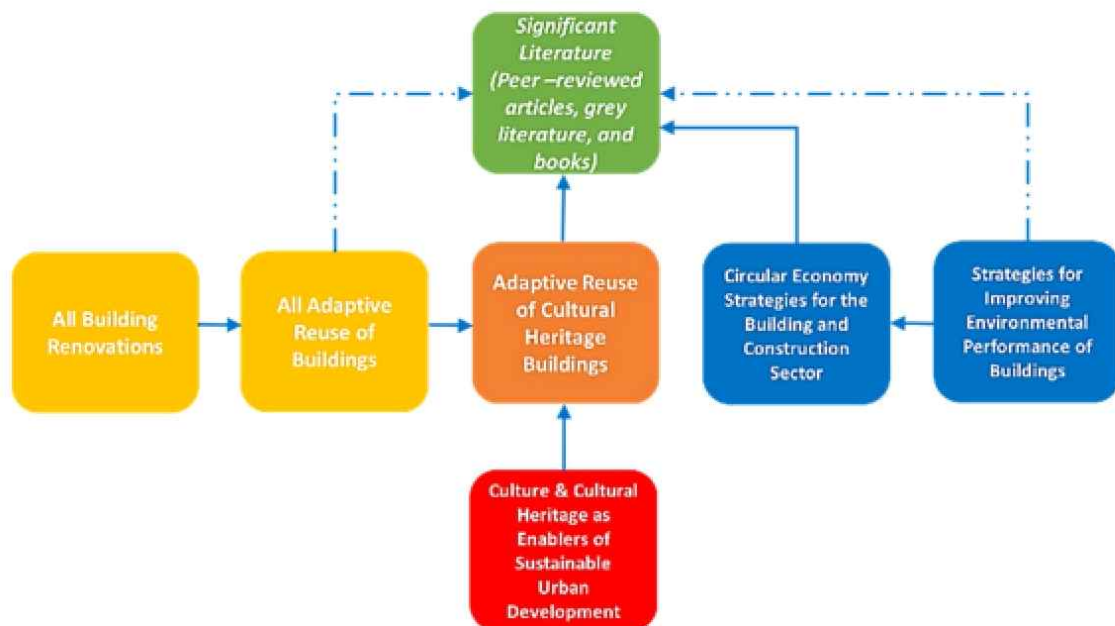


그림 2. 문헌고찰 과정은 중요한 문헌(녹색상자)의 틈새를 확인했다.

3. 문헌 고찰

3.1. 연구의 필요성

전반적으로 문헌검토를 통해서 건물의 개조 재사용과 관련된 분야에서 연구 필요성과 연관 문헌을 도출하는데 현실과의 미묘한 차이점에 대한 식견을 확보한다. 다음과 같은 세 가지 명확한 연구내용의 현실 괴리점 들이 문헌에서 식별되었다.

1) CE 담론이 급속히 확대되고 있지만, 일반적으로, 건축 부문에서 CE의 정의와 구현 방법에 관한 지식 부족으로 CE 실행에 어려움을 겪고 있다. 최신 기술에 대한 최근의 분석에 따르면 CE를 전달하는 방법론은 훨씬 더 불투명하고 불확실하며 (De Jesus and Mendonça, 2018) 이러한 장벽들에는 건설 및 파괴 (C & D, construction and demolition) 폐기물 관리 “ 분야에서 CE에 대한 부적절한 인식, 이해, 통찰력을 포함한다 (Mahpour, 2018). Adams 등의 조사 결과는 건설 산업에서 CE 채택 과정에서 인식 부족으로 어려움을 겪고 있음을 피력하고 있는데 “고객, 설계자 및 하청업체”에게 전달하는 정보제공이

가장 적다 (Adams et al., 2017)라고 주장한다. 제안된 프레임워크는 미시적 수준에서 인식과 기술 향상에 개입하기 위해 고안되었다.

Ghisellini 등(2016)은 미시적 수준에서의 CE 개입 분야를 기업 및 고객으로, 중규모 수준에서는 산업단지로, 거시적 수준에서는 도시, 지역 또는 국가로 정의하였다 (Ghisellini et al., 2016). 여기서 건물은 미시적 수준을 나타내며 이 때의 개입행위는 건축문화유산의 개조 재사용에 관여하는 행위자 (문화 유산 관리자, 건축가, 토목 기술자, 건물주, 계약자, 도시 계획자 등)에게 유용한 지식을 제공한다.

2) 건설 분야에서 CE에 관한 문헌은 공급망의 한 단계, 일반적으로 최종 단계에 대한 것에만 중점을 두어 단편화된 경향이 있다. 이 단계에서 중요 주안점은 종종 재생과 재사용으로서 건설 및 철거 폐기물의 매립을 줄이는 것이다 (Adams et al., 2017). Ghisellini의 철저한 문헌 검토로 C&D 폐기물에 관한 70편의 학술 논문을 찾았다 (Ghisellini et al., 2017). 수명주기에 초점을 둔 논문들은 구체화된 에너지 및 온실가스 배출에 관한 환경영향을 덜 다루는 경향이 있다 (Pomponi, 2016). 대조적으로 현 연구는 에너지 효율, 기후 변화 적응성, 물 효율을 포함하는 광범위한 환경 결과물들에 대한 건물 공급망의 각 단계별 순환성 전략들을 식별하는 일관되고 포괄적인 프레임워크를 제안함으로써 이러한 차이를 해결한다. 이는 독특한 방법이다.

3) CE 관련 학술 문헌은 저해요인들과 LCA와 같은 일반적인 방법, 기술적 제안, 블록체인 어플리케이션들과 같은 폐쇄순환 자원구조와 연관된 기술적 제안에 초점을 둔다. CE 관련 학술적 문헌은 프로젝트 관리자가 CE 구현을 위해 취할 수 있는 특정 조치 및 활동을 다루는 것을 기피한다. 한편, “설계 도구와 지침”은 “산업 전반에서 건설 CE를 구현할 수 있는 가장 중요한 잠재요소들 중 하나임이 확인되었다. (Adams et al., 2017) 또한, De Jesus와 Mendonça는 “학술 문헌은 여전히 CE로의 전환을 위한 기술 혁신의 역할에 초점을 맞추고 있는 것 같다.” 는 것을 확인했다 (De Jesus와 Mendonça, 2018). 이는 미시적 수준에서 기술 혁신을 관리하고 적용하는 역할이 자주 무시되기 때문에 중대한 과리가 된다. 거시적 수준에서 미시적 수준으로 CE를 축소해야한다. CE 문헌은 미시적 수준의 전략과 행동에 거의 초점을 맞추지 않았다. 건물 및 건설 부문의 경우, 미시적 수준의 전략은 CE 관련 문헌이 아닌 건축, 개조, 재활 및 설계 관련 문헌에서 나타났다. 이 연구는 CE를 구현하는 특정 전략들을 강조함으로써 이러한 내용들을 짜임새 있게 다룬다.

위에서 정의된 세 가지 연구 틈새들은 건축문화유산의 환경 영향을 줄이기 위해 명시적으로 제안한 순환 전략들의 필요성을 확인시켜준다.

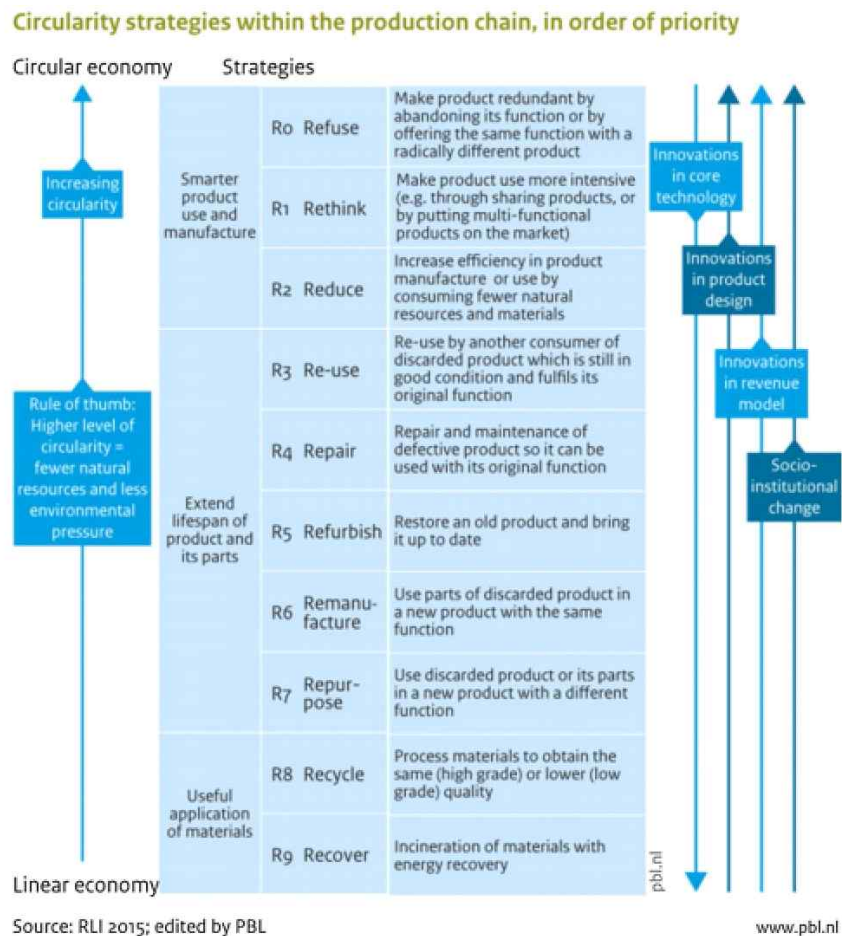


그림 3. 건축문화유산 재활용을 위해 차용한 순환전략

3.2. 관련문헌 고찰

표 1은 오늘날의 최신 기술을 종합적으로 나타내고 현재 연구의 토대를 마련한 여러 출판물(8편의 논문, 3권의 보고서, 2권의 보고서)에 대한 설명이다.

표 1. 건축문화유산 개조 재사용을 위한 CE 전략들과 관련된 문헌들

Table 1
Relevant Literature Regarding CE Strategies for Adaptive Reuse of Cultural Heritage Buildings.

Citation Data	Main contribution to the literature	Main relevant results	Methods used	Limitations relevant to the present study	Strategy Source?
Papers					
Conepos, Shella. "Designing for future building adaptive reuse." (2013).	This important publication provides criteria for future adaptive reuses of new buildings from the point-of-view of design and develops the rating tool adaptSTAR. Describes Sustainability Assessment Methods and highlights that the majority of these are for new buildings.	The paper highlights two main goals of a CE approach, long life and the ecological footprint.	Survey, literature review, case studies, Empirical analysis	Conepos highlights environmental impacts that are linked to the design phase, e.g., design for "ecological sustainability objectives and helps minimize ongoing habitat disturbance." However, it is not the task of the paper to provide strategies at every stage of the lifecycle as the proposal does.	Yes
Heidrich, Oliver, et al. "A critical review of the developments in building adaptability." <i>International Journal of Building Pathology and Adaptation</i> 35.4 (2017): 284–303.	Conveys the "state-of-the-art". The paper is not about circularity, but distils the theory and models behind building adaptability to the layers social, space, stuff, plan, services, skin, structure, site, surroundings.	It clarifies the dimensions and strategies of adaptability and notes the most cited adaptability characteristics.	Literature review	The paper highlighted the interactions between building layers. The adaptability strategies for layers were useful in developing the framework.	Yes
Ghisellini, Patrizia, Maddalena Ripa, and Sergio Uglati. "Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review." <i>Journal of Cleaner Production</i> 178 (2018): 618–643.	This in depth discussion of C&D wastes applies the CE framework to C&D wastes using the 3 Rs: Reduce, Reuse, and Recycle. The article also reviews methods used in the literature to determine environmental impacts and environmental and economic costs.	This article applies a product life cycle approach to waste, an important measurement of the CE approach. The authors confirm that "refurbishing seems to provide lower environmental impacts than demolition and new construction", but is "less competitive in economic terms than new construction" (Ghisellini et al., 2017).	Literature Review	Although waste, at the end of life phase is an important measure of environmental impact relevant to CE for example carbon and energy. Also, the 3Rs, is a narrow interpretation of CE principles, whereas the R0 to R9 strategies described by Potting et al. as adapted herein is a more structured, detailed, and useful approach for understanding CE in construction in general, and adaptive reuse in particular.	Yes
Adams, Katherine, et al. "Circular Economy in Construction: Current Awareness, Challenges and Enablers." (2017).	The authors survey industry participants to gauge their awareness, challenges and enablers regarding CE strategies.	In addition to their main research results, which establish a significant gap in knowledge in the field, the authors published a concise table of CE aspects across a building's life cycle stages.	Survey and analysis of the literature.	The table of circular economy that Adams, et al. derives from the literature is the closest example to the current proposal identified. However, it does not apply or interpret the strategies using the R0-R9 concept.	Yes.
Punponi, Francesco, and Alice Moncaster. "Circular Economy for the Built Environment: A Research Framework." <i>Journal of cleaner production</i> 143 (2017): 710–18.	This article proposes a framework for CE research for the built environment. However, it does not discern the conditions and strategies for CE in the construction sector in a framework.	The framework assigns manufactured components to the micro level, buildings to the meso level and cities to the macro level.	Literature review	In contrast, the present study agrees with (Ghisellini et al., 2016) that the micro level is products and in this case buildings are the micro level in a transition to a sustainable built environment. In contrast, the current study places the strategies in a CE framework.	No
Punponi, Francesco and Moncaster, Alice. "Embodied Carbon Mitigation and Reduction in the Built Environment-What Does the Evidence Say?" <i>Journal of Environmental Management</i> 181 (2016): 687–700.	The authors discuss seventeen diverse embodied CO ₂ mitigation strategies that they gleaned from the literature.	Their study showed that a range of strategies is needed, as no one strategy was effective in embodied CO ₂ reduction.	Literature review and meta-analysis	The article presents a deep analysis of embodied CO ₂ across all life cycles. However, it is not combined with other potential environmental impacts, focusing only on low-carbon impacts.	Yes
Aytac, D. O., T. V. Arslan, and S. Durak. "Adaptive Reuse as a Strategy toward Urban Resilience." <i>European Journal of Sustainable Development</i> 5.4 (2016): 523–32.	Proposes design considerations for the adaptive reuse potential of existing buildings incorporating the theories of resilience from ecology and building layers from architecture.	The main relevant results are mapping the layers to the adaptSTAR criteria. The theoretical development proposed for the "resilient adaptive reuse strategies" is interesting and fits well with CE concepts.	Theoretical study	As the article notes, detailed criteria are needed for the building layers "based on building life and product life cycles". The current proposal fulfills this need to some extent as it fits detailed strategies into a product life cycle frame.	No

(continued on next page.)

Table 1 (continued)

Citation Data	Main contribution to the literature	Main relevant results	Methods used	Limitations relevant to the present study	Strategy Source?
Munari, Ulises, and Eneide Ghisi. "Environmental Feasibility of Heritage Buildings Rehabilitation." <i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i> 58 (2016): 235–49.	This study discusses environmental impacts avoided by reuse of existing buildings using the lens of life cycle analyses (LCA). The foci are mainly energy consumption and embodied CO ₂ .	The paper confirms the environmental benefits of adaptive reuse of buildings. The authors find that LCA is a reliable indicator of environmental impact.	Literature Review	Discrete strategies are not the paper's focus. Instead it reviews existing LCA methodologies and regulations. The extended building life cycle concept described is different from the framework's life cycle approach. Munari et al.'s approach is not fully circular, although it targets the end-of-life as the phase for recycling, reuse, and rehabilitation as a new phase. However, the authors share the same research motivations and observations about the field as the present study.	No
Berthold, Étienne, Juste Rajanenson, and Georges A Tanguay. "Using Sustainability Indicators for Urban Heritage Management: A Review of 25 Case Studies." (2014).	Identifies the most frequently used indicators including CO ₂ emissions, recycling materials, reducing resource and materials consumption, environmental and ecological awareness, implement low pollution, energy efficient infrastructure, and environmental quality of area.	Culls the longer list of most frequently used indicators to 20 key indicators of sustainable urban heritage conservation, such as "Viability of recycling existing materials"	Reviewed 25 case studies.	This review does not apply a circularity perspective or identify strategies to carry out the indicators.	Yes
<i>Grey Literature</i> Frey, Patrice, et al. "The greenest building: Quantifying the environmental value of building reuse." <i>Preservation Green Lab, National Trust for Historic Preservation</i> (2011).	This is the most complete report to date on the topic. It is cited frequently in the literature because it sets out a clear rationale for environmental benefits of building reuse.	Defines the phase of a building life cycle with the highest environmental impacts. Quantifies the environmental impacts of renovation as a percentage of new construction.	Compares Demolish vs Reuse case studies using Life Cycle Assessment	Although the analysis is not specifically circular it provides an overview of the life cycle stages and identifies the operating phase as the most important. This is particularly important as the environmental impacts of the operating phase; beyond energy efficiency is often neglected in adaptive reuse studies. Therefore, this paper leads to the use and operate phase should being emphasized here. The focus of this article is empirical analysis of potential environmental benefits such as CO ₂ savings from reuse projects not how to achieve the benefits.	No
Kubbinga, Ben, et al. A Future Proof Built Environment. Netherlands Circle Economy and ABN AMRO, 2017.	The Dutch bank ABN AMRO and social enterprise Circle Economy review the implications of the CE approach for the construction industry with a Dutch perspective emphasizing the construction of the CIRCL ABN AMRO building in particular. The report poses the important question, "Why are Design/Build for Change and Circular Economy not yet (fully) integrated in the current building practice and related policy?" The research determines that circularity in the building sector requires strong interactions between all main phases. Also, the authors observe that the industry is conservative, slow to change, and circular solutions are considered too expensive.	Excellent overview of the issue that identifies new value chains in adaptive reuse.	Business report	The framework incorporates the new value chain models as strategies.	Yes
Debacker, Wim, and Saskia Manthoven. "D1 Synthesis of the State-of-the-Art." Key barriers and opportunities for Materials Passports and Reversible Design in the current system. 2016		Based on their observations, the authors characterize the building life cycle phases as "design, build, use and repurpose" and describes the sub-phases of each phase. Provides an in-depth description of actors and their roles at each phase.	European Union Project report for the Buildings as Material Banks Project	This report provides ample evidence that the proposed framework would be useful to multiple actors in the sector. The proposed framework agrees with this report that the design phase is critical. In contrast, the proposed framework includes the phase of raw material extraction.	Yes

(continued on next page)

Table 1 (continued)

Citation Data	Main contribution to the literature	Main relevant results	Methods used	Limitations relevant to the present study	Strategy Source?
MacArthur, E., K. Zumwinkel, and M. R. Stuchley. "Growth within: a circular economy vision for a competitive Europe." Ellen MacArthur Foundation (2015).	This report explores future development scenarios for major industries including the building sector in Europe. Each scenario's output is measured in total consumer output (TCO). The report promotes the RESOLVE framework (Regenerate, Share, Optimize, Loop, Virtualise, Exchange).	According to this report, a circular scenario for the building sector might reduce TCO by 50%. Articulates a circular city/built environment vision.	Scenario analysis with economic modeling	The present work is narrower in scope, does not use benefit calculations, and offers readers many more practical strategies.	Yes
<i>Books</i>					
Description of book Wilkinson, Sara J., Hilde Remsey, and Craig Langston. Sustainable building adaptation: Innovations in decision-making. John Wiley & Sons, 2014.	This book concentrates on commercial buildings adaptive reuse case studies. It clearly explains and links between theories for building adaptive reuse and sustainability. It is essential reading for architects and design experts interested in the topic.				Yes
Carroon, J. (2010). Sustainable preservation: Greening existing buildings. John Wiley & Sons.	This book covers all theoretical and technical aspects of the topic including energy, resource optimization, and waste reduction. It is an essential resource for a more technical audience.				Yes

4. 결과: 건축문화유산의 개조 재사용을 위한 순환경제 전략

4.1. 건물 생애주기 정의

이 연구의 프레임워크는 방법론 절에서 논의된 것처럼 프레임워크는 서론부에서 논의된 개조 재사용의 환경적 이점을 포착하기 위해 선형 제품 공급망을 건물을 위한 순환형 제품 공급망으로 변환시키는 것이다. 방법론 3단계인 선형 제품 공급망인 “건물 생애주기 정의”는 사소한 것이 아니다. 건물의 제품 공급망을 정의할 수 있는 통일된 방법은 없다. 심지어 LCA 방법론을 적용할 때도 그렇다. 게다가, 문제의 건물 생애수명주기를 정의하면 CE 프레임워크 (R0-R9 전략들)를 구현하는 개입/ 활동에 대한 기회와 제약이 정의된다. 프레임워크는 건물과 건설 부문에서 다양한 생애주기 분석들을 넘어서 포괄하는 개념이다. 이는 그 분석들은 자원 추출에서 시작해서 시공으로 끝나는 것을 의미하는 요람에서 게이트까지(cradle to gate)적용된다. 생애주기분석을 조직화하는 또 다른 방식은 매우 이른 초기 단계와 제품의 유용한 수명의 끝 단계에서 환경에 대한 영향을 의미하는 요람에서 요람까지 cradle-to-cradle (역자 주: 이는 CE를 대표하는 개념이다,)이다. 이 연구는 비록 LCA는 아니지만 요람에서 요람까지의 관점을 취한다. 이는 건축 환경에서 구체화된 탄소 발생 완화에 대해 수행한 LCA 분석은 Pomponi와 Moncaster의 분석에 의해 불완전하다는 것이 증명되었기 때문에 중요하다. 그들은 “점유 단계와 건물 수명이 다했을 때의 영향은 종종 완전히 간과되고 있다.”고 진술하였다 (Pomponi and Moncaster, 2016). 이 프레임워크는 이러한 재난을 회피한다. Munarim 등은 재생(rehabilitation)을 기존 건물 수명주기의 "새로운 단계"로 정했다 (Munarim and Ghisi, 2016). 이 프레임워크는 이 방식을 취하지 않는 대신에 CE에서는 개장(refurbishing (R5))과 유사한 전략으로 재활단계를 정립했다.

해당 분야의 다른 연구와 유사하게 프레임워크에 건물 수명주기의 뚜렷한 단계로서 설계가 포함된다 (Debacker and Manshoven, 2016; Ghisellini et al., 2017). 건물이 궁극적으로 어떻게 실현, 사용, 개조, 재사용 및 철거되는지에 대해서는 설계가 대단히 중요하다. 건축 프로젝트의 큰 규모로 인해 외관과 창문과 같은 건물의 주요 면이 맞춤형으로 결정되므로 설계 단계는 자연에서 추출한 재료와 자원을 직접 적용한다. 그럼에도 불구하고, 설계 단계는 LCA 건물 공급망에서 종종 제외된다. 이러한 이유로 제안된 프레임워크는 설계와 건축자재조달을 별도의 단계로 지정한다. 이 연구에서 정의된 건물 수명주기는 친숙한 것이다. 이 단계는 광범위한 환경 영향 및 순환 전략을 동화시키기 위해 평소보다 더 포용하려고 노력하지만 LCA 분석에 대한 일반적인 이해를 바탕으로 한다. 그림 4는 건물 수명주기 단계를 선형 생산 공급망으로 묘사하여 전통적 (비순환형) 관점을 보여준다.

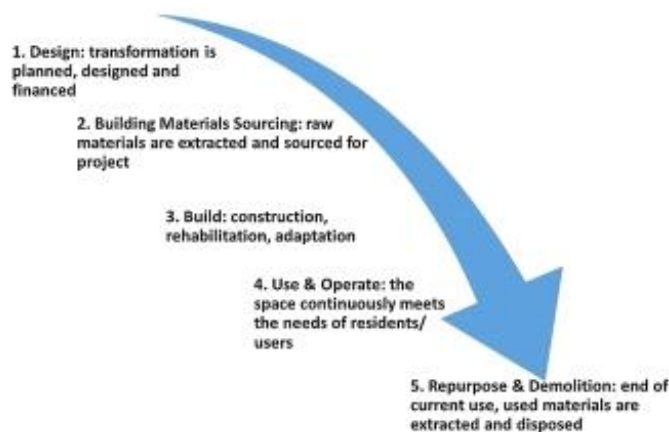


그림 4. 선형 공급망으로서의 건물 생애주기 단계

4.2. 건물 생애주기 내 참여자들

이해 관계자들의 참여와 포용 원칙들은 지속가능한 개발 이론, 현대 건축, 도시 계획의 이론에서 중요하다. 따라서 건물 주기의 각 단계에서 프레임워크의 잠재적 사용자들은 이 작업에서 중요한 관찰자들이다, 잠재적 프레임워크 사용자들은 개조 재사용 프로젝트의 직·간접적 참여자들이다. 각 단계의 참여자들은 프레임워크를 참조 및 청사진으로 활용할 수 있다. 따라서 “참여자”와 “사용자”는 참고

문헌에서 공통적으로 언급된 이해관계자들과 일치하는 포괄적인 개념이다 (Aapaoja and Haapasalo, 2014; Adams et al., 2017; Debacker and Manshoven, 2016; Hobbs and Adams, 2017; Kubbinga et al., 2017). 여기에는 프로젝트 비용 및 수익에 대한 재정적 이해관계가 있는 참여자들뿐만 아니라 사용 및 운영 단계에서 부동산 수익에 기여할 수도 있는 비참여자도 포함된다. 표 2는 각 단계별 설명을 참여자들과 연계한 것으로 각 프로젝트 이해관계자의 식별과정이 독자적이므로 참여자 목록이 과하지 않게 설명되고 일반화되었다.

표 2. 건물생애주기단계 참여자들과 프레임워크 사용자들

Phases	Participants/Framework Users (in no particular order)
Design: transformation is planned, designed and financed	Project lead team-responsible for project, may include the owners and combination of the following participants. Owners Project financiers/Bankers Head Architects Historic Preservation Architects Local cultural heritage experts Architectural conservation experts Experts in traditional building techniques (wood framing, stone and lime mortars, plasterwork, etc.) Contractors and Subcontractors Local & regional government planning officials Local & regional government regulators Residents, tenants, and users (if accessible to the general public, people who use the space for recreation, etc. e.g., public park) Neighborhood & regional residents
Building Materials Sourcing: raw materials are extracted and sourced for project	Architects Contractors Procurement experts Regional materials suppliers (foresters, saw mills, quarries, thatch materials dealers, recovered construction materials dealers) Local manufacturers of components, glass, doors, windows, tiles, carpets, metalwork, etc. Companies for waste and materials recovery including collection, sorting, and selling and reselling
Build: construction, rehabilitation, adaptation	Regional/Traditional Artisans (masons, carpenters, joiners, millwrights, weavers, plasterwork, plaster decorations for facades, metalwork, shinglers, etc.) Architects Contractors and Subcontractors Suppliers Owners Local cultural heritage experts Architectural conservation experts
Use & Operate: the space continuously meets the needs of residents/users	Residents Commercial renters Owners Neighbors Users Visitors (for example museum, library, exhibit, aquarium, etc.) Utility operators that provide energy, water, and waste disposal, for example
Repurpose & Demolition: end of current use, used materials are extracted and disposed	Project lead team-responsible for project, may include the owners and combination of the following participants. Owners Architects Companies for waste and materials recovery including collection, sorting, selling and reselling Energy firms Landfills Local & regional government planning officials Local & regional government regulators

4.3. 환경 영향을 감축하기 위해 건축문화유산의 개조 재사용을 위한 순환경제 전략

이 절은 이 연구의 핵심 결과를 제시한다. 프레임워크는 3.1절에서 논의된 연구 필요성을 해소하기 위해 의도적으로 깊고 범위가 좁은 형식을 취한다. 이 솔루션은 개조 재사용 건물의 수명주기의 모든 단계에서 이해 관계자들을 위한 기존 도구를 제공한다. 이 프레임워크는 그림 5에서 요약된 포팅(Potting) 등이 고안한 스키마를 기반으로 한다. 순환성이 높을수록 재료가 제품 가치 사슬에 더 오래 남아 있고 더 많이 사용되며, 재료를 거부하는 경우 절대 가치 사슬에 들어가지 않는다. 순환성의 주요 목표는 환경에서 재료의 새로운 채취를 줄이는 것이다. 더 높은 수준의 환경성을 달성하는 전략은 프로젝트 계획에서 우선순위가 높아야 한다. 즉, “스마트 빌딩 사용 및 제조”에 해당하는 녹색 구역의 전략은 “유용한 재료 적용”에 해당하는 주황색 구역의 전략보다 더 많은 순환성을 부여한다. 이는 건설 산업에서 대부분의 실제 순환 방식이 재활용 및 복구를 위한 것이기 때문이라는 사실과 관련이 있다. 분석은 다음과 같이 원래 저자가 고안한 것과 다른 방식으로 스키마를 적용한다. 포팅(Potting) 등은 건축 부문과 순환 도시 개념에 대한 순환성을 언급하면서 R1 ~ R9 만 가능한 전략으로 도출하였다. 현재의 프레임워크는 기존 건물의 재사용을 고무하고 설계 단계를 포함하므로 R0 “재사용 자재”도 탐색한다. 이 연구에서 R0 전략은 강력한 순환성의 엔진이고 실제로 가장 중요한 성과이며 지속가능성과 마

참가지로 순환성을 향한 혁신적인 진보를 나타낸다.

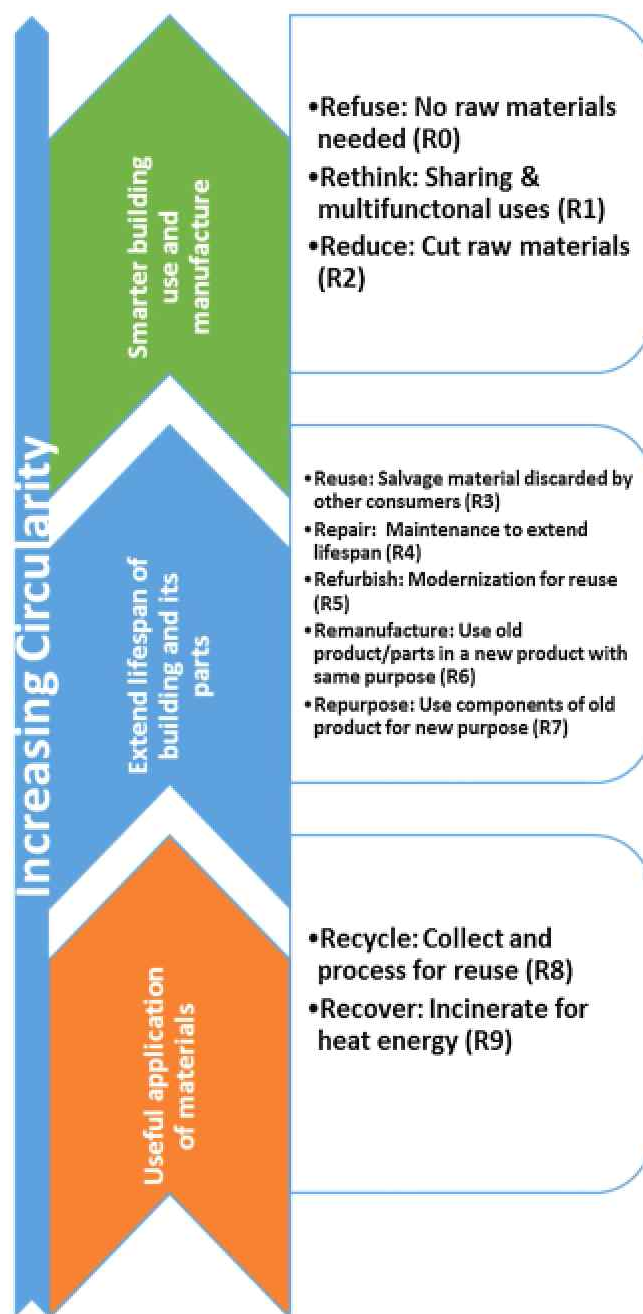


그림 5. 우선순위를 나타내는 오름차순 순환 전략

4.4. 프레임워크의 실행

계획된 프레임워크 구현에는 두 가지 중심 목표가 있다. 먼저, 문화재 개조 재사용 프로젝트의 참여자들은 이 프레임워크로 프로젝트가 달성할 순환 수준을 측정할 수 있다. 참가자들은 “재료들의 유용한 적용”에 현재의 계획이 포함되었는지 또는 “스마트 빌딩 이용 및 제작”과 같은 높은 수준의 순환을 달성할 수 있는지 평가한다. 프로젝트는 순환 수준을 높이기 위해 프레임워크에 추가 전략을 포함시키도록 선택할 수 있다. 이러한 방식으로 프레임워크는 참여한 모든 전문가나 비전문가들에게 간단한 지침을 제공한다. 문헌분석을 통해 CE 실행법에 관한 대한 지식이 부족하다는 결론이 나왔으므로 이 지침이 필요하다 (De Jesus and Mendonça, 2018; Mahpour, 2018). 이 프레임워크는 프로젝트의 순환 수준을 평가하기 위한 방법론을 제공하고 문화재 개조 재사용 프로젝트를 위한 CE 실현을 위한 지침을 제공한다.

가변적 융통성은 프레임워크의 중요한 기능으로 참가자는 건물 생애주기 교육, 평가 및 개선의 모든 단계에서 프레임워크를 사용할 수 있다. 예를 들면, 이미 사용 및 운영 단계에 있는 프로젝트 팀은 다

은 단계와의 연계 방식을 고려하여 목록화된 전략들로 시작할 수 있다. 게다가 그 팀은 다른 단계의 적절한 참여자들을 확인하기 위해 표 2를 이용할 수 있다. 예를 들어, 사용 및 운영 단계의 “재활용 재료와 바이오매스 수거가 용이한 최적 시설을 제공”이라는 전략은 네 가지 다른 단계들과 연결되고 거주자, 지방 자치 단체 및 재료 재생 회사를 포함한다. 그림 7은 어떤 전략을 다수의 단계들과 연결하는 화살표가 있는 세 가지 예를 보여준다.

Circular Economy Strategies for Adaptive Reuse of Cultural Heritage Buildings to Reduce Environmental Impacts

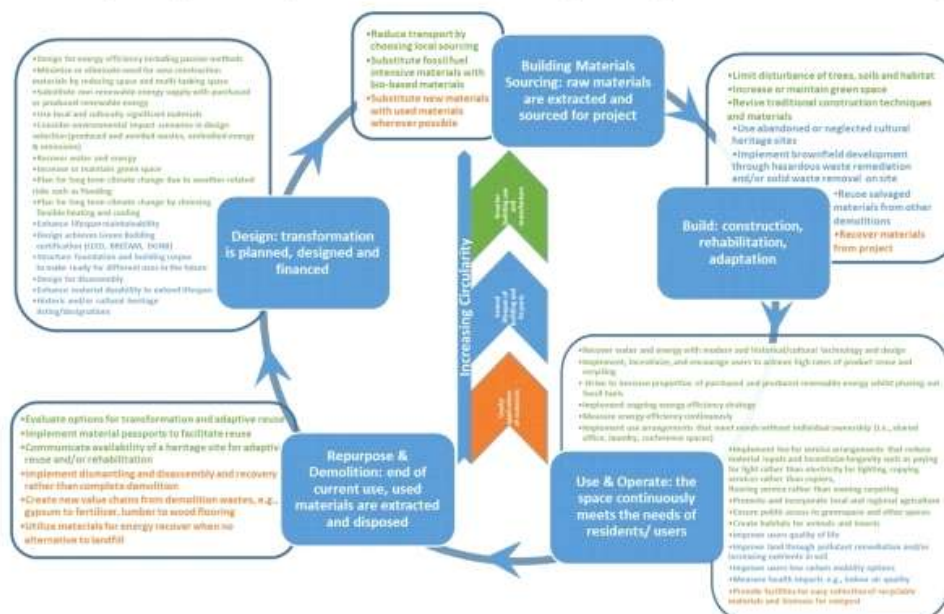


그림 6. 환경영향 절감을 위해 건축문화유산 개조 재사용을 위한 순환경제전략들

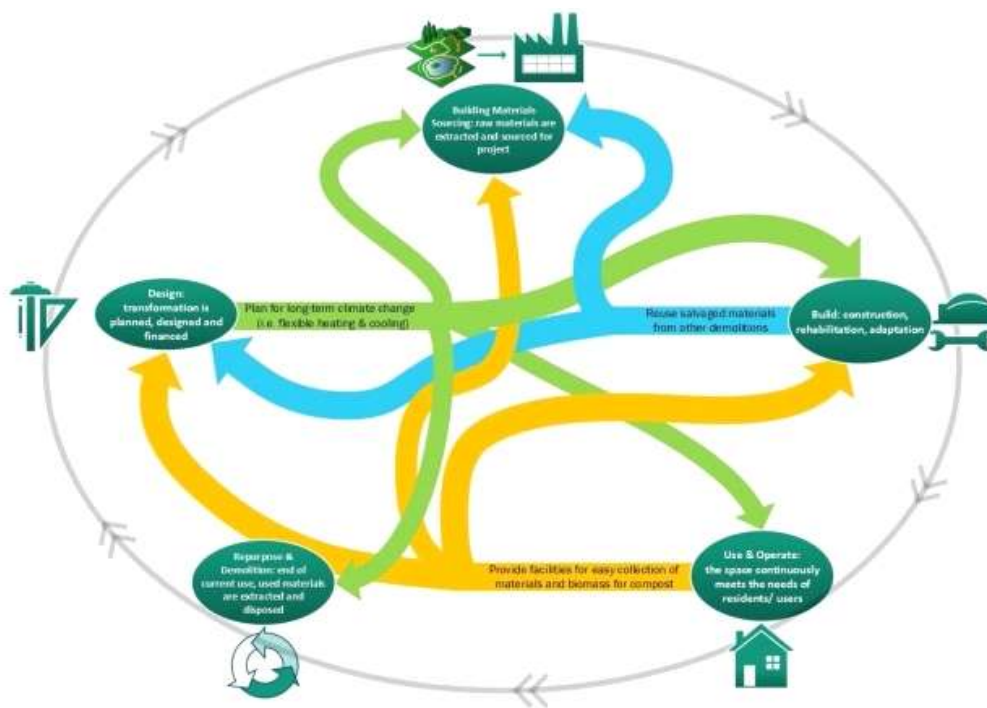


그림 7. 강조된 건물 생애주기 단계들을 연결하는 세 가지 전략들

5. 논의 및 결론

이 연구는 문화유산 보존 및 환경 영향을 다루면서 기존 건물의 순환 전략에 대한 새롭고 포괄적인 프레임워크를 정립한다. 결과는 관련 문헌의 구조적 검토와 종합을 통해 도출되었다. 프레임워크 디자인

인은 간단하고 이해하기 쉽다. 이는 건물 수명주기의 모든 단계에서 참가자와 비참가자로 구성된 프로젝트 팀을 위한 실용적 도구이다. 프로젝트 팀은 이것을 다음과 같이 사용해야 한다.: 1) 프로젝트 개발 시작 시 계획 및 평가 도구; 2) 다른 방식들과 결합하여 탐색 범위 지정; 3) 사후 프로젝트에 대한 순환성 검토. 비참가자는 교육 및 정책 개발을 위한 프레임워크를 사용할 수 있다. 예를 들면 건축 프로젝트에서 달성할 수 있는 순환 수준에 대해 공공 전문가에게 알릴 수 있다. 이 연구의 다음 단계는 가설적이고 실용적인 것이다. 가설적으로 프레임워크의 범위는 순환환경 영향 지표와 같이 순환성을 실현하는 데 필요한 추가 주제로 확장될 수 있다. 현재 사용되는 R0-R9 체계는 환경 영향에 적합하지만 다른 주제 (금융, 거버넌스 등)에는 맞지 않을 수 있다. 추가 주제에 대한 상대적 순환 수준을 표현하기 위한 새로운 순위 체계가 필요하다. 실용적 연구는 참여 계획을 통해 실제 프로젝트에 프레임워크를 적용한다. 연구 결과는 활용을 통해 발전하고 향상될 것이다. 순환성을 구현하는 것은 근본적으로 틈새 이니셔티브를 넘어 거시적 수준의 사회적 수용에 이르는 사회적 프로세스이기 때문에 사용자의 피드백을 통합하는 것이 중요하다. 이 연구의 주요 과제는 많은 양의 문헌을 검토하고 중요한 전략을 추출하며 다양한 청중을 대상으로 포괄적인 방식으로 제시하는 것이었다. 이러한 과제를 극복하기 위해 취한 전술은 의도적으로 범위를 좁히는 것이었다. 이 결정에 대한 절충은 연구의 한계이며, 결과는 포괄적이지만 철저하지는 않다. 또한 각 전략은 이 논문에서 다루지 않은 실험의 역사와 맥락을 가지고 있으며, 탄소 배출 감소를 포함하여 환경 영향을 완화하기 위한 솔루션을 가장 잘 보급하기 위해 책 대신 기사 형식과 그래픽으로 정보를 제시하는 것은 신중한 선택이다. 의사 결정자에게, 이 기사 형식은 대부분의 독자들이 전략을 실제로 적용할 수 있는 적절한 기술 지식 (건축가, 엔지니어, 기획자)을 보유하고 있으며 다양한 독자의 요구를 충족시키는 것으로 가정한다. 이 연구의 또 다른 과제는 모든 건축문화유산과 그에 따른 재사용이 독특하고 장소 기반이며 커뮤니티 기반이라는 점에서 보편적인 해결책이 불가능하다는 것이다. 이 도전은 명백할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 그것은 중요하다. 결과는 전략이 상충되는 목표를 달성한다는 것이다. 예를 들어, 녹지 공간을 늘리면 공간 활용도 최대화(밀도 증가)와 충돌한다. 순환성 전략으로 인한 충돌과 이에 따른 반대급부를 신중하게 고려하는 것은 사용자의 몫이다. 결론적으로 순환경제의 목표는 지속가능한 경제로의 거시적 전환이다. 이 연구에 의해 지원되는 미시적 수준의 변환 없이는 이 목표를 달성할 수 없다. 사용된 전체 자원의 규모에 상관없이 오늘날 폐기물 흐름에서 새로운 제품을 만들기 위해 재료의 순환 루프를 폐쇄형으로 하는 데 초점을 맞추는 것만으로는 충분하지 않다. 건설 산업에서 사용되는 처리량과 총 자원의 양을 줄이는 것이 연구의 궁극적인 목표이다. 그러므로 보다 높은 수준의 전략을 장려하는 데 중점을 둔다.

<원문제목> Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts

<원문출처> Resources, Conservation & Recycling