

10 | 순환경제 시대의 OSC: 해체·재사용이 용이한 OSC 건축기술 동향과 시사점¹⁾

① OSC 건축물의 ‘두 번째 생애’와 순환경제

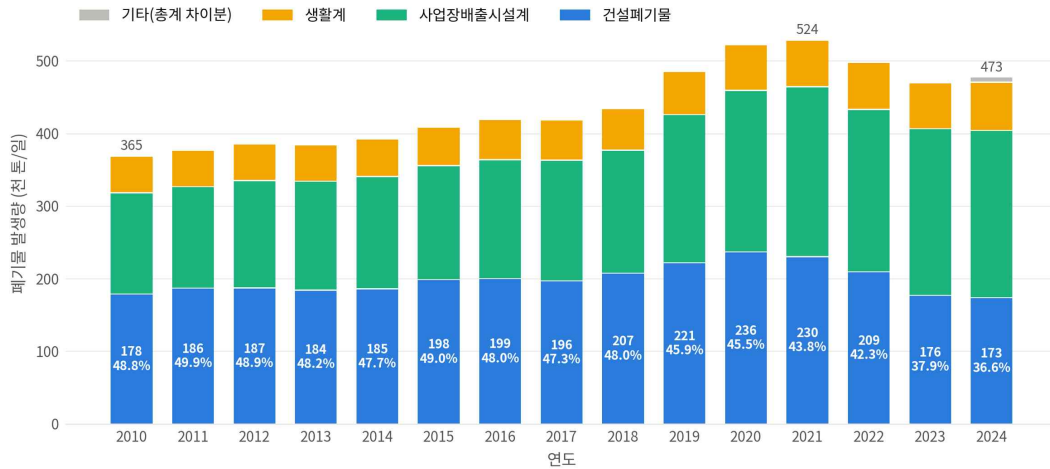
□ OSC 공법은 공장 생산 단위가 곧 재사용 단위이지만, 사용 종료 이후를 다루는 제도·기술의 틀은 부재

- OSC 단위는 일반적으로 1·2차원 부재와 3차원 박스형 모듈로 나뉘며 호주 사례 분석에서는 공장 제작한 강재 모듈을 재사용하면 내재 에너지를 최대 81%까지 줄이는 것으로 보고
 - 정부는 모듈러 특별법을 통해 관련 산업을 활성화하고자 하며, 연 3,000호 모듈러 공공주택 발주 계획과 관련 R&D 등을 지속적으로 수행하고 있음
 - 모듈러 특별법 법안은 표준화 기준·생산인증·건축 인증·진흥 구역·발주 특례 등 보급 기반을 우선 다루며, 재사용·이전 규정은 두지 않았고 가설건축물은 적용 대상에서 제외
 - 임대형 모듈러 교사(임대 종료 후 해체·이동·재설치 용이, 재활용률 등), LH 재난 모듈러 비축 등 사용기간이 정해진 수요가 제도화되어 반납·해체 물량이 구조적으로 발생 가능
- 블록 장난감은 분해해 다시 조립할 수 있지만 공장 조립 모듈러와 PC 부재는 대부분 한 번 쓰고 파쇄되며, 그 차이는 접합을 풀 수 있게 설계했는지, 이력이 남는지, 재사용 안전을 확인할 기준이 있는지에서 비롯됨
 - ISO 20887에서는 접합부를 반복 조립·해체를 견디도록 설계하고 재사용 용도의 수명을 잔존 수명과 비교해 설계에 반영할 것을 요구하므로, 재사용 가능성은 해체가 아닌 설계·제조 시점에 결정됨
 - EU PROGRESS 과제는 이력 문서가 있는 강재는 시험을 최소화하고 문서가 없는 강재는 전수 비파괴시험과 파괴시험으로 재인증하도록 권고

□ 건설폐기물은 국내 최대 발생원이며, 높은 재활용률의 실체는 파쇄 후 순환골재인 하향 재활용

- 2024년 전국 폐기물 472,789톤/일 중 건설폐기물이 173,013톤/일(36.6%)로, 25톤 트럭 약 6,900대 분량이 매일 발생
 - 네덜란드 정부는 2016년에 건설폐기물 재활용률 95% 이상이나 대부분 토목용으로 쓰이고 건축으로 되돌아오는 비율은 3% 미만이라는 진단을 내림
 - EU Level(s)는 직접 재사용 1.00, 재활용 0.50~0.75, 매립 0.01의 순환성 계수로 가중하므로 유닛·부재 통째 재사용은 파쇄 골재보다 2~4배 높게 평가
- 국내 순환 경제 제도는 재활용 중심이어서 유닛·부재 단위 재사용을 포괄하지 못하는 구조
 - 2024년 1월 시행된 「순환 경제사회 전환 촉진법」은 순환 원료를 새로 정의하고 신기술에 규제 특례를 주는 제도를 도입했으나 건설·건축 분야를 따로 다루는 조항은 마련하지 않음
 - 「건설폐기물법」 개정안은 자원 회수 우수 기업에 공사비 보조와 조세 감면 및 입찰 가산점을 신설하나 제안 이유가 분별 해체 시 95~98% 재활용 가능성을 강조하듯 재료 단위 재활용을 지향

1) 한국건설기술연구원 채지용 수석연구원(chaejiyong@kict.re.kr)
본고는 저자의 개인적인 견해이며 국토교통부와 KAIA의 공식적인 의견은 아닙니다.



[그림] 전국 폐기물 발생량 추이(2010~2024)

※ 출처 : e-나라지표(원자료: 기후에너지환경부, 「전국 폐기물 발생 및 처리현황」)
 국회 국토교통위원회(2026.02), 모듈러 건축 활성화 지원에 관한 특별법안 검토보고서
 국토교통부(2025.11.07), 모듈러 공법 활성화로 주택공급 앞당긴다
 기후에너지환경부·한국환경공단(2025), 2024 전국 폐기물 발생 및 처리현황
 국가법령정보센터(2024.01.01), 순환경제사회 전환 촉진법

□ EU는 건설 제품·건축물의 해체 용이성을 건설공사 기본요구사항에 명문화

- 신 건설 제품 규정은 2026년 1월 8일부터 사용된 제품도 대상에 넣고 성능·적합성 선언서에 기후변화 영향부터 기재하게 하면서 다른 환경 항목은 2030년과 2032년 두 단계로 추가
 - 부속서 I은 "해체 후 재사용·재활용 가능성 극대화"와 "해체 용이성"을 건설공사 기본요구사항으로 명시하여, 해체 용이 설계가 제품의 필수 특성을 도출하는 법적 근거가 됨
 - EU 신 건설 제품 규정의 디지털 제품 여권에는 해체·재사용·재제조 정보와 예상 수명 및 마모 부품 교체 기준을 담게 하고 해체시공자의 정보 접근 권한은 별도 위임법에서 정하도록 규정
 - 건물 에너지 성능 지침은 2028년 1,000㎡ 초과 신축부터 2030년 전체 신축까지 생애주기 온난화 지수를 에너지 성능인증서에 공시하게 하면서 철거·재사용·재활용 단계까지 산정
 - EU 건물 평가 체계 Level(s)의 지표 2.4는 부재가 해체 후 직접 재사용되면 1.00을 주고 혼합 재활용되면 0.50을 주는 순환성 계수로 해체 설계를 0~100점으로 산정

〈표〉 건축물 재사용을 고려한 EU의 제도

규정	관련 내용	시사점
CPR 2024/3110	사용·재제조 제품 포함, 해체 용이성 기본요구사항, 디지털 제품 여권	모듈·부재를 '이력을 가진 제품'으로 활용
EPBD 2024/1275	건설 전과정 건축물 생애주기 온난화 지수 공시, 2027년까지 GWP 한계값 로드맵	해체·재사용 시나리오가 탄소 성적에 반영
Level(s) 지표 2.4	해체·재사용·재활용 용이성 3 범주, 순환성 계수로 0~100점	접합·표준 치수가 평가 항목
Directive 2008/98/EC	예방 → 재사용 준비 → 재활용 → 회수 → 처분	재사용 준비가 재활용보다 상위

※ 출처 : Regulation (EU) 2024/3110(CPR), Directive (EU) 2024/1275, Directive (EU) 2008/98/EC, Level(s) indicator 2.4: Design for deconstruction — User manual v2.0, European Commission JRC,

② 해체 용이 설계(DfD)의 개념과 순환형 OSC 기술체계

- 해체 용이 설계(DfD)는 ISO 20887이 정의한 설계법으로, 7원칙과 함께 해체 매뉴얼의 작성·이전까지 요구
- ISO 20887:2020은 DfD를 사용 종료 시 해체를 용이하게 하여 부품 및 부재가 재사용·재활용되도록 하는 설계법으로, 해체를 비 파괴적 분리로 정의
 - 적응성 원칙 다용도성·전환성·확장성과 해체성 원칙 접근성·독립성·불필요 처리 회피·재사용 사업모델 지원·단순성·표준화·해체 안전성을 두고 모듈러 해체·이동·재사용을 명시
 - ISO 20887은 설계 상세부터 자재 구성과 접합 상세까지 담은 해체 매뉴얼을 작성·제출하게 하고 이 문서를 생애주기 전체에 걸쳐 유지하면서 다음 관리 주체에게 이전하도록 요구
 - 성능 수준은 정하지 않고 Annex A~C에 평가 접근법만 두므로, ISO 20887을 참조하는 EU Level(s) 지표 2.4 등 평가 도구와 결합하여 적용
 - OSC는 생산방식 자체가 독립성·표준화·단순성 원칙과 친화적이나, 접합, 설비 통합도, 정보 이력 등에 따라 재사용 가능 여부가 갈림
 - Corfar와 Tsavdaridis(2022)는 강구조 모듈러의 하이브리드 구조 필요성과 모듈 간 접합 해체 성을 우려하며 코너 피팅·볼트 접합·손상제어 장치를 필수 요소로 제시
 - PC 부재의 해체 난이도는 접합 상세에 따라 갈려, 1960년대 스웨덴 시스템은 걸어 끼우는 접합이어서 손상 5%로 해체되었으나 일체 타설 접합부는 해머·천공이 필요해 회수가 어려움
 - 홍콩 첫 모듈러 임시주택 NC220은 2023년 모듈 밖 설비를 먼저 분리하고 모듈마다 QR코드로 위치와 해체 정보를 남겨 4층 건물 전체를 다른 부지로 옮기면서 재사용률 95%를 기록
 - 국내 OSC는 그린 스마트 미래 학교 사업으로 임대형 모듈러 교실이 크게 늘었으나 반환 모듈을 정식 건축물로 다시 쓴 사례는 2025년 이전 공장 사무동이 처음일 만큼 재사용이 초기 단계
 - 조달청과 아주대가 2024년 임대 방식 모듈러 학교 380건을 분석한 결과 152건이 그해 반환될 것으로 추산됐으나 반환된 모듈의 품질 확인과 이력 관리 기준은 마련되지 않았음
 - 국토교통부 「건축물 해체계획서의 작성 및 감리 업무 등에 관한 기준」은 해체물 처리계획에 폐기물 구분 배출부터 보관·운반·처리까지만 담도록 해 부재 재사용 계획은 요구하지 않음

〈표〉 ISO 20887 DfD 원칙을 통한 국내 OSC 기술 검토

원칙	OSC 설계에서의 의미	국내 OSC(모듈러·PC 등) 현황
접근 용이성	접합부·설비 접속부에 재조립 후에도 접근 가능	마감을 통한 접합부 은폐가 일반적
독립성	구조·외파·설비·마감이 손상 없이 분리	모듈화 정도에 따라 설비·마감 일체화
불필요 처리 회피	현장 타설·습식 마감·접착 최소화	바닥 토포, PC 그라우트, 덧침 접합 복잡적
재사용 사업모델 지원	임대·회수·재판매 계약 구조	임대형 학교 교사 외 미성숙
단순성·표준화	소수 유형의 접합 상세, 치수·접합 규격 통일	제조사별 상이(수요에 따른 상이)
해체 안전성	인양점·해체 순서·잔류응력 관리	해체계획서에 재사용 항목 부재 등

- EU Level(s) 매뉴얼은 기존 DfD 지침서를 집계한 Charlson(2013)을 인용해 분리 가능한 기계식 접합과 층위의 독립·분리를 가장 많이 권고된 설계 행위로 제시
 - 표의 숫자는 그 행위를 권고 항목으로 올린 지침서의 수로, 합의의 폭을 보여주는 지표이며 3장의 접합, 층위 분리, 표준화가 주요한 요소임을 나타냄
 - Charlson(2013)은 해체 업계 전문가 26명 설문으로 지침서 권고 행위를 검증해 준공 도면과 해체 계획을 넘기는 건물 정보 전달과 설계 단계의 분리 조치를 장려할 행동으로 도출
 - 같은 조사는 영향이 큰 설계 조치로 접합부 접근성 확보와 수지·접착제·코팅 회피에 더해 현장타설 콘크리트 구조와 합성 바닥을 피하고 프리캐스트 부재에 성능을 영구 표시하는 방안을 제시
- EU ReCreate 과제는 해체를 고려하지 않고 지은 PC 건물 6동에서 부재를 회수해 새 건물에 쓰는 실증을 진행하면서 재사용 시 에너지와 탄소를 최대 93~98% 줄일 수 있다고 제시
 - ReCreate는 핀란드에서 회수 부재에 QR코드를 붙여 이력을 추적하고 탐페레·헬싱키 건축 당국에서 품질관리 절차를 현장별 건축허가의 판단 근거로 인정받는 성과를 달성
 - ReCreate는 핀란드에서 회수 중공 슬래브를 건물 바닥과 지붕에 쓰는 소규모 실증 2건과 네덜란드 2층 목업을 마치고 네덜란드·독일·핀란드 본 실증을 2026년에 추진
- 네덜란드 VHB와 Consolis는 공공사업수자원관리청 발주로 2018년 캄펜 인근에 프리캐스트 부재 40개를 맞물린 순환형 고가교를 설치하고 2019년 손상 없이 해체
 - 이 고가교는 부재를 레고 블록처럼 돌기로 맞물리고 긴장 케이블을 매립하지 않으면서 시멘트 계 줄눈 모르타르가 다시 떨어지도록 설계해 해체할 때 부재를 온전히 회수하는 방식을 구현
 - 시공사는 기존 고가교가 30~50년 뒤 철거되는 데 비해 부재 수명을 200년으로 보고 최대 6회 재사용할 수 있다고 제시하면서 단기 공사비는 일반 고가교보다 싸지 않다는 점도 명시

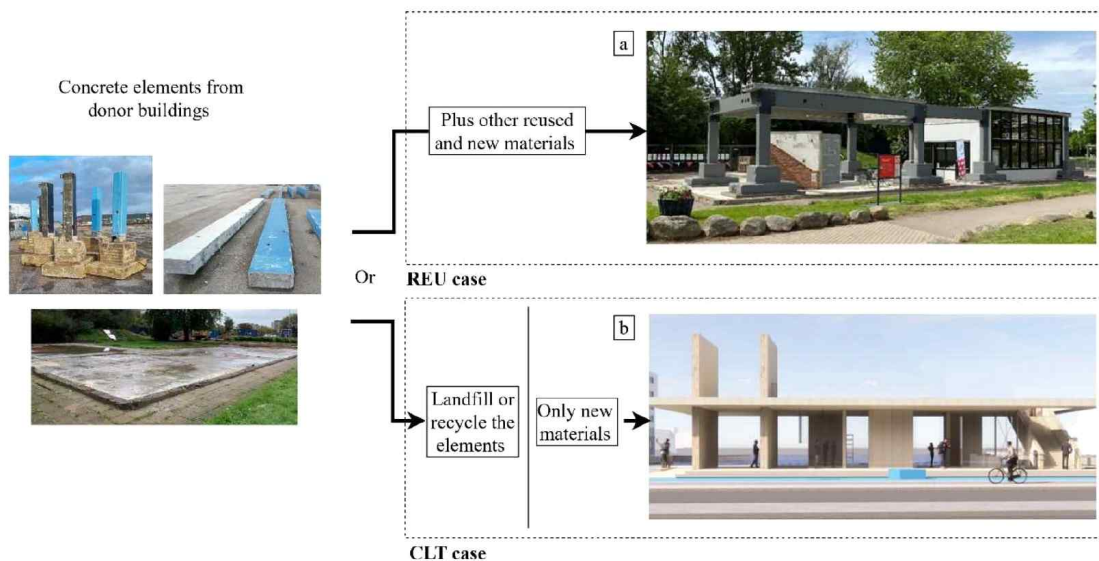
〈표〉 기존 DfD 지침서에서 공통으로 권고된 설계 행위

해체 용이 설계 행위	권고한 지침서 수
분리 가능한 기계식(비화학) 접합 사용	15
구조·외피·설비·내장을 독립·분리 가능하게 구성	12
표준화 부재 사용	10
비합성 바닥 시스템 사용	10
재료 성능을 영구 표시	10
준공도면 확보	9
설계 단계에서 해체 계획 수립	8
수지·접착제·코팅 사용 회피	8
준공 후 체결부 접근성 확보	8
현장타설 콘크리트 미사용 / 유해물질 회피	7
모듈 부재·프리캐스트 부재 사용	6

※ 출처 : European Commission, Level(s) indicator 2.4 User Manual v2.0(2021), Table 2(원출처 Charlson, 2013)를 저자 번역·발췌
 ISO(2020.01), ISO 20887:2020 Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance
 European Commission JRC(2021), Level(s) indicator 2.4: Design for deconstruction user manual v2.0
 Westerlind-Stenberg(2025), Early cases of precast concrete reuse in Swedish construction(1984~2002)
 ReCreate(2026.02.24), Second reuse mini-pilot successful in Finland; Van Hattum en Blankevoort
 Bouweconomie(2019.10.3), Eerste circulaire viaduct in Nederland is succesvol gedemonteerd

□ 재사용 단위는 '유닛 → 패널 → 부재 → 재료'의 4단계로 나뉘며 단위마다 요구 기술이 다름

- 상위 단위(볼륨형)일수록 내재 탄소 보존 효과가 크지만 이력·재인증·인허가 요구가 커지고, 하위 단위일수록 진입은 쉬우나 환경 편익이 급감
- 강재 재사용은 신재 대비 약 96%, 재활용 대비 87%의 탄소 저감이 보고되고, 스웨덴 H22 전시관 (재 사용재 94%)은 신재 대안 대비 내재 탄소를 82%(120 kgCO₂e/m²) 절감
- 영국 Wernick이 공개한 연구는 모듈 8개로 된 건물을 공장에서 보수해 다른 부지에 다시 세우면 신축 대비 내재 탄소가 46% 줄고 감소분 대부분이 철골 프레임 재사용에서 나온다고 분석
- Wen 등(2025)은 홍콩 철골 MiC 건물의 해체 단계 탄소를 추정해 m²당 약 991kgCO₂e의 절감량 가운데 재활용 기여는 5%에 그치고 나머지는 모듈 재사용에서 나온다고 제시
- Knoeri 등(2013)은 스위스 구조용 재생 콘크리트가 일반 콘크리트보다 다른 환경 영향은 약 30% 줄이지만 시멘트를 더 넣어야 해 지구온난화 지수 저감은 평균 5%에 그친다고 분석



[그림] 스웨덴 H22 파일럿: 회수 PC 부재로 지은 전시관(REU)과 신축 CLT 대안

※ 출처 : Al-Najjar & Malmqvist(2025), Resources, Conservation & Recycling 212

〈표〉 재사용 단위별 기술·제도 요구

재사용 단위	접합 요구	성능 재인증	이력 관리
유닛(볼륨형 모듈러)	모듈 간 기초 접합의 완전한 분리 가능성, 인양 손상 제어	유닛 단위 구조·내화·기밀·실내 환경 안전 등	유닛 ID+제조·사용·손상 이력
패널·서브어셈블리	패널 간 건식 접합	패널 단위 시험 또는 제조사 보증	제품 여권(DPP) 단위
부재(PC·강구조)	분해형 전단연결재, 볼트·건식 접합	강재: 이력·검사·시험·판정, PC: 코어, 피복, 탄산화 등	부재 태그·BIM 객체 ID
재료	분별해체	재활용 공정 품질	폐기물 이력

※ 출처: Al-Najjar·Malmqvist(2025), Embodied carbon saving of reusing concrete elements in new buildings: A Swedish pilot study
 ISO(2020.1), ISO 20887:2020 Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance
 European Union(2024.11.27), Regulation (EU) 2024/3110 laying down harmonised rules for the marketing of construction products

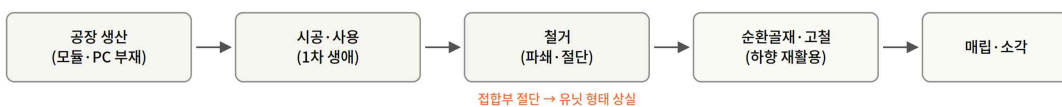
□ 재사용형 OSC는 설계수명·접합·설비·기초·정보·표준화에서 일반 OSC와 구분되는 별도의 기술 체계

- 재사용형 OSC는 ISO 20887의 해체·적응성 원칙에 따라 처음부터 n회 사용 시나리오를 상정하고 사용과 사용 사이의 성능 재인증을 전제로 설계한 부재·패널·유닛으로 정의
 - 설계수명은 한 번의 사용주기에 계획한 재사용 횟수를 곱한 기간을 기준으로 잡으면서 접합은 볼트·핀·플러그형처럼 체결과 해체를 여러 번 반복해도 성능 유지를 보증하는 방식을 채택
 - 설비와 마감은 ISO 20887의 독립성 원칙에 따라 구조체와 분리되는 접합으로 달아 교체 주기가 짧은 층부터 따로 떼어낼 수 있게 하면서 기초도 다른 부지에서 재설치할 수 있는 방식으로 설계
 - 정보는 유닛·부재 식별자와 전 과정 이력(DPP·해체 매뉴얼), 표준화는 사용 시나리오를 고려한 2차 용도에 맞는 치수 모듈·하중 등급·접합 인터페이스 고려
 - 캐나다 오크빌시는 모듈 7개로 된 단층 도서관을 이틀 만에 해체해 약 460m 떨어진 부지로 옮기면서 받침판 위 스크루잭 기초와 원래 기초 밑의 골재를 다시 쓰는 재설치형 기초 방식을 적용

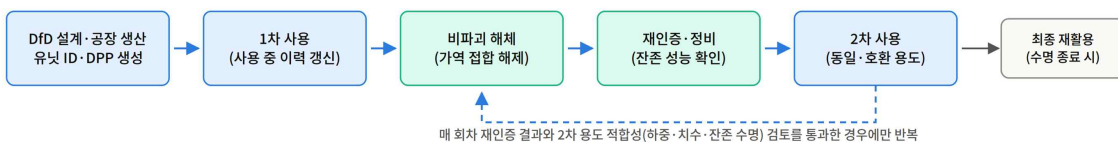
□ 재사용 부재의 재유통은 시험으로 잔존 성능을 확인하고 해체 연도 같은 이력을 표시하는 재인증 절차를 전제로 하며 EU와 영국은 이 절차를 건설 제품 규정과 강구조 업계 표준 사양서로 제도화

- EU 신 건설 제품 규정은 통합 기술 규격마다 사용된 제품을 포함하는지 여부를 밝히게 하면서 사용된 제품에 CE 마킹을 붙일 때는 해체 연도와 마킹 연도를 함께 적어 이력을 드러내도록 규정
 - 같은 규정은 건설 현장에서 바로 재사용하는 제품은 시장 출시로 보지 않아 규정 적용에서 제외하면서 사용된 제품이 통합 기술 규격에서 빠져도 사업자가 새 제품처럼 규정을 적용할 수 있는 길을 허용
 - 영국 강구조연구소의 강재 재사용 지침(P427, 2019)은 재료 특성과 허용오차를 확인한 회수 강재를 다시 가공하면 BS EN 1090에 따라 CE 마킹할 수 있다는 원칙을 제시
 - 영국강구조협회 표준사양서는 회수 강재를 재고업체가 시험·인증해 철골업체에 넘기는 유통 구조를 상정하면서 1970년 이후 건물에서 피로·화재 이력이 없는 부재만 회수하도록 규정
 - 같은 사양서는 재고업체가 모든 표면을 육안으로 검사해 부재 두께의 5%를 넘는 부식 손실이 없는지 확인하고 납·카드뮴·석면이 든 도막은 Sa2½ 등급표면 처리로 모두 제거하도록 요구

선형 경제 (현행 OSC의 일반적 생애주기)



순환 경제 (해체 용이 설계 DfD 기반 OSC)



[그림] 선형 경제와 순환 경제의 OSC 생애주기 대조

※ 출처: ISO 20887:2020을 바탕으로 저자 작성

ISO(2020.01), ISO 20887:2020 Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance
 European Union(2024.11.27), Regulation (EU) 2024/3110 laying down harmonised rules for the marketing of construction products
 Brown·Pimentel·Sansom(2019), Structural steel reuse: assessment, testing and design principles(SCI P427)
 BCSCA(2022.03), Model specification for the purchase of reclaimed steel sections

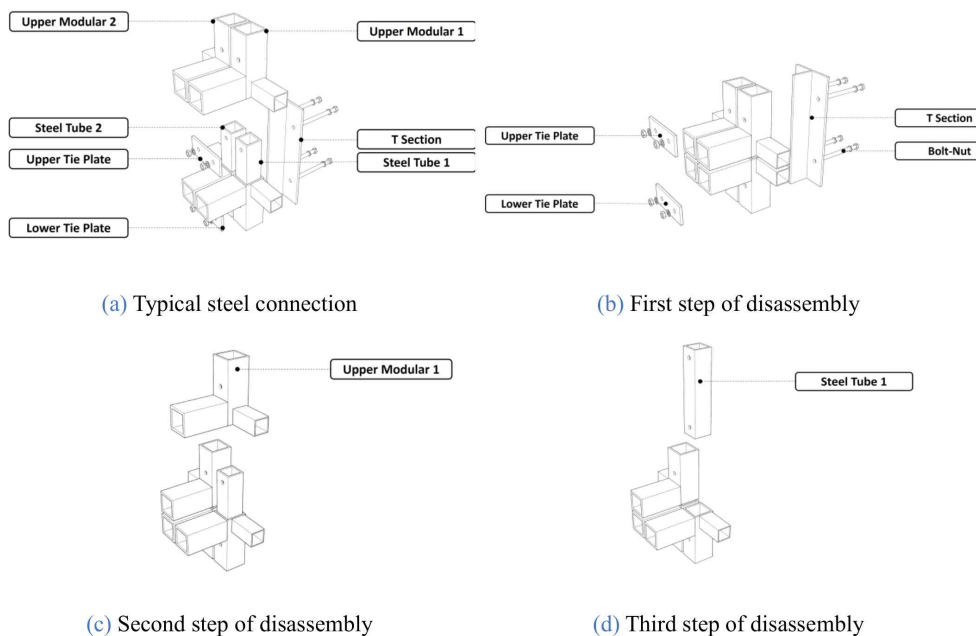
③ 핵심기술 동향: 접합·충위 분리·재인증·디지털 이력·다중 사용주가·표준화

□ 접합: 분해형 전단연결재와 모듈 간 접합의 해체 가능성을 정량 평가하는 연구가 중심

- 강-콘크리트 합성보 관련 연구에서는 용접 스티드를 대체하는 분해형 전단연결재 연구가 급증했으며, 강도는 스티드 수준이나 초기 슬립·강성·시공성·설계기준이 병목
 - 연결재는 매립 너트 유무와 커플러 형식 등으로 분류되며 선행 압입 시험에서 볼트형 연결재는 스티드 전단강도의 약 95%를 보였으나 사용하중 수준의 초기 강성은 약 절반에 그친 것으로 확인
 - 6m 규모의 실험형 합성보 4체 휨시험(PC 패널+볼트)에서는 적정 강성을 확보하였고, 사용하중에서 잔류 변형이 없어 해체 가능성을 확인하였음
 - 홍콩 연구진은 연속형 전단키 연결재 실험에서 연결부 전단 파단을 유도하고 매립 플레이트를 고강도 강으로 바꾸면 플레이트 변형이 크게 줄어든다고 보고하며 기존 설계식을 개선해 제시
- 볼륨형 모듈러의 모듈 간 접합 연구는 해체·재사용성을 독립된 평가 항목으로 포함하는 단계
 - 주요 모듈간 접합부는 공장제작·현장조립·사용성능·보수해체의 4가지 부분을 고려해야하고, 볼트+연결플레이트+플러그인 테논 등 유효한 기술을 제시
 - 강-콘크리트합성 모듈용 접합부 약 50개를 평가한 연구에서는 합성 적합성, 검증 근거 및 해체 재사용성 등을 고려하여 평가하였으며, 효율적인 접합방식을 제시
 - 국내 KDS는 강재 앵커로 용접하는 스티드와 ㄷ형강만 규정하고 볼트 재체결 규정은 없으나, 기준을 벗어난 상세는 실험을 통해 강재 앵커 강도와 합성구조 상세를 결정할 수 있게 되어 있음
- 내진 성능과 해체성은 상충하므로, 중력·횡력 저항을 분리하는 하이브리드 구조계가 현실적 해법
 - 영국 P427은 회수 강재를 지진 저항 부재에 쓰지 않도록 한정하고 국내 KDS 14 31 25는 높이 38m 이상 건물의 기둥 이음과 동적 하중을 받는 접합부에 용접·마찰접합을 요구
 - 중력 접합은 볼트로, 횡력은 코어·브레이스나 교체형 에너지 소산 장치가 맡게 하면 손상이 교체 부위에 집중되고 재사용 대상 모듈은 탄성 범위에서 있을 수 있음
 - 마찰형 고력볼트는 1회 체결을 전제하므로 반복 체결 후 마찰면·장력에 대한 검토가 필요하며, NC2 20 해체에서는 장기 하중에 의한 접합부 잔류 응력으로 각관 인발에 해머 작업이 필요했음
- PC 분야는 기존 PC 부재의 재사용 사례에서 접합 상세를 모아 건식·습식 유형별로 분류하는 연구와 볼트 등 건식 강재 접합으로 해체형 PC 골조를 새로 개발하는 실험 연구가 함께 진행
 - Kupfer 등(2023)은 유럽·미국의 콘크리트 부재 재사용 사례 77건을 검토해 접합 상세가 공개된 사례는 절반에도 못 미치며 공개된 상세는 9개 유형으로 분류할 수 있다고 제시
 - 같은 연구는 네덜란드 마슬라워스의 PC 주택 6개동 부재 재사용 사업이 해체 도중 접합부가 도면과 다르게 시공된 사실을 늦게 발견해 추가 안전대책이 필요해진 점을 중단의 주요 원인으로 지목
 - 뉴질랜드 캔터베리대 연구진은 PC 보와 기둥을 긴장 볼트와 강재 단부판·앵글·튜브로 잇는 건식 접합 3종을 반복하중 실험해 손상된 보만 떼어내고 새 보로 바꾸는 방안의 타당성을 검토

□ 층위 분리는 수명이 서로 다른 구조·외파·설비·내장을 따로 떼어 설계해 수명이 짧은 층을 바꿀 때 오래가는 구조체를 건드리지 않게 하는 기술로 국내는 장수명 주택 인증이 이를 평가

- 층위 분리 이론은 변화 속도가 다른 층을 구분한 Duffy·Brand(1994)의 개념과 수명이 긴 골조와 짧은 내장·설비를 나눠 공급하는 오픈 빌딩 방식을 바탕으로 실험 주택에서 검증
 - Brand는 구조체 수명이 30~300년인 데 비해 설비는 7~15년이고 외피는 약 20년마다 바뀐다고 보고 설비가 구조체에 깊이 묻혀 교체가 어려운 건물은 일찍 철거된다고 지적
 - 오사카가스가 1993년 지은 실험 주택 NEXT 21은 골조·외파·내장·설비를 교체 주기가 다른 독립 체계로 설계해 한 세대를 비게 없이 내부에서 개조하며 철거 자재의 90%를 재배치
- 국내는 2014년 12월 도입한 장수명 주택 인증을 1,000세대 이상 신규 공동주택에 의무화하면서 가변성과 수리 용이성을 등급으로 평가해 층위 분리 수준을 따지는 제도로 운영
 - 인증 기준은 세대 내부의 내력벽·기둥 길이 비율과 건식 벽체 비율로 가변성을 따지면서 공용배관과 전용 설비 공간이 서로 독립돼 있는지로 전용 부분 수리 용이성을 평가하는 방식을 적용
 - 한국건설기술연구원 집계로 2025년 8월까지 누적 인증 1,412건 중 97.9%가 일반 등급에 머물렀고 2026년 의왕 초평 라멘조 모듈러 주택이 우수 등급을 받은 사례가 등장



[그림] 홍콩 NC220 모듈 간 접합부 구성(a)과 해체 순서(b~d): 볼트 해제 → T형 플레이트 제거 → 각관 슬리브 인발

※ 출처 : CIC & PolyU(2023), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220, Fig. 15
 Jakovljević·Spremić·Marković(2021), Demountable composite steel-concrete floors: a state-of-the-art review
 Guo·Chen·Chan(2025), Investigation on shear behaviour of a swift-constructed demountable continuous shear connector for achieving construction circularity
 CIC·PolyU(2023.10), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220
 국토교통부(2014.12.23), 1천 세대 이상 공동주택, 장수명 주택 인증 의무화
 국토교통부(2025.08.29), 장수명 주택 건설·인증기준

□ 층위 분리: 구조·외파·설비·내장의 통합도가 높을수록 재사용 시 개보수 비용이 증가

- 설비·마감까지 공장 완성한 모듈은 생산성에 유리하나, 주기에 따른 교체 시 구조체 및 부품 등에 손상을 수반할 위험
 - 해체 용이 설계로 지어진 실제 건물은 목구조·소규모가 대부분이고 접합부 연구는 RC·강-콘크리트에 집중되어 있어, 강구조·PC 중고층은 별도의 실증이 필요함
 - 홍콩 NC220은 이설 때 철골과 모듈 간 접합부는 2%만 보수해 그대로 썼으나 내장은 10%를 재정비하고 복도 배선·조명과 모듈 밖 배관은 모두 바꿔 보수가 설비·내장과 모듈 경계부에 집중
 - 건식 접합부 주위의 내화 피복, 기밀 테이프, 가스켓이 가장 취약하므로(NC220은 내화 피복 전량 재도포) 탈착할 수 있는 건식 내화 등 기술도 고려 필요
 - Yang 등(2024)은 다회 재사용 모듈의 탄소를 분석해 철골 프레임은 재사용으로 신규 생산 영향의 절반을 상쇄하지만 슬래브·접합부는 보수·교체 부담으로 상쇄 폭이 작다고 제시

□ 재인증: 회수 부재의 잔존 성능을 비파괴시험으로 넓게 확인하고 코어 채취 등 파괴시험으로 결과를 보정하는 방식이 중심이며 원 설계 문서가 남아 있는 정도에 따라 시험 범위를 달리 조정

- ReCreate는 회수 PC 부재 품질관리 보고서에서 콘크리트 강도와 철근 부식 등 시험 항목별로 적합한 표준과 신뢰도를 정리하고 실증 결과를 바탕으로 권장 시험 수를 함께 제시
 - 같은 보고서는 원 설계 문서의 보존 정도에 따라 지식수준을 나눠 문서가 없는 부재는 비파괴·파괴 시험을 넓게 하면서 문서가 남은 부재는 선택 시험으로 기존 설계 명세 확인만 하도록 구분
 - ReCreate는 반발 경도나 초음파 속도 또는 둘을 결합한 SonReb 측정값으로 압축강도를 즉시 추정하고 코어 시험 값과 합쳐 보정하는 공개 도구를 개발해 회수 부재 재사용 판단을 지원
 - 핀란드·스웨덴·네덜란드·독일 실증에서는 회수 부재의 콘크리트 강도가 원 설계 값보다 높고 상태도 대체로 양호했으며 발견된 유해 물질도 부재 분리 전에 모두 제거할 수 있었던 것으로 확인
 - 홍콩 NC220은 재사용 전 정부 당국의 검사·승인을 받기 위해 모듈 68개 중 10%인 7개를 표본으로 골라 치수와 도막 두께를 측정하고 용접부를 시험하는 정밀 구조 평가를 실시

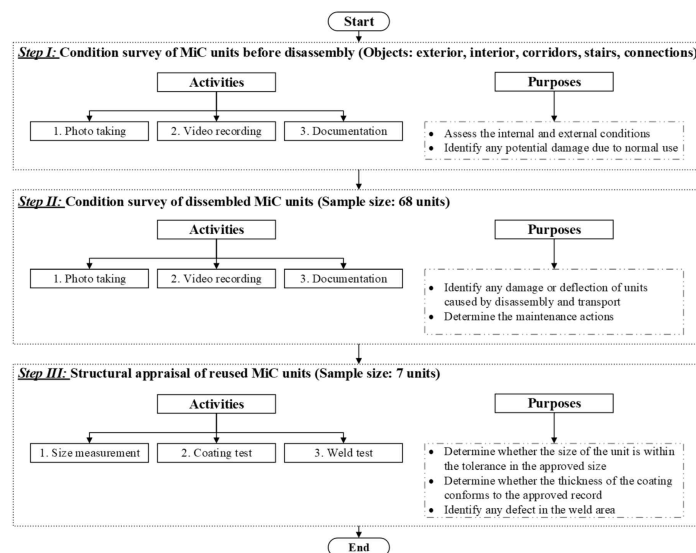


[그림] OSC 모듈의 층위 분리 개념과 홍콩 NC220 해체 후 층위별 재사용률

※ 출처 : Brand(1994)의 층위 개념과 CIC & PolyU(2023) Appendix A를 바탕으로 저자 작성
CIC·PolyU(2023.10), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220
ReCreate(2026.5.12), How to ensure the quality of salvaged concrete elements

□ 재료별 재인증: 강재는 그룹 시험과 유럽 기술시방서로 절차가 정비되는 반면 PC는 필요한 코어 수와 강도 보정 기준을 쌓아 가는 단계이며 두 재료 모두 해체·보관 중 생긴 손상 평가를 함께 요구

- 영국 SCI의 강재 재사용 지침 P427은 이력 조사와 그룹화를 거쳐 비파괴시험과 그룹별 인장시험으로 재료 특성을 도출한 뒤 재설계와 재가공을 거쳐 새 구조물에 쓰는 절차를 제시
 - P427은 출처·단면·기능·상세가 같은 부재를 한 그룹으로 묶어 경도와 화학성분은 전 부재를 비파괴로 모두 확인하면서 파괴 인장시험은 그룹별 소수 시편으로 줄이는 방식을 적용
 - 유럽표준화위원회는 2024년 8월 강재 재사용 시공 기술시방서 CEN/TS 1090-201을 승인했고 설계 규정도 EN 1993 신규 파트를 목표로 작업반이 기술시방서를 작성
- PC 부재는 같은 건물의 같은 부재 유형을 단위로 코어 압축강도를 통계 처리하고 피복·중성화로 남은 내구 수명을 따진 뒤 필요하면 실물 재하시험으로 내력을 확인하는 방식으로 재인증
 - Rasanen 등(2025)은 건물·부재 유형별 코어를 12~15개 확보하면 압축강도를 충분히 추정할 수 있으나 표본이 적으면 특성 강도를 최대 10MPa 과대평가할 수 있다고 분석
 - 핀란드 탐페레 1982년 사무소 해체 실증에서 보와 기둥 코어 각 15개의 압축강도는 40MPa와 47MPa로 설계강도 25MPa를 크게 넘었고 중공슬래브는 75~81MPa를 기록
 - 같은 실증에서 피복 두께와 중성화 깊이는 부재 유형마다 달랐지만 실내 환경(XC1)에서 100년을 쓰기에 충분했고 재하시험에서 중공 슬래브 내력이 계산값보다 5~47% 높게 확인
- 재인증은 1차 사용 중 받은 하중 이력뿐 아니라 해체·인양·운송·보관 과정에서 생긴 손상까지 평가 대상으로 삼아야 하며 홍콩 모듈러와 스웨덴 PC 실증의 손상 사례로 그 필요성이 확인
 - 홍콩 NC220은 표본 모듈 치수가 허용오차 $\pm 3\text{mm}$ 안에 들고 용접부 14곳 자분탐상에서도 결함이 없었으나 모듈 간 접합판의 볼트 구멍 지압 변형과 인양 고리 굽힘에 따른 도장 박리가 발견
 - 스웨덴 H22 실증은 해체 건물에서 골라 둔 부재 8개 가운데 5개만 남았고 보관 중 부주의한 취급으로 온전한 부재는 1개뿐이어서 설계팀이 다른 공급 건물을 새로 찾아 나서는 상황이 발생



[그림] 홍콩 NC220의 재사용 전 3단계 검사 절차: 해체 전 상태조사 → 해체 후 전수 상태조사(68개) → 10% 표본 구조 정밀검사(7개: 치수·도막·용접)

※ 출처 : CIC & PolyU(2023), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220, Fig. 21

- 유닛 재인증은 구조 안전과 내화·기밀·차음 성능에 더해 부착 마감재에 든 유해물질과 실내 공기 질까지 점검하고 설치할 때마다 결과를 이력으로 남기도록 범위를 넓히는 방안이 필요
 - 핀란드 연구는 1,300개 이상 시료에서 유해 물질에 대한 검토를 수행하였으며, 유해 물질은 콘크리트보다 부착재(실란트·바닥재)에 기인하는 것으로 도출되었음
 - 국내 임시교사는 설치 시 내진설계 확인서와 공기 질 측정 결과서 등을 제출하므로, 유닛 재인증 시 재설치 회차마다 반복·이력화하는 체계 가능

□ 디지털 이력: 민간 재료 여권에서 출발한 부재 정보 기록이 EU 디지털 제품 여권으로 법제화되는 단계이며 재사용에 쓰려면 생애 단계별 이력 데이터베이스와 정보 갱신 체계가 함께 필요

- 디지털 이력: 민간 재료 여권에서 출발한 부재 정보 기록이 EU 디지털 제품 여권으로 법제화되는 단계이며 재사용에 쓰려면 생애 단계별 이력 데이터베이스와 정보 갱신 체계가 함께 필요
 - 재료 여권 도입을 위한 선행연구에서는 전체 건물 재사용 우선, 철거 전 감사, 해체 우선, 해체계획서, DB 상호운용 표준, 3단계 DB, 재사용재 반영, 규제 신설의 8개 권고사항을 제시
 - NC220 보고서는 모듈별 QR코드에 수량·재료 특성·재사용률·보수 기록이 빠졌다고 지적하면서 BIM과 연동한 디지털 재료여권과 설계자가 작성하는 MiC 사용자 매뉴얼을 권고
- CPR은 건설 제품 여권을 BIM과 호환되게 만들고 해체업자를 정보 접근 주체에 포함하며 마지막 제품 출시 후 25년간 시스템 접근을 보장해 재사용·재제조에 쓸 정보를 남기도록 규정
 - 유럽집행위원회는 건설 제품 여권 위임법을 2027년 2분기에 채택할 계획이며 CPR은 위임법 발효 6개월 뒤 시스템을 가동하고 18개월 뒤부터 제조사의 여권 제공 의무를 적용하도록 규정
 - 민간 플랫폼 Madaster는 7개국 400여 고객이 쓰는 재료 여권 서비스로 2026년 네덜란드·독일에서 건물별 재료 축적량과 온실가스를 공개하는 지역 등록부를 열 계획

Final Report | October 2023



Project Name	Nam Cheong 220 Relocation (under Project : Transitional Housing at Wong Yue Tan, Tai Po)			
Module Code	2-1-2			
Module details	Dimension	Structure	Floor	Function
	(W) (L) (H)	Steel MiC	2/F	Residential Unit
Dismantle Details	Date and time of Dismantle	Name of Supervisor	Serial no of the Mobile Crane	Serial no of the lifting frame
Delivery Detail-01 (from Nam Cheong 220 to reinstatement yard)	Date and time of Delivery	Delivery Truck car plate no	Date and time of arrival	Name of Recipient
Delivery Detail-02 (from reinstatement yard to Wong Yue Tan)	Date and time of Delivery	Delivery Truck car plate no	Date and time of arrival	Name of Recipient
Installation Detail	Date and time of start of installation	Date and time of completion of installation		Name of Supervisor
	Serial no of the Mobile Crane	Serial no of the lifting frame		

a) QR code assigned to each MiC modul

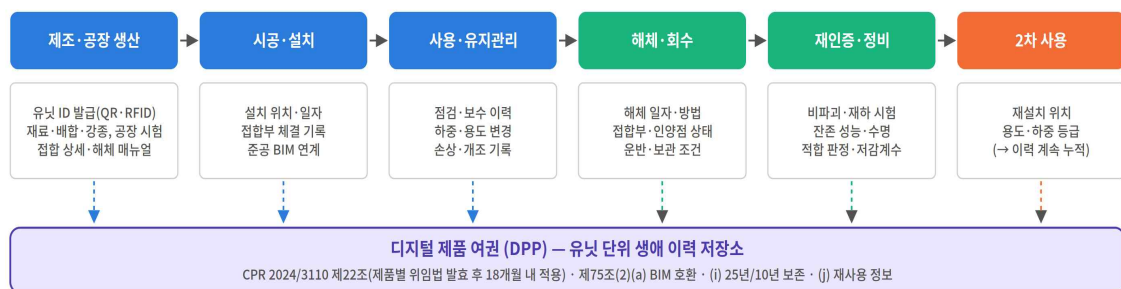
(b). Information sheet linked to the QR Code

[그림] 홍콩 NC220의 모듈별 QR 코드(a)와 연결 정보시트(b): 모듈 코드·치수·구조·층·용도, 해체·운송·재설치 일시와 담당자

- ※ 출처 : CIC & PolyU(2023), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220, Fig. 11
 Costa·Hoolahan·Charef(2025), Eight recommendations to adopt materials passports and accelerate material reuse in construction
 CIC·PolyU(2023.10), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220
 Madaster(2025.12.16), Madaster 2026 Roadmap

□ 부재 기록 항목: 재사용 부재의 기록은 식별 정보에 시험 결과와 상태 판정을 더 해야 새 건물 설계에서 구조 성능의 근거로 쓸 수 있어 국가 표준과 연구용 데이터베이스가 담을 항목을 정리

- 재사용 부재의 최소 기록 항목은 유럽 PC 재사용 실증에서 구체화되었으며 노르웨이 표준 NS 3682는 해체한 중공 슬래브를 신제품의 성능선언과 같은 수준으로 문서화하도록 규정
 - ReCreate DB는 부재별 ID와 기증 건물 이력·형상·철근·역사적 재료 등급·시험 결과를 저장하고 '설치 가능/정비/시험 필요'로 판정해 부재 여권으로 출력, 4개국 1,878개 부재로 검증
 - 스칸스카는 베르겐에서 NS 3682로 중공 슬래브를 재인증한 경험을 토대로 새로 짓는 건물부터 부재의 내력과 형상 및 생산 정보를 기록해 생애 내내 추적 가능한 디지털 문서로 남기도록 제안
- 노후 PC 부재는 원 제조사 대부분이 사라지고 기록이 흩어져 있어 ReCreate는 카탈로그 부재 유형과 실제 회수 부재를 나눠 기록하고 회수 부재마다 시험과 결함과 보수 이력을 쌓도록 제시
 - ReCreate는 부재 유형과 생산국 및 제조 공장에 생산 연도와 원래 카탈로그 번호를 묶은 분류 코드를 만들어 스웨덴 A-시스템과 동독 WBS-70 등 4개국 PC 체계에 적용
 - Matthews 등(2026)은 절단과 보수로 바뀐 부재 형상을 이전 이력과 함께 추적해야 한다고 보고 변경마다 행을 추가하거나 버전을 관리하거나 별도 보수 계층을 두는 방안을 제시
- CPR은 기존 제품의 여권 정보를 갱신하는 절차와 새 여권을 만들 수 있는 주체를 위임법으로 정하고 여권을 만든 사업자가 파산해도 서비스 제공자의 백업 체계로 여권을 유지하도록 규정
 - CPR은 건설 제품 여권을 제품 유형의 영구 고유 식별코드에 데이터 캐리어로 연결하고 모든 정보를 개방형 표준 기반의 기계 판독 형식으로 만들어 특정 업체 시스템에 종속되지 않도록 요구
 - 유럽위원회는 2026년 7월 CEN·CENELEC이 만든 고유식별자와 데이터 캐리어 및 데이터 교환 규약 등 디지털 제품 여권 표준 6건을 에코디자인 규정의 통합표준으로 관보에 게재



최소 선언 항목 (NS 3682 PC 재사용 선언서 + CPR 제75조 참고)

- 식별: 유닛/부재 ID, 제조사·공장, 제조일, 원 건물·위치
- 재료·성능: 강종/콘크리트 강도, 철근·접합 상세, 설계 하중·내진 등급
- 유해물질: 화학 안전 선언, 실란트·바닥재 등 부착재 정보
- 상태: 손상 지도, 비파괴·재하 시험 결과, 잔존 수명 추정
- 해체 정보: 해체 순서·공구, 인양점, 제조일 허용 공차(예: ±3 mm)
- 이력: 사용 횟수, 보수·교체 기록, 재인증 판정과 저감계수

활용 주체와 용도

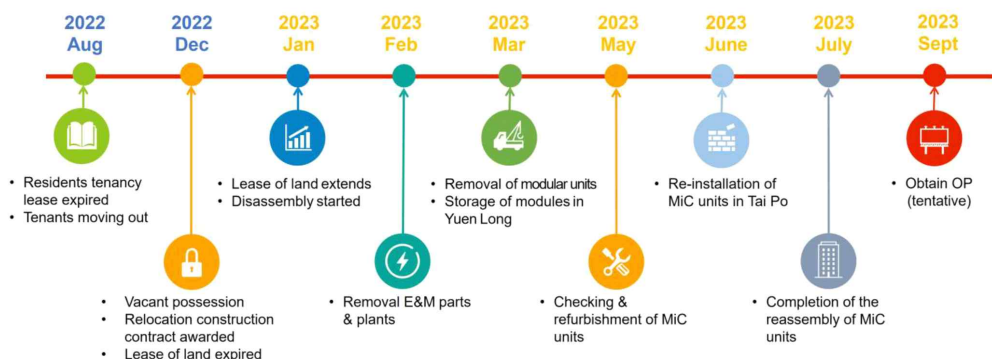
- | | |
|-----------------|----------------------------|
| 설계자 | 재사용 유닛 사양으로 구조검토·BIM 가상 해체 |
| 인허가·인증기관 | 재인증 판정 근거, 건축물대장 연계 |
| 발주자·조달 | '신품' 요건 대신 성능·이력 기준 입찰 |
| 보험·금융 | 추적성·시험 기록 → 인수 가이던스 충족 |
| 플랫폼·운영자 | 회수·정비·재출하 재고 관리 |

[그림] OSC 유닛 디지털 제품 여권(DPP)의 데이터 흐름과 최소 선언 항목

※ 출처 : CPR 2024/3110 제22·75조, NS 3682:2022, CIC·PolyU(2023)를 종합하여 저자 작성
Standard Norge(2022.02.18), NS 3682:2022 Hulldekker av betong til ombruk; Matthews 외(2026), Toward complete circular reuse
CIC·PolyU(2023.10), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220

□ 해체·재조립 공정과 다중 사용주기 LCA: 재사용 횟수는 회수-정비 체계와 회차별 검증이 좌우

- 홍콩 연구는 해체형 모듈 유닛의 사용주기를 환경비용과 미상각 잔존가치로 최적화해 최적 2회, 1차 사용기간이 2차보다 길지 않은 조건을 도출했으나, 단일 사례의 결과임을 명시
 - 같은 연구의 민감도 분석은 철골 프레임과 콘크리트 슬래브의 보수율과 철골 커넥터와 칸막이벽의 교체율을 주요 변수로 꼽으면서 사용주기 사이 운송 거리가 미치는 영향은 미미하다고 분석
 - NC220은 2023년 1월 해체에 착수해 하루 6~8개 모듈을 떼어 3주 만에 모두 반출하고 보관장 검사와 정비를 거쳐 6~7월 타이포에 재설치하면서 실질 준공까지 약 8개월이 소요
 - 스웨덴 H22 전시관은 보관 중이던 회수 PC 부재를 적시에 공급해 골조를 3일 만에 조립했으나 전시 후 다시 해체한 부재는 시 보관시설에서 1년간 새 수요를 찾지 못해 재생골재용으로 파쇄
- PolyU 연구진은 2024년 모듈 유닛의 생산과 재사용 및 재활용 부하를 첫 주기와 중간 주기와 마지막 주기로 나눠 배분하는 LCA를 수행해 PEF 배분 방식이 가장 적합하다고 판단
 - 같은 연구에서 모듈 유닛의 재사용과 재활용 배출량은 첫 주기 약 9,007kg과 중간 주기 약 2,925kg과 마지막 주기 약 8,433kg CO₂-eq로 중간 주기가 가장 낮게 산출
 - 같은 연구는 철골 재활용은 환경 크레딧이 부하보다 커 순 감축 효과가 있는 반면 콘크리트 재활용은 부하가 크레딧을 넘는다고 분석해 여러 사용주기를 거치는 임시 모듈 건물에 철골 구조를 권고
 - 벨기에 겐트대 연구는 변수를 고정한 LCA에서는 일반 칸막이벽이 유리했으나 사용 횟수와 재료 수명 등 변수를 함께 반영하자 5년마다 이설하는 조건 등에서 해체형 벽체가 유리하다고 분석
- 해체·재조립 실무에서는 접합부를 푸는 방식과 회수 부재의 가공 공정이 일정과 비용을 좌우하며 습식 접합한 기존 PC 부재는 절단과 재가공에 신규 생산보다 많은 시간이 드는 것으로 확인
 - 네덜란드 Prinsenhof 실증은 습식 접합부와 중공 슬래브 위 토폰 콘크리트를 톱으로 잘라 부재를 분리하고 신축 전 실물 크기 목업을 지어 회수 부재의 치수 오차 처리 방법을 검증
 - NC220 해체를 추적한 홍콩 연구는 볼트 접합에도 고착 응력이 남아 해체가 쉽지 않을 수 있다고 지적하면서 발주자의 소유권 유지와 모듈별 디지털 추적과 쉬운 보수를 재사용 성공 요인으로 제시
 - 베르겐 Midtbygda 사업은 회수 중공 슬래브의 공장 가공에 신규 생산의 약 7배 시간이 들었고 탄소 1kg 감축 비용은 약 100크로네로 저탄소 콘크리트의 1~3크로네를 크게 상회



[그림] 홍콩 NC220 이전 프로그램(2022.8 입주 종료 → 2023.2 해체 착수 → 6~7월 재설치 → 9월 준공)

※ 출처 : CIC & PolyU(2023), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220, Fig. 7
 Slotten-Smepllass(2026.02.23), Innlegg: Ombruk av hulldekker i praksis
 ReCreate(2026.01.12), Conclusions from the mock-up practical test

□ 표준화·용도 호환 설계: 고정된 하중·형상을 2차 수요에 맞추도록

- 구조체는 한 번 만들면 하중과 스패와 층고와 개구부가 고정돼 2차 용도가 같은 치수와 하중 체계를 공유하지 않으면 재인증을 통과해도 쓸 곳이 없어 설계 단계부터 2차 수요를 맞추는 방안이 필요
 - 국내에서는 교실 모듈러가 재사용의 대표 사례가 될 수 있으나, 실 구성·층고·접합부·기초가 발주처 별로 달라 혼용·재사용이 어려우므로 표준화가 선행되어야 함
 - 신속 공급이 필요한 특수 목적의 건축물의 경우, 활하중에 대한 여유치를 고려하여 설계하면 다양한 용도에 활용할 수 있을 것으로 판단됨
 - ISO 20887은 다용도 표준 높이와 표준 스패에 일반 공구로 푸는 접합과 끼워 맞추는 모듈을 표준화 대상으로 들고 Level(s)는 표준 단위 부재일수록 재사용 수요를 찾기 쉽다고 설명
 - 독일 Hohenmolsen 청소년센터 계획은 2022년 부분 해체한 1980년대 동독 PC 아파트에서 회수한 9가지 유형과 치수의 부재 162개에 맞춰 새 건물의 설계를 조정
- 공공 수요 전반의 '표준 유닛'을 정의하는 것이 재사용 수요를 만드는 가장 직접적인 수단이며, 국내 외에 제도적 접점이 생기는 중
 - 홍콩 간이공공주택(LPH) 약 30,000호는 1~2인, 3~4인, 4~5인 3개 표준 유형으로 공급되며, 표준 유닛을 고려한 설계 및 공급망 덕분에 입찰가가 예산보다 약 20% 낮았음
 - 네덜란드 NPCE는 유연(임시)주택 연 15,000호와 산업화 건설의 시장 절반 표준화를 목표로 두고, 일본 유닛하우스는 규격 통일로 회수 유닛의 재리사를 상시 운영
 - 특별법안 제9조의 '표준평면·설계기준'에 하중 등급·내진 중요도·접합 인터페이스와 용도 전환 매트릭스를 함께 정의하면 재사용 수요의 기반이 될 수 있을 것으로 판단됨
 - 홍콩 CIC·PolyU 보고서는 향후 5~10년 사이 임시주택 MiC 모듈 2만여 개가 사용을 마칠 것으로 보면서 NC220 사례로 개별 모듈을 다른 용도로 전환할 수 있는 유연성을 확인

〈표〉 핵심 기술별 국내외 현황 비교

핵심기술	국외 현황	국내 현황
접합	분해형 연결재 4유형·실대형 검증·학생 연결재 설계식(중국·헝가리·홍콩), IMC 해체성 지표(중국·호주)	KDS는 용접 스티드·ㄷ형 강만 규정, 볼트 재체결 규정 없음(실험 검증 경로는 존재)
층위 분리	유럽 DfD 실적(목구조 과반), NC220 층위별 재사용률 실측	강구조·PC 중·고층 실증 부재
성능 재인증	영국 P427·BCSA·Aviva, EU PROGRESS·ReCreate 표본 기준, 노르웨이 NS 3682, 핀란드 화학 안전	콘크리트는 KDS 14 20 90 준용 여지; 해체 부재·접합부·유닛 기준 없음
디지털 이력	EU DPP, ReCreate DB 1,878개, NS 3682 선언 항목, NC220 QR	KDS 14 20 62 표시 규정이 유일; 준공 BIM 이후 이력 단절
해체·재조립·LCA	홍콩 실사례 2건+기술보고서, 홍콩이공대 LCA, 스웨덴·핀란드 PC 해체 교훈	해체계획서에 재사용 공정 부재; PC 기준은 1회 양중
표준화·용도 호환	홍콩 LPH 3개 표준 유형, 일본 坪 규격, 네덜란드 유연주택 15,000호	발주처별 사양 상이, 재해구호주택 등 일부 표준설계 있음

※ 출처 : 대한경제(2024.06.11), 갈 길 잃은 '모듈러'...재사용 기준이 없다
 ISO(2020.01), ISO 20887:2020 Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance
 국토교통부(2022.01.11), KDS 14 20 62:2022 프리캐스트 콘크리트구조 설계기준

4 해외 제도·사례 동향: 재사용의 제도화

□ EU: 제품(CPR)·건물(EPBD)·평가(Level(s))의 해체·재사용 제도화

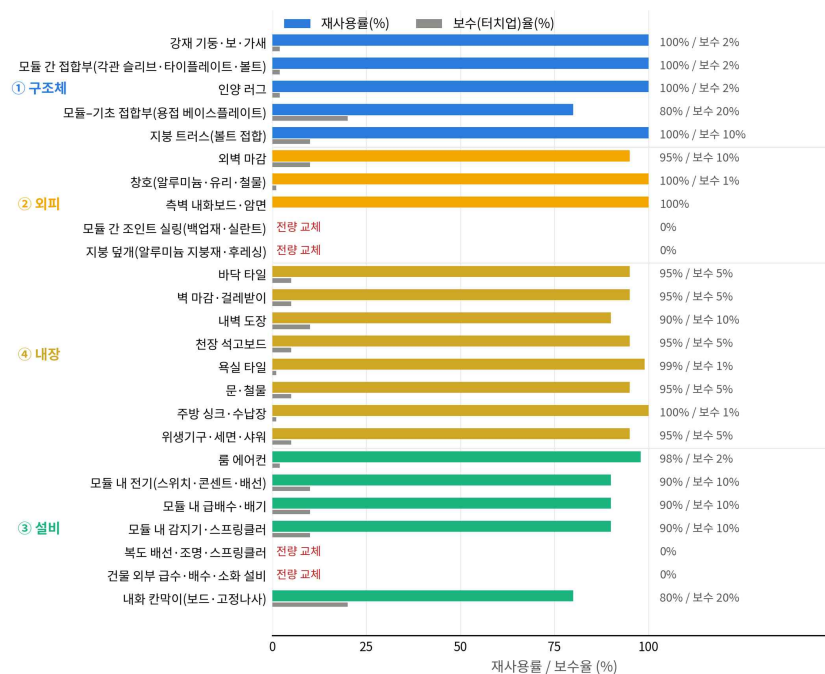
- CPR은 해체 용이성을 기본요구사항에, 부속서 III는 재사용 가능 부위·수량 식별을 제품 환경요건에 두고, EPBD는 전 과정 GWP 공시와 한계 값 로드맵을 요구
 - Level(s) 매뉴얼은 설계 방식과 철거 공정과 보관 공간 및 치수 차이로 인한 수요 부족을 재사용 장벽으로 들고 구조재는 시험 비용과 구조기술자의 보수적 판단까지 고려하도록 안내
 - ReCreate는 2021년부터 4개국에서 1960~80년대 PC 건물을 해체해 부재 1,878개를 DB로 구축했고 H22 전시관은 무게 기준 94%를 재사용 자재로 시공
 - ReCreate 실증국은 회수 부재의 폐기물 지위 판단과 품질 보증 및 인허가를 공통 과제로 확인했고 CE 마킹이 적용되지 않는 재사용 부재는 핀란드에서 현장별 제품 승인으로 사용을 허가
- 네덜란드는 2016년 프로그램(2050 순환 경제)에 이어 NPCE 2023~2030에서 유연 주택 연 15,000호를 순환 조달과 해체할 수 있는 건물로 진행하고 있음
 - NPCE는 소수의 공공 발주자가 사실상 모든 인프라를 관리하므로 공공 조달이 시장을 바꿀 수 있다고 보고, 발주자에게 감축·재설계·재사용 전략을 요구
 - 로테르담은 순환건설 전략을 건물 재료 여권, 자재 허브, 디지털 거래장터, 콘크리트 협약으로 구성하고, 핀란드 지자체는 조달, 토지 배분, 철거 허가를 순환 목표와 연계하도록 운영하고 있음
 - 탐페레시는 2022년 공공 택지 양도를 순환 주거 콘셉트 공모로 운영해(통 강재 보 재사용 > 재생강 > 신규 목구조 순으로 평가) 보조금 없이 대형 건설사의 참여를 끌어냄

□ 영국: 재사용 강재의 기술-계약-보험 체계

- SCI P427(2019) → BCSA 회수 강재 구매 시방 → IStructE 설계자 지침(2023) → Aviva 손실 방지 기준(2025.10)이 순차 정비되어 재사용 부재가 '관리 가능한 리스크'가 되는 인프라 형성
 - ReCreate는 실증에서 기술보다 국가 규제가 큰 장벽이었다고 보면서 핀란드 환경부는 사용 가능한 상태로 체계적으로 회수하고 수요가 있는 부재는 폐기물로 보지 않는다고 해석
 - IStructE 지침은 재사용 강재의 탄소집약도를 50kgCO₂e/t(신재 1,740)로 제시하고, 업계 설문(2001→2012)에서 재사용률이 8%→5%로 하락한 반면 재활용률은 85%→91%로 상승했다고 제시
- BCSA는 2022년 1월 강구조 표준시방서에 붙이는 지속가능성 시방을 내고 계약 문서에서 재사용 강재 조달 기준과 준공 구조물의 추적 기록 제출 의무를 함께 지정할 수 있도록 마련
 - 같은 시방은 철골 시공사가 부재 형상과 검사 증명서와 EPD와 도장 두께 및 해체 관련 정보와 제작 모델 IFC 사본을 준공 기록에 담아 유지관리 매뉴얼로 넘겨 향후 재사용에 대비하도록 규정
 - BCSA 구매 시방은 공급사에 부식에 따른 두께 손실 5% 초과 여부를 전수 확인하고 ISO/IEC 17025 인정 시험소에서 시험하며 해체 전 조사까지 추적되는 부재 표식을 남기도록 요구

□ 홍콩: 정책 → 실제 이전 → 기술보고서 → 표준 유닛 대량 공급_공공이 보유·운용하는 표준 유닛 풀

- 정부가 과도기 주택 MiC 모듈의 해체·재사용을 공식화했고, Nam Cheong 220(68모듈)은 2023년 타이포로, LST Housing은 초이홍 8층 331호(이전 108호분)로 재조립
- CIC·홍콩이공대는 2023년 10월 보고서에서 NC220 모듈의 재사용률을 건물 전체 약 95%와 구조 강재 100%로 보고하고 용접 대신 건식 기초 접합과 인터로킹 모듈 접합을 권고
- 같은 보고서는 해체 용이 설계와 설계·시공·해체 통합 발주와 BIM 해체 모델 및 디지털 재료여권과 사용자·유지관리 매뉴얼을 권고해 ISO 20887 및 CPR의 정보 관리 방향과 일치
- 후속 간이 공공주택 30,000호(13개 사업)는 3개 표준 유형으로 공급되어 '같은 목적 안의 반복 사용'은 실증되었으나, 부지 반환 후 다른 목적으로 전환하는 계획은 공식 문서에서 확인되지 않음



[그림] 홍콩 NC220 모듈(68개) 해체 후 부위별 재사용률·보수율(2년 사용) — 손실은 기초 용접부·조인트 실링·복도 배선 등 유닛 경계부에 집중

※ 출처 : CIC & PolyU(2023) Appendix A를 바탕으로 저자 재구성

European Union(2024.11.27), Regulation (EU) 2024/3110 laying down harmonised rules for the marketing of construction products

European Union(2024.04.24), Directive (EU) 2024/1275 on the energy performance of buildings

HKSAR Government(2023.02.18), Relocation of Nam Cheong 220 starts today

Legislative Council(2023.11.29), LCQ17: Transitional housing projects

BCSA(2022.03), Model specification for the purchase of reclaimed steel sections

kaupunki(2022.05), Tontinluovutus 06/2022 – Vähähiilinen kiertotaloustalo

□ 일본 — 민간 유닛하우스 렌탈과 공공이 협업하는 응급가설주택 체계

- 산쿄프론테아(약 93,000동 보유, 698개 거점)와 나가와는 유닛하우스를 제작·렌탈하는 기업으로, 회수한 유닛을 품질검사와 정비를 거쳐 다시 렌탈하거나 중고로 판매하는 순환을 상시 운영
- 재사용이 성립하는 이유는 단위 규격 통일, 유사한 용도군, 회수 정비의 사업모델 내장, 렌탈로 소유권·이력·정비 책임이 제조사에 있기 때문에 가능
- 재해 시 응급 가설주택은 프레하브건축협회가 47개 도도부현과 맺은 협정에 따라 회원사의 렌탈 재고를 호출해 공급하므로, 민간 렌탈 유닛 풀이 공공의 비축 역할을 겸함

5 국내 현황과 제도 공백

□ 국내는 사용기간이 정해진 공공 모듈러 수요가 제도화되어 반납·해체 물량이 발생하나, 유닛·부재 단위 재사용은 시범 단계

- 교실 모듈러와 재난 모듈러가 그 대표 수요로, 교육부와 LH가 사용기간과 요구 성능을 정해 두어 반납 및 해체 물량이 구조적으로 발생함
 - 교육부는 2021년 1월 임대형 모듈러 교사를 조달청 혁신 시제품 과제로 올렸고 서울시교육청 지침은 교육부 요구 성능으로 임대 후 해체·이동·재설치 용이성과 재활용률 80% 이상을 제시
 - 교실 모듈러는 임대사업자가 보수와 보험을 맡아 여러 학교에 돌려 쓰는 유닛 풀로 운영되지만 업체마다 모듈 시스템과 규격이 달라 서로 호환되지 않고 부재 이력 관리와 재인증 체계도 부재
 - 한국토지주택공사는 세종·대구 권역에 재난 대응 모듈러주택 100호를 표준설계로 비축해 재난 시 7일 이내 설치를 목표로 하며, 계속 거주를 원하는 이재민에게는 자가 매입용 설계도서를 제공할 계획 마련



- 경기주택도시공사는 학교 임시교실로 사용 후 반납되는 모듈러를 공사 현장 가설사무실에 시범 도입하고 3기 신도시로 확대한다고 발표
 - GH는 모듈러 공공주택 건설을 주도하는 공공기관으로서 재사용 분야도 발굴하겠다고 샌드위치 패널 가설사무실보다 철거 폐기물이 적고 단열·화재에 강한 점을 반납 모듈러 활용 효과로 제시
 - GH는 2024년과 2025년 상반기에 가설사무실을 설치할 하남 교산 지구 본 단지와 기업이 전 단지에 먼저 적용하고 학교의 모듈러 운영 일정과 현장 사용 시기를 미리 맞춰 설치할 계획
- PC 공동주택·강구조 같은 부재형 OSC의 부재 단위 재사용 사례는 국내에서 찾아보기 어렵고, 1990년대 PC 공동주택이 재건축되더라도 부재는 회수되지 않고 파쇄·순환골재로 처리되는 구조임
 - 재사용에 성공한 북서유럽 32개 사업에서도 구조층 재사용률은 질량 기준 1~5%에 그치고 스웨덴은 1984~2002년 초기 사례 이후 2022년 두 건의 파일럿으로 PC 재사용을 재개
 - 2023년 국내 건설폐기물 약 6,480만 톤 가운데 79%가 순환골재로 생산됐고 그중 37%가 성토·복토용으로 쓰여 해체된 콘크리트는 대부분 파쇄를 거쳐 낮은 등급의 용도로 순환

□ 재사용을 가로막는 것은 기술보다 이력·기준·발주·인허가의 공백이며, 현행 기준에도 부분적인 점은 있음

- 콘크리트 부재는 KDS 14 20 90(기존 콘크리트구조물의 안전성 평가기준)의 코어 강도·철근 인장시험·재하시험 규정을 회수 PC 부재 평가에 준용할 여지가 있음
 - 관련 기준은 현 위치의 구조물을 대상으로 하므로 해체·운송·재설치된 개별 부재와 접합부, 반복 양중 손상, 탄산화 기반 잔존수명은 범위 밖이고, 강재 부재·유닛 단위에는 상응하는 기준이 없음
 - 2024년 12월 신설된 건축물 PC 설계기준 KDS 41 20 10은 공장 제작부터 현장 시공과 완공까지의 안정성 확보를 목적으로 정해 해체 후 두 번째 사용에 관한 규정은 아직 미비
 - KDS 14 20 90은 실측 단면과 재료 강도로 평가하면 강도감소계수를 인장지배단면 1.0까지 올릴 수 있게 하나 재하시험으로 직접 평가하는 대상은 건물의 보·슬래브 같은 휨부재로 한정
- 건축법 시행령상 이전은 같은 대지 안에서 옮기는 것만 뜻해 재사용 모듈을 다른 대지에 다시 세우면 신축 인허가를 새로 받아야 하고 가설건축물로 두면 존치기간 3년과 연장 횟수 제한을 적용
 - 모듈러 특별법안의 소규모 인정 특례(제31조)는 동일 인정 유닛의 재설치 부담을 줄일 수 있는 통로이나, 가설건축물은 법안의 적용 범위 밖이어서 임시교사·가설사무실에는 적용되지 않음
 - 교육부 임대형 모듈러가 혁신 시제품으로는 구매만 가능해 조달청 카탈로그 임대 상품으로 따로 등록된 사례처럼 회수·재사용 모듈도 공공 조달에서 정식 물품으로 거래할 근거 마련을 검토
 - 청주교육지원청은 인근 학교 개교까지 10년간 쓸 내곡초 모듈러 교실을 구매해 일반건축물로 등록하고 일반 교실과 같은 건축·소방 법령을 적용받도록 할 계획을 2021년 발표
- 「건축물관리법」의 해체계획서는 해체공법·구조 안전·해체물 처리계획까지 요구하지만 재사용 가능 부재의 회수 계획은 항목에 없고, 완료 신고도 폐기물 처리확인서로 끝나도록 설계되어 있음
 - ISO 20887은 해체 매뉴얼의 작성과 이전을, 홍콩 CIC는 사용자 매뉴얼을, 스웨덴은 철거 허가 시 재료 목록·재활용 계획 제출을, EU ReCreate는 철거 전 감사를 각각 요구함
 - 건축물관리법 해체계획서에 재사용 회수 계획과 유닛·부재 이력 항목을 추가하는 방안은 핀란드·스웨덴이 철거 허가에서 재사용 가능 부재를 검토하게 한 사례에 비춰 최소한의 조치로 검토
 - 특별법안은 인증 기준과 표준화 기준을 하위법령에 위임하고 있으므로, 이를 구체화할 때 재사용·이전 설치를 함께 고려하면 추가 입법 없이도 '두 번째 생애'를 제도에 담을 수 있음

〈표〉 재사용 전 과정의 국내 제도 매핑과 공백

단계	필요한 장치	현행 제도·접점	공백
설계·제조	DfD 기준, 재사용 횟수·재인증 조건, 유닛 ID, 표준 차수·하중 등급	특별법안 내 인증, 표준평면 등 (세부 기준 위임)	DfD·표준화·재사용 항목 반영 여지; 가설건축물 제외
1차 사용	유닛 이력 기록	건축물대장 기재	유닛 단위 이력 체계 없음
해체	재사용 회수 계획, 손상제어 해체	해체계획서(해체물 처리계획)	회수·재사용 항목 부재
재인증	잔존 성능·화학 안전 평가	기존 콘크리트구조물의 안전성 평가 기준(KDS 14 20 90)	해체 부재·접합부·유닛 기준, 시방·보험 없음
재설치	인허가 특례, 구조 안전 확인	신축 절차, 존치 기간, 제31조 인정 특례	재설치 특례 없음
조달·폐기물	재사용 물품 구매 근거, 재사용 인센티브	건축물 관리법 등	재활용 지향, 재사용 유인 없음

※ 출처 : CIC & PolyU(2023) Appendix A를 바탕으로 저자 재구성
 서울특별시교육청(2022.12), '서울형' 그린스마트 스쿨 모듈러 임시교사 설치 기준 및 가이드라인(안)
 대한경제(2024.06.11), 갈 길 잃은'모듈러'...재사용 기준이 없다
 국토교통부(2021.02.18), KDS 14 20 90:2021 기존 콘크리트구조물의 안전성 평가기준
 국토교통부(2024.12.24), KDS 41 20 10:2024 건축물 프리캐스트 콘크리트구조 설계기준
 국가법령정보센터(2025.06.02), 건축물관리법 시행규칙

6 시사점

□ 시사점 1 : 재사용 가능성은 설계·제조 시점에 결정되므로, OSC 인증·설계기준에 해체 용이 설계(DfD) 요건을 내장할 필요

- 분리형 접합과 층위 분리 및 유닛 이력과 표준 치수 같은 재사용 요건은 설계·제조 단계에서 정해지므로 모듈러 특별법안 하위법령의 인증·표준화 기준과 설계기준에 먼저 반영하는 방안을 검토
 - DfD 원칙과 Level(s) 지표의 평가 항목 등을 한국형 점수 체계로 전환하면 인증 항목으로 쓸 수 있고, 이는 EU CPR이 해체 용이성을 기본요구사항으로 둔 만큼 수출 경쟁력과도 연관성이 있음
 - 적용은 임시교사, 재난주택, 가설 사무실처럼 공공이 발주하고 사용기간과 용도가 명확한 건축물부터 시작하여, 현장 적응성과 운영상의 문제점을 확인한 뒤 단계적으로 확대하는 것이 현실적
 - 2024년 신설된 KDS 41 20 10이 탈형부터 완공까지 단계별 하중 검토를 요구하는 만큼 다음 개정에서는 해체와 운반 및 재조립 단계 검토를 같은 방식으로 추가하는 방안을 검토

□ 시사점 2 : 병목은 기술보다 재인증-인허가-조달-보험의 제도이며, 이를 하나의 패키지로 설계 필요

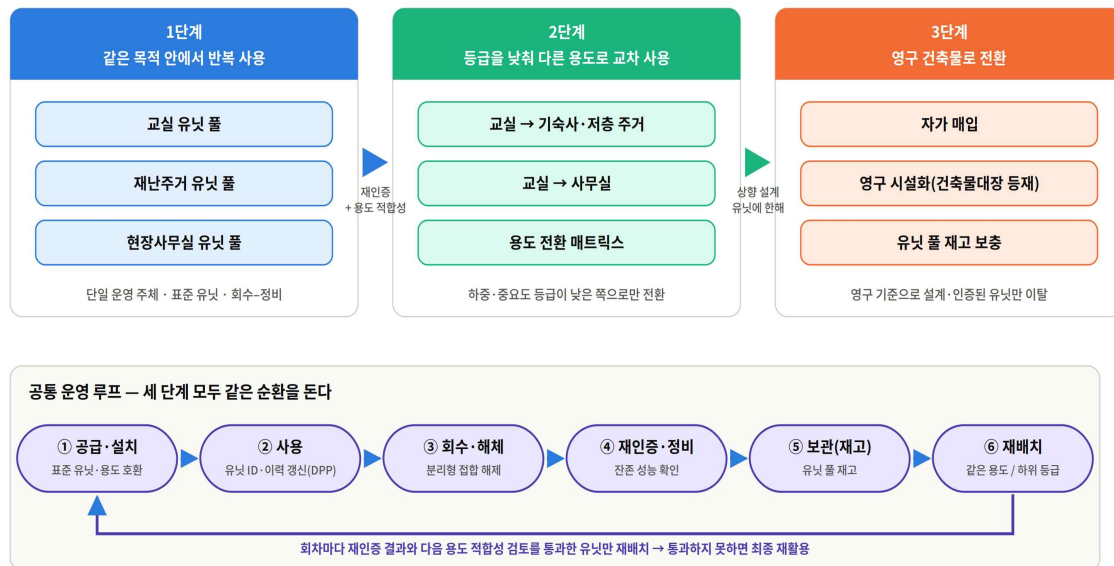
- 영국(프로토콜-시방-보험), EU(DPP·폐기물 지위 판정), 노르웨이(재사용 선언 표준) 사례는 재사용 부재가 관리할 수 있는 리스크가 되려면 기술 검증과 제도가 함께 갖춰져야 함을 보여줌
 - 강재와 PC 재인증 절차를 유닛 단위로 확장한 한국형 프로토콜을 만들고, 재설치 인허가 특례, 공공 조달의 구매 근거, 보험 인수 가이드를 함께 마련할 필요
 - 유럽 실증의 가장 큰 쟁점이 폐기물 지위와 인증 불가였으므로, 체계적 해체·시험·문서화·사용처 입증은 재사용 적합 판정 요건으로 명문화 필요
 - 설계·제조 단계에서 만든 유닛 이력을 건축물관리법 해체계획서의 재사용 회수 항목과 연결하면 해체 시점에도 시험·정비 기록과 부재 정보가 다음 소유자에게 넘어가는 경로를 확보
 - 순환 경제사회 전환 촉진법은 유가성과 수요를 갖춘 물건을 순환자원으로 인정해 폐기물에서 빠지만 2024년 첫 지정 품목은 폐지·고철 등 원료여서 회수 부재·모듈을 대상에 넣는 방안을 검토

□ 시사점 3 : 재사용 횟수는 재인증·용도 적합성 검토와 회수·정비 체계로 결정

- 설계 단계에서는 상정 사용주기와 재사용 시나리오를 명시하되 실제 반복 여부는 회차마다 재인증과 2차 용도 적합성(하중·치수·잔존 수명 등) 검토로 판단해야 함
 - 재사용 횟수를 좌우하는 변수는 사용 사이의 보수, 교체, 접합부, 인양점, 보관 단계의 누적 손상이므로, 횟수 목표는 회수·정비 체계와 함께 정의되어야 함
 - 설비·내장처럼 교체 주기가 짧은 층위를 구조체와 분리해 두면 재사용 비용의 대부분을 차지하는 개보수 부담을 줄일 수 있음
 - ReCreate는 확보된 정보 수준에 따라 시험 범위를 정하는 지식수준 기반 시험 체계를 제안해 회차별 정비·시험 기록이 쌓일수록 다음 재인증의 시험 부담을 줄일 수 있는 근거를 마련

□ 시사점 4 : 재사용을 좌우하는 것은 유닛의 성능보다 이를 보유·회수·재투입하는 운영 주체와 체계이므로, 목적별 표준 유닛 풀 고려

- 홍콩 과도기 주택과 일본 유닛 하우스 렌탈은 공공·렌탈사가 표준 유닛을 보유해 회수·정비까지 맡는 유닛 풀로 재사용을 반복하나 국내는 교실·재난주택·현장사무실 수요를 묶을 주체가 부재
 - 1단계로 교실 유닛 풀(교육청 발주, 공동 임대), 재난 주거 유닛 풀(LH 표준설계 비축), 현장사무실 유닛 풀(GH 시범사업)을 같은 목적 안에서 반복 사용하는 체계를 만드는 것이 필요
 - 2단계는 교실처럼 활하중 3.0kN/㎡와 내진 중요도(1)로 설계된 유닛을 기준이 더 낮은 4층 이하 기숙사·주거로 돌려쓰고 3단계는 영구 건축물 기준 유닛에 한해 영구 전환을 허용
 - 서울시교육청 지침은 모듈러를 구매하면 중장기 수급 관리 인력과 시스템 및 일정 기간 야적할 부지가 따로 필요하다고 보아 유닛 풀 운영 주체에는 보관 거점과 수급 관리 기능을 함께 부여할 필요



[그림] 목적별 표준 유닛 풀의 3단계 구축·운영 모델(제안)

□ 미래 발전방향 및 결론

- OSC는 공장에서 ‘빨리 짓는 기술’에서 ‘여러 번 쓸 수 있는 자산’으로 재정의할 필요성이 있으며, 새로운 기술보다 접합, 이력, 재인증, 표준화, 제도 등의 종합적 설계가 필요한 것으로 판단됨
- EU는 규제와 PC 실증으로 영국은 기술·계약·보험으로 홍콩은 표준 유닛 대량 공급으로 일본은 민간 렌탈과 공공 협정으로 재사용을 제도화해 국내도 모듈러 공급 확대 초기에 이를 반영할 필요
- 국토교통 R&D는 접합 실험 DB와 재인증 프로토콜과 디지털 이력 및 용도 전환 매트릭스를 공공 유닛 풀 실증 하나로 묶어 재사용 유닛이 보험·조달·인허가를 받을 수 있는 근거를 마련
- 재사용형 OSC의 사업 지표는 공사비 및 공기 중심에서 사용주기×재사용 횟수, 잔존가치, 전 과정 탄소 중심으로 전환될 전망

※ 출처 : CIC·PolyU(2023.10), Technical Report on the Deconstruction, Relocation and Reinstallation of MiC Units in Nam Cheong 220
 국토교통부(2024.12.24), KDS 41 10 05:2024 건축구조기준 총칙
 국토교통부(2022), KDS 41 17 00:2022 건축물 내진설계기준
 관계부처 합동(2026.08.13), 전월세 및 매매시장 안정을 위한 주택 신속공급 방안