

Global Report

혁신적인 건설재료기술과 지속가능한 개발

1. 개요
2. 소개
3. 건설 분야 혁신의 여건조성
4. 과거로부터의 학습을 통한 건설 기술혁신
5. 자체적 혁신 - 연구결과의 발견
6. 건설 분야 혁신 역량
7. 전체론적 접근방식의 건설 분야 혁신
8. 결론

1. 개요

건설 산업이 환경에 미치는 부정적인 영향문제를 해결하기 위한 그 해답으로 건설 산업의 혁신이 제기되고 있다. 독창적이고 혁신적인 연구는 달성되어야 할 그 일의 일부일 뿐이다. 기존의 방식이 사회에 깊이 뿌리내리고 있고 안전과 장기적인 신뢰성이 요구되는 곳에서 실질적인 혁신의 구현이 보다 더 중요하다. 자연에서 얻은 교훈과 과거로부터 전해 내려온 오래된 사례들에 대한 연구는 지속가능성에 기여하는 혁신적인 접근 방식에 지침이 된다.

2. 소개

오늘날 “혁신”이란 말은 현대 경제의 키워드가 되었지만 엔지니어링 분야에 있어서도 혁신은 새로운 세계적인 관심이 되고 있는 것 같다.

과거뿐만 아니라 현재의 건설 분야의 혁신은 기술과학의 핫스팟이다. 홍콩의 건설 산업협회의는 특히 지속가능한 개발을 지향하는 “건설혁신상(Innovation Construction Award)”이란 제도를 올해에 비로소 제정하였다. 10년 전 건설관리 분야에서 세계 최대의 단체인 영국건설협회(Chartered Institute of Building-CIOB)는 “건설 분야의 혁신 : 아이디어는 미래의 통화(Innovation in construction: ideas are currency of the future)”라는 제목으로 보고서를 발간하였다. 10년이라는 오랜 시간과 영국제도와 홍콩이라는 공간 속에서 이러한 사례들은 문제가 오래되었다는 것을 증명하는 것이다. 최근(2017년 10월) 폴란드 과학 아카데미의 제63차 토목공학회의와 폴란드 건설 엔지니어와 기술자협회의 과학위원회에서는 건축기술의 혁신과제들을 공식화했다. 그 주제는 그 유효성을 잃지 않았지만 몇 가지 이유로 새로운 문제들이 야기되었다. 토건분야 개발의 패러다임을 정의하고 지식기반 건설기술에 대한 더 넓은 관점을 구사하려는 시도가 이루어지게 되었다.

혁신이란 새로운 아이디어의 성공적인 활용을 의미한다. 보다 정확하게 말하자면 혁신이란 새로운 기술이나 절차가 산업계에 성공적으로 도입되는 것으로 정의될 것이다. 그러한 경우 연구개발은 산업계에 혁신을 도입하기 위해 수행되는 프로세스로 이해될 것이다. 지속적인 혁신은 건설 산업의 지속가능한 발전에 필수적이다. 창의적인 아이디어와 혁신적인 솔루션은 특히 오늘날과 같은 역동적인 세상에서 성장과 효율성에 영향을 미치는 중요한 수단으로 인식된다. 아이디어가 혁신을 뛰어넘어야 한다는 신념은 간행물을 통해 입증되어 왔다. 본 연구의 목표는 건설 혁신에 대한 과학적 배경을 강조하려는 것이다. 건설 혁신은 그 영향의 범위와 건축 구조물의 건설 및 사용과 관련된 책임문제로 인해 엔지니어링 혁신에서 특별한 위치를 차지한다. 이러한 목표를 위해 건설 혁신에 대한 정의는 구체적인 문제점, 한계 및 가능성과 함께 공식화될 필요성이 있다.

3. 건설 분야 혁신의 여건조성

3.1 건설 혁신과 기본적인 요건(CPR-EU 305/2011).

혁신은 변화를 의미한다. 제품 혁신, 프로세스 혁신, 조직 혁신 및 마케팅 혁신 등이 있다. 단지 건설과 관련된 “무엇을 하는 것”으로는 건설 그 자체로 그리고 그 주변 환경까지도 아주 나쁜 영향을 줄 수 있다.

혁신은 긍정적인 결과 측면에서는 엄청난 가치를 제공하지만, 부정적인 측면에서 지속적인 관행의 파괴로 인한 하나의 재앙(catastrophe)으로서 물질적 및 개념적 의미에서 명백한 장애물이다. 혁신적인 방법에 의해 건물이 해체 또는 붕괴될 수도 있다. 이 경우는 미래를 위해 배울 수 있는 하나의 교훈으로서

이러한 불행하거나 치명적인 사건을 스마트하게 활용하는 것도 하나의 방법이다. 그것은 가장 고통스럽고 비용이 많이 드는 것들이지만 일반적으로 매우 효과적인 혁신의 근원이다.

안전과 책임측면으로 인해 건설 활동은 항상 함무라비 법전(1750BC) 시대 이래로 그리고 건축서(De architectura, 50 BC)의 저자인 마르쿠스 비투루비우스(Marcus Vitruvius) 이후로 소위 말하는 기본요건(fundamental requirements)을 충족해 왔다. 현재 건설 기본요건은 유럽의 건설공사 기본요건(CPR-EU 305/2011)에 설명되어 있다.

건설 산업은 전체 생산되는 전력의 42%를 사용하고 있으며 전체 온실가스의 35%를 방출하고 있다. 콘크리트 업계 한 분야에서만 매년 자갈 200억 톤, 시멘트 40억 톤, 물 8억 톤을 사용하고 있다. 이러한 막대한 양의 재료 소비는 건설 산업에서 지속가능한 개발원칙에 대한 실행을 필요로 하게 만드는데 그 개발원칙은 유럽집행위원회의 이니셔티브에서 공식인정을 받은 것이었다. 적절한 규제가 실행되기까지는 Brundtland's concept이 제기된 이래로 사반세기가 걸렸다. 2011년 3월 건설 공사의 기본 요건 신규 버전인 CPR-EU 305/2011이 발표되었는데 그 요지는 다음과 같다 :

1. 기계적 저항 및 안정성
2. 화재시 안전
3. 위생, 건강 및 환경
4. 사용상 안전 및 접근성
5. 소음 방지
6. 에너지 경제 및 보온성
7. 천연자원의 지속가능한 사용(2011년 신규 요건)

3.2 건설 혁신과 전통적 보수주의 건축(Construction innovation versus traditional building conservatism)

최종 제품의 수명이 그 설계자의 기대수명보다 더 긴 수명을 가진 분야는 없다. 이 경우 내구성과 신뢰성은 응용과학으로서 토건분야의 아주 독특한 특성이다. 결과적으로 다소 복잡한 여건 속에서 활용되는 기존 건설 분야는 현재의 건설 기술 상태에 대해 진단할 필요가 있다. 새롭게 건설되는 건축물은 리스크 분석 및 평가가 선행되어야 한다. 이러한 것들은 일부 보수주의(conservatism) 또는 보다 신중을 기하는 이유이기 때문에 실질적인 건축 혁신 구현의 전조(symptomatic)이다. 본질적으로 건축 혁신은 “불꽃놀이(firework)”가 되어서는 안 된다. 건설 분야에서는 “새로운 것(new)”이 “더 나은 것(better)”을 의미하지 않는다. 이것은 테스트 시 하나의 건물이 그 당시의 요건을 충족하는 것만 으로 충분하지 않음을 의미한다. 향후 성능이 얼마나 오랫동안 보장되는 지 등 이러한 요건도 충족할 수 있도록 해야 할 필요가 있다. 건물의 서비스 수명은 예측되어야 하며 서비스 수명의 예후도 요구된다. 이것은 극히 복잡한 문제이다. 예를 들어 엔지니어링 레벨에서 콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 미치는 요인들은 30가지 이상 언급될 수 있다.

2개월 마다 업데이트되고 있지만 수년 간 “Research Front Maps(본문 참고문서 [4] 참조)”에 토건 엔지니어링 주제가 부족하다는 사실은 눈여겨 볼만하다. 또한 발명에 영향을 미치는 상위 200개 주요기관 중 특히 건축 기술과 관련 단체를 찾는 것은 어렵다.

동시에 건축 업계는 인구 변동 니즈에 따른 지속적인 압박을 받고 있다. 건축 기술의 진보는 성장 페티쉬(수량)와 개발 페티쉬(사용 편의성) 사이의 균형을 구축하는 것을 의미한다. 또한 자연적인 장벽도 존재한다. 건축 산업에 의해 매년 소비되는 엄청난 양의 재료들은 지구상에서 이용 가능한 원자재와 고농

도로 농축된 퇴적물들에 대해 문제를 발생시키고 있다. 이것은 포틀랜드 시멘트의 경쟁자를 찾지 못하는 이유이기도 하다. 따라서 같은 문제가 콘크리트에도 적용된다. 근본적인 건설 재료의 진보는 대체에 의해서가 아니라 수정에 의해 이루어져 왔다. 대체적으로 토건분야의 진보는 진화(evolution)에 의해 이루어지며 혁명(revolution)에 의해 이루어지지 않았다. 복합소재의 특성을 더 잘 이해하고 건축 경험을 수집하고 설계방법을 길러나간 것이 그 결과이다. 혁신은 연구결과일 수 있으나 연구 프로그램과 관련이 없는 기술적 참신함 일 수도 있다. 그러나 과학적 연구 이외의 소스로 부터 나오는 혁신을 구축하려면 지식 기반의 테스트 프로그램에 의해 신중하게 검증되고 입증되어야 할 필요성이 있다. 우리는 주어진 “혁신적인 요소”에 집중할 뿐만 아니라 건축 전체를 바라보아야 한다.

3.3 자연으로 부터의 학습

음식 및 의복 이외에 인간의 기본적인 요건은 항상 태양열, 폭우 및 추위 등과 같은 요소로부터 보호하는 것이었다. 건축의 개념을 깨달은 아주 초기의 사람들은 추위를 막기 위해 불 주변에 모여들거나 바위, 쉼터에 몸을 숨겼던 시기의 사람들일 것이다. 이것은 날씨로부터 보호하는데 돌을 사용하는 아이디어를 일깨워주었다. 그러나 자연의 동식물 관찰뿐만 아니라 자연 현상의 관찰과 경험은 항상 건설 및 건축 재료의 혁신을 위한 원동력이 되어 왔으며, 원래 이용 가능한 재료의 단순한 사용에서부터 궁극적으로 특정 목적과 용도를 위한 건축 재료의 실질적 엔지니어링 및 생산으로 까지 이어졌다.

동물의 건축 활동에 대한 심층 연구를 통해 놀랍도록 세련된 건축물과 복잡한 건축원리가 밝혀졌다. 정확성 측면에서 동물의 건축 활동은 종종 인간의 건축기술 수준을 능가한다. 동물들이 그들 자체와 후대를 위해 짓는 집은 건축이 사람을 위해 존재하는 것처럼 그들 존재에 필수적이라는 것이 분명하다. 동물의 건설 활동은 인간의 건설과 같은 기본적인 목적을 제공한다. 동물의 건설 활동은 동물들 자체 또는 그들 후대의 생존 및 번식가능성을 개선한다. 동물의 건설 활동의 많은 구조적 및 기능적 성과들은 놀랄만한 완벽한 사례들이다. 수백만 년의 진화론적 발달과 적응을 통해 동물의 건설 활동은 그들 삶의 여건에 대한 완벽한 반응이 되어왔다. 동물의 건설 활동은 인간의 건축 활동처럼 같은 종류의 기능적 니즈를 충족시킨다. 동물들은 우리 인간의 건설 활동과 흡사한 많은 것들을 발달 시켜왔다 : 즉, 도로(개미), 포장도로(흰개미), 깊은 우물(흰개미), 난방 및 습기 조절 시스템(흰개미, 꿀벌, 개미 및 기타), 계단 및 경사로(흰개미) 및 힌지도어(트랩 도어 스파이더). 동물의 건설 활동은 진화, 전통 및 생태적 적응에 중요한 창을 열어 준다.

4. 과거로부터의 학습을 통한 건설 기술혁신

목공사가 시작되기 이전의 시대는 신석기 시대(대략 기원전 9천년에서 기원전 5천년)이었다. 유목 사냥 채집가들은 지역에서 나는 재료와 전통적인 디자인과 방법을 사용하여 토속건축으로 알려진 단순한 쉼터와 텐트를 지었다. 건축 도구는 뼈, 돌 또는 목재와 같은 천연재료로 만들었다. 사람들의 쉼터는 처음에는 매우 단순했으며 아마도 단지 몇 일 또는 몇 달 정도 유지되었던 것으로 보인다. 그러나 시간이 흐르면서 모든 임시 구조물은 이글루와 같이 고도로 개선된 형태로 발전되었다.

동기시대(Copper Age)는 청동기 시대의 초기이다. 동기시대는 기원전 약 5천년 경 그리고 청동기 시대는 기원전 약 3천1백년 경으로 보고 있다. 청동(구리와 주석의 합금)은 원하는 모양으로 주조되었으며 손상되면 다시 주조될 수 있었다. 톱이 발명되었으며 최첨단의 도구를 만드는데 청동이 사용되었다. 또한 바퀴가 발명되었으며 무거운 짐을 이동하기 위해 썰매와 롤러를 서서히 대체해 나아갔다. 점차적으로 농업이 출현하면서 사람들이 더 오랫동안 한곳에 정착하기 시작하면서 보다 더 내구성이 있는 건축들이 나타나기 시작했다. 초기에 주택은 쉼터 형태이었지만 나중에 음식저장 및 축제와 같은 기능을 하

는 건축물은 별도의 건축물에서 이뤄지게 되었다. 일부 건축물은 건축과 건물간의 구별이 시작되면서 기능적인 가치를 추구할 뿐만 아니라 상징적인 가치를 갖기 시작하였다. 둥근 아치(corbelled arch)형 구조물이 사용되기 시작했고, 이집트 사람들은 기둥과 인방을 시공하는 방법으로 석조사원 건축을 시작하였다. 그리스와 로마인들은 이러한 스타일을 이어받았다.

철기시대는 기원전 1200년경에서 기원전 500년경까지의 시기이다. 철은 청동에 비해 훨씬 단단하지는 않았지만 약간의 탄소를 첨가하여 기원전 300년경부터 단단하고 내구성이 있는 강철이 생산될 수 있었다. 건물의 역사는 많은 추세들로 점철되어 있다. 사용되는 재료의 내구성을 증가시키는 것은 하나의 추세이다. 초기의 건축 재료는 나뭇잎, 가지 및 동물 가죽 등 썩기 쉬운 것들이 포함되어 있었다. 나중에 점토, 석재 및 목재와 같은 내구성이 더 좋은 천연재료와 마침내 벽돌, 콘크리트, 금속재 및 플라스틱과 같은 합성재료가 사용되었다. 또 다른 추세에는 이전 보다 더 높고 더 스패인 큰 건물을 추구하는 것이다. 즉, 이것은 보다 강력한 재료의 개발과 재료의 거동원리와 그 특성을 더 잘 활용하는 방법에 대한 지식에 의해 가능하게 되었다. 세 번째 언급할 추세는 건물 내부 환경을 관리하는 수준과 관련이 있다. 즉, 기온, 조명 및 소음수준, 습도, 악취, 풍속 및 인간의 안락함에 영향을 미치는 기타 요인들에 대한 보다 정밀한 규제가 점차 가능하게 되었다. 또 다른 추세는 인간의 근육에 의한 힘으로 시작하여 오늘날 사용되는 강력한 기계류로 발전하면서 건설과정에 쓰일 수 있는 에너지의 변화이다. 더욱 중요한 것은 오늘날 그 잠재력이 무한한 IT툴이다. 즉, BIM(Building Information Modelling + Building Information Management)은 기술지식, 사업관리 그리고 설계 및 시공 프로세스의 다차원적 디지털 모델링을 통합하는 기능을 한다. 지속가능한 개발 요건을 구현하는 것은 어떤 다른 요건보다 더 우수해야만 한다.

5. 자체적 혁신 - 연구결과의 발견

인지적 감각으로 혁신이 우연한 발견인지 과제 지향적 연구의 결과인지에 대한 의문이 제기된다. 발견하는 것이 “무언가를 한다(do something)”를 나타내는 한편 발명한다는 것은 “무언가 일어나게 하는 것(let it happen)”을 의미한다. 만약 우리가 첫 번째 개념을 사용한다면 현재 구현된 혁신에 관계없이 우리가 알지 못하는 미 발견된 일련의 혁신들이 여전히 있는 것으로 예상할 수 있다. 인지적 장치(cognitive apparatus)의 개선으로 인해 점진적인 혁신 매트릭스(I-matrix)의 발견이 가능하다(다음 장의 혁신 역량의 특징과 비교). 그러나 그러한 경우의 혁신은 사전 주문 또는 학습되지 않는 것이지만, 그 혁신들은 여전히 기대되고 자극되며 보상받을 수 있을 것이다.

지금까지 혁신은 정기적으로 일어난 적은 결코 없다. 그러나 최근 혁신 기대치는 야기하는 힘(causative force)을 일으킬 정도로 매우 크다. LAB-FAB-APP 이 세 가지 약어는 우리가 원하는 유럽의 미래를 설명한다. Labs는 연구, Fabs는 경쟁력이 있는 제작 혁신 그리고 Apps는 모두의 이익을 위한 애플리케이션을 의미한다. 전통적인 연구개발에서 연구혁신으로의 전환 증상이 나타나고 있다. 엔지니어링의 실질적인 혁신이 실제로 구현된 것처럼 다루어진다면 R&I는 지름길을 택하는 것처럼 들린다. “욕조 안의 아르키메데스(Archimedes in a bathtub)” 또는 “뉴우튼의 사과(an apple on Newton’s head)”와 같은 극적인 영감을 제외한다면 가치사슬은 좀 더 절차가 많아 보인다. 즉 : 아이디어-연구-발견/혁신-확인(validation)/검증(verification)-실행-혜택.

아이디어가 먼저 나오고 발견(discovery)은 혁신의 선구자일 뿐이다. 바이킹이 콜럼버스에게 말했던 것처럼 아메리카는 단지 한번만 발견될 수 있다. 건축 활동에서 혁신은 실행을 의미 한다 : 혁신은 발명만을 의미하는 것이 아니라 실제로 적용하는 것을 의미한다. 건축 혁신은 새로운 제품일 뿐만 아니라 건설의 새로운 공법일 수 있다. 혁신은 슈umpeter(Schumpeter)의 경제발전이론의 발전과 밀접한 관련이 있다

: 경제발전은 기존의 일을 하는 것보다 경제적으로 보다 더 실행 가능한 새로운 조합(혁신)의 불연속적 출현에 의해 이루어진다(숨피터, 1934). 숨피터의 혁신 개념은 다음 다섯 가지로 구분된다 :

1. 새로운 재화(good) 또는 재화의 새로운 질(제품 혁신)의 도입
2. 상품을 상업적으로 취급하는 새로운 방법(프로세스 혁신)을 포함한 새로운 생산방식의 도입
3. 새로운 시장의 개척(시장 혁신)
4. 원료 또는 중간투입재의 새로운 공급원의 획득(투입재 혁신)
5. 산업에 새로운 조직을 시행(조직 혁신)

혁신의 가장 중요한 특징은 실제로 수행되어지는 것이며 더 나아가 기업가가 같은 지점에 있는 다른 사람들을 이끌고 가도록하는 것이다. 즉, 혁신은 모방을 통해 확산되는 것이다.

이는 기술혁신이 개발의 기본 요건 중 하나일 뿐임을 의미한다. 그러나 혁신은 경제적 지위를 구축하고 경쟁우위를 확보한다.

6. 건설 분야 혁신 역량

단 한 번에 혁신 매트릭스(I-matrix)를 찾아낼 가능성은 없다. 그러나 그것을 찾아낼 수 있는 체계적인 노력을 할 필요성이 있다. 본문 참고문서 [3]에서 이미 이루어진 몇 가지 시도들을 확인할 수 있다. 혁신적인 건설과제와 관련된 주요 키워드는 본문 그림 4에 표시되었다. 이 매트릭스는 혁신과 직접적인 연관은 없지만 매우 혁신적인 과제보다 한발 앞서 있다는 것은 강조되어야 한다.

건설혁신 역량의 특성은 다음과 같다 :

- 여건(conditioning) : 사회적, 생태적 및 에너지 관련
- 기본적인 혁신 소스(sources) : 건축 재료기술 및 건설 산업 프로젝트 엔지니어링 및 기타
- 주요 잠재적 수혜자들 등장 : 건축구조물 및 건물 커튼/ 칸막이 벽재 등

특성에서 언급한 바와 같은 선택된 주제영역(thematic areas)은 혁신을 위한 여건(사용자, 환경, 에너지 효율성)을 식별하고, 그 액티비티의 주요 용도 (특수 건축요소로서의 건축 구조물 및 파티션)를 나타내며, 건축재료 엔지니어링 및 건축 프로젝트 엔지니어링과 같은 현재 가장 큰 혁신 잠재력을 발휘할 수 있는 과학 분야로서 토건분야를 지목하고 있다는 것을 암시하고 있다. 건물 칸막이를 강조해야 한다는 것은 현재 칸막이 벽재가 외부 환경과 건물 내부를 분리시키는 요소일 뿐만 아니라 건물의 에너지 균형에 적극적으로 영향을 미친다는 사실에 의해 결정되었다. 특히 이 분야에서 혁신 사례를 찾을 수 있다.

7. 전체론적 접근방식의 건설 분야 혁신

건설 분야의 혁신이 외견상 별개의 개념을 결합할 수 있고 숨겨진 추가가치를 간단한 방식으로 설명할 수 있다는 빅 아이디어(bign idea)가 본문 그림 6에 개략적으로 표시되어있다. 대량의 재료와 에너지 소비로 인해 지속가능한 개발요건이 문명의 필수품으로 되었다.

결과적으로 건설 산업에 있어 재료 해결책은 지구상의 재료와 고농도로 농축된 퇴적물에 존재하는 원료에 국한된다. 이것은 “새로운 콘크리트(new concrete)”라기 보다는 “수정된 콘크리트(modified concrete)”라는 것을 의미한다. 역설적으로 수정된 콘크리트는 기본적으로는 같은 구성요소를 사용하지만 아주 새로운 성능을 나타낼 수 있다. 콘크리트의 사회적 기능과 주택에 대한 기대, 특히 안전문제(관

련 책임)로 인해 건축 구조물은 기본적인 요건(CPR-EU 305/2011)을 충족해야 하며 내구성은 50년 이상을 보장해야 한다.

건축과 관련된 문제에서 공공의 신뢰는 매우 중요하다. 건축물을 구현하기에 앞서 독립적인 건축 혁신의 근원이 과학적으로 분석되고 평가되어야 한다.

경쟁적인 개발은 풍요롭고 멋지게 건설할 수 있도록 하는 혁신을 밀어붙이게 만든다. 그러나 토건분야의 합리적 보수주의는 아주 자연스럽고 완전히 정당화되어 있는 상태이다. 연구진은 “혁신을 갈망 - 합리적 보수주의”의 균형을 이룰 수 있도록 하는 새로운 아이디어를 적용하였으며, 이것은 합리적 진전을 이룰 수 있는 하나의 견재장치(filter)를 만들었다.

8. 결론

건설혁신 - 아이디어는 미래의 통화이다. 현재 구현된 혁신 외에도 우리가 아직 알지 못하는 많은 혁신들이 있다고 확신하는 사람들이 일부 있다. 개선된 인식장치(cognitive apparatus)로 인해 일련의 혁신에 대한 점진적인 발견이 가능한 상태이다. 혁신은 엔지니어링 실무의 오래된 문제점들을 해결할 수 있는 완전히 새로운 방법을 제공할 수 있다면 혁신이 이루어질 것이다.

<원문제목> Innovation in construction materials engineering versus sustainable development

<원문출처> Building Research Institute, ITB, Warsaw