

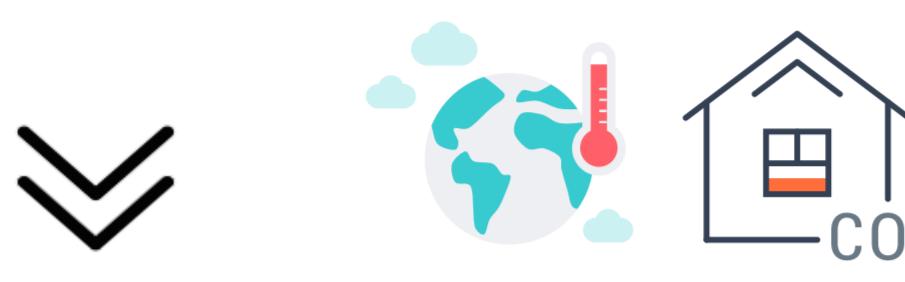
# BIM-based Carbon Footprint Calculation for Carbon-neutral Building

## - A Case Study of North University of China -

한정 인천대학교 도시건축학부 학사과정 윤태관 인천대학교 도시건축학부 학사과정 이슬비 인천대학교 도시건축학부 조교수

### 연구 배경 및 목적

- 2021년 지구 평균 기온은 산업화 이전 평균 기온 대비  $1.08^{\circ}\text{C}$  상승
- 탄소 배출국 1위로서 전 세계 탄소 배출 총량의 30% 이상을 차지하는 중국의 기후 대응 정책이 중요한 시점
- 중국 '2060 탄소중립' 선언



탄소 중립은 인간 활동에 따른 탄소 배출량이 탄소 흡수·제거량과 균형을 이루게 하여 탄소의 순 배출량이 '0'이 되도록 하는 것

중국의 '2060 탄소 중립' 정책은 탄소 배출량이 높은 산업인 에너지, 공업, 교통, 건축 부문의 탄소 배출량을 규제하고, 재생에너지 사용을 확대하여 에너지 소비 구조 전환을 목표로 함



- 건축 부문에서의 탄소 중립 정책으로는 신축 건물에 대하여 녹색건축인증을 받도록 하는 것이 대표적
- 건물에서 사용되는 에너지의 화석 연료 의존도가 낮을수록 고품질의 자재를 사용하여 건물의 내구성을 높일수록 우수하게 평가됨
- BIM(Building Information Modeling)과 같이 신기술을 활용하여 탄소 저감 정책을 수립하는 경우 가산점 부여

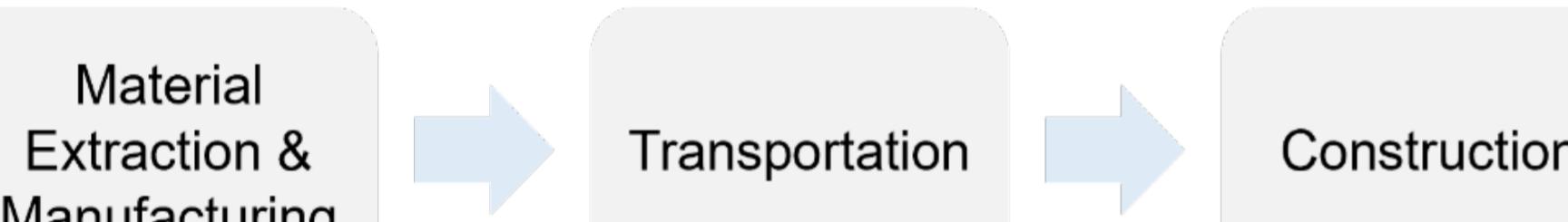


BIM을 활용하여 건물의 탄소 발자국을 계산하는 방법을 제안, 건물의 탄소 배출량을 정량적으로 평가하는 방법을 제안함으로써, 건설 과정 동안 최소한의 탄소 배출 전략을 수립할 수 있게 지원

### 선행 연구 고찰

#### 건축 부문의 내재 탄소와 운영 탄소

- 건축 부문에서의 탄소 배출은 원자재의 생산, 운송, 시공, 폐기 단계에서 발생하는 탄소를 의미하는 내재 탄소(Embodied Carbon, EC)와 건물 완공 이후 운영 단계에서 에너지 소비를 통해 발생하는 탄소를 의미하는 운영 탄소(Operational Carbon, OC)로 구분됨



Embodied Carbon

Operational Carbon

Demolition

Operation

< 건축물 Life Cycle에서 배출되는 탄소 분류 >

- 일반적으로 건물 수명 주기에서의 운영 탄소의 배출량은 내재 탄소의 배출량보다 크다고 가정되므로, 현재 중국 건설산업의 표준과 규정은 주로 운영 단계에서의 탄소 배출량 감축에 중점을 두고 있음
- 그러나 에너지 효율 개선으로 인해 신축 건물의 경우 전체 탄소 배출량의 74%가 내재 탄소에서 발생하고, 나머지 26%가 운영 탄소에서 발생할 것이라는 예측도 있음
- 중국의 경우 건물 수명이 일반적으로 30년으로 짧은 편이므로 철거와 재건축에 따른 내재 탄소 배출량 증가도 전망됨

### 탄소 발자국

- 탄소 발자국은 제품의 원료 채취부터 생산, 유통, 사용, 폐기의 전 과정에서 발생하는 탄소의 양을 계량적으로 나타낸 지표를 의미함



- 일반적으로 이산화탄소의 배출량(g)으로 표현됨

### 탄소 발자국 계산 방법

#### 분석 대상

- 사례 건물: North University of China 엔지니어링 교육 센터
- 위치: 중국 산시성 타이위안(Taiyuan)시
- 공사기간: 2015년 12월 말 ~ 2018년 12월 말
- 구조: 철근콘크리트 구조
- 건축 면적: 2만 4,245m<sup>2</sup> (지상 4층)



<분석 대상 건물 - North University of China >

#### 분석 방법

##### ▶ BIM기반 물량산출

- Revit의 물량 산출 기능을 활용하여 사례 건물에 사용된 자재의 총량을 계산

구조 재료 물량 산출					
부재	분류	재료	면적(m <sup>2</sup> )	부피(m <sup>3</sup> )	밀도(kg/m <sup>3</sup> )
기둥	500*500mm	철근 콘크리트	-	129.56	2450
	600*600mm	철근 콘크리트	-	64.22	2450
	800*700mm	철근 콘크리트	-	203.62	2450
	800*800mm	철근 콘크리트	-	241.93	2450
	900*800mm	철근 콘크리트	-	910.32	2450
보*	200*Nmm	철근 콘크리트	-	11.06	2450
	250*Nmm	철근 콘크리트	-	50.58	2450
	300*Nmm	철근 콘크리트	-	1462.54	2450
	350*Nmm	철근 콘크리트	-	149.75	2450
	400*Nmm	철근 콘크리트	-	803.43	2450
	450*Nmm	철근 콘크리트	-	683.20	2450
	500*Nmm	철근 콘크리트	-	94.18	2450
바닥	120mm기본 바닥	철근 콘크리트	25179.43	3021.53	2450

\*N은 400부터 950까지 다양함



보, 기둥, 바닥이 철근 콘크리트로 이루어져 주요 하중을 담당

건축 재료 물량 산출					
부재	분류	재료	면적(m <sup>2</sup> )	밀도(kg/m <sup>3</sup> )	개수
벽	200mm기본 벽	경량 콘크리트 블록	6749.71	2743	1280
	16mm프레임 칸막이	석고 보드	55.26	0.88	800
	16mm프레임 벽	석고 보드	1.90	0.06	800
커튼월	멀리언	알루미늄	7892948*	2702	6440
	패널	유리	3851.68	2600	2719
문	2100mm	금속	-	8000	47
	2400mm	금속	-	8000	245
	4000mm	금속	-	8000	3

\* 멀리언의 단위는 길이(mm)임



벽, 커튼월, 문과 같은 건축 부재에 사용된 재료는 경량 콘크리트 블록, 석고 보드, 알루미늄, 금속(스테인리스 스틸) 등

### 탄소 계수 결정

- 탄소 계수는 재료의 단위 부피, 단위 면적 또는 단위 질량 당 발생하는 이산화탄소의 양을 나타내는 계수로, 재료에 따라 사용 단위가 다름
- Revit의 Carbon Insights에서 제공하는 데이터베이스를 참고하여, 재료별 탄소 계수를 정리
- 같은 재료의 철근 콘크리트라도 프리캐스트 콘크리트(Precast Concrete)로 시공하는 경우 단위당 탄소 배출량을 100배 가량 절감할 수 있음

재료별 탄소 계수		
재료	EC Coefficient	Unit
철근 콘크리트	Ready Mixed Concrete/w Reinforcing bar	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
	Precast Concrete	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
경량 콘크리트 블록	Light Weight Concrete Unit Masonry	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
석고 보드	Cement Board	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>
알루미늄	Aluminum Extrusions	kgCO <sub>2</sub> e/kg
유리	Laminated Processed Glass	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
금속	Metal framing	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>

### 탄소 발자국 계산 결과

- 사례 건물은 2015년에 중국에서 시공되어 현장 타설 콘크리트를 사용하였을 가능성이 크므로 철근 콘크리트 탄소 계수 441 적용

#### 주요 부재별 탄소 발자국 계산 결과

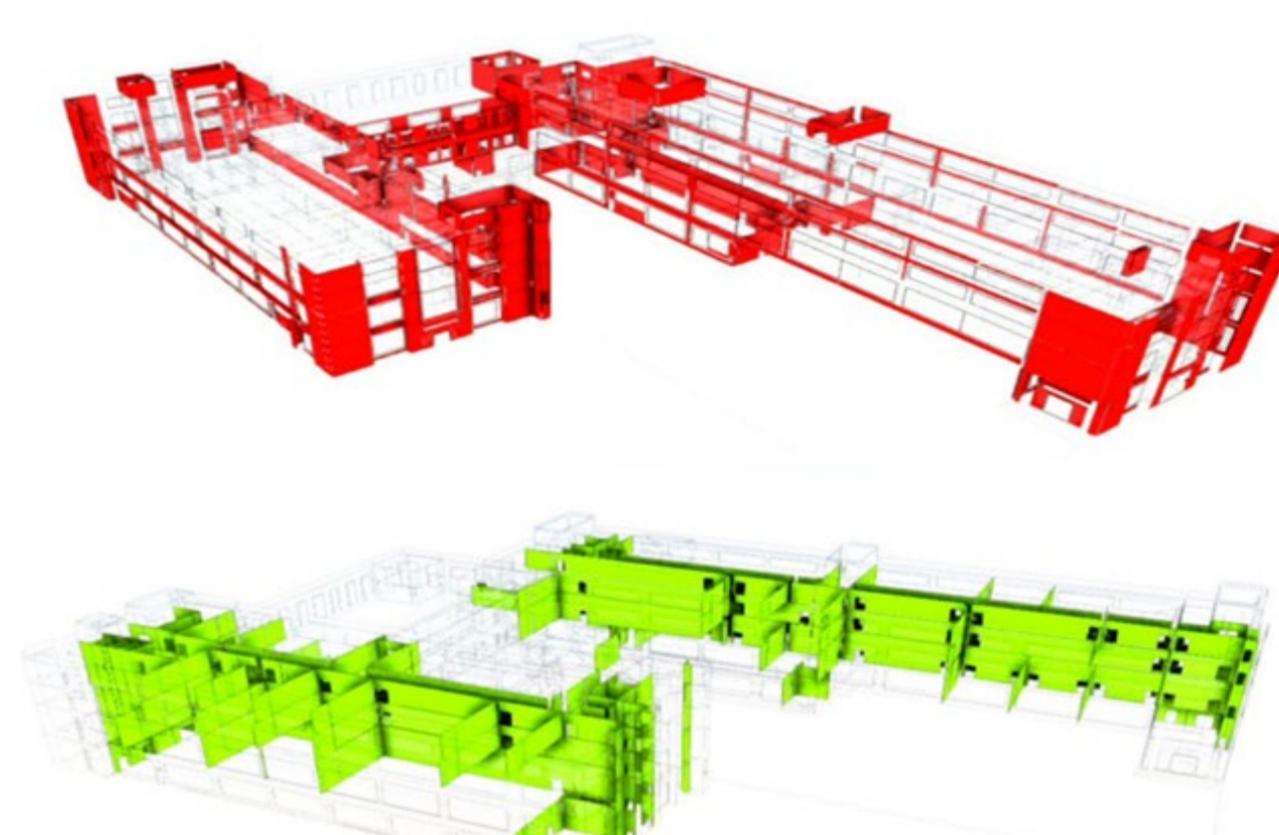
부재	재료	단위 부피 or 면적 or 질량	탄소 계수	탄소 발자국 (kg)	비중(%)
기둥	철근 콘크리트		441.00	683396	13.6
보	철근 콘크리트		441.00	145340	28.5
바닥	철근 콘크리트		441.00	1332495	26.4
벽	경량 콘크리트 블록		339.16	930343	18.5
	석고 보드		12.12	56178	0.0
	알루미늄		9.21	563462	11.2
	유리		146.29	40207	0.8
	금속		31.97	5041433	100.0



사례 건물을 완공하는 데 필요한 원자재의 생산, 운송 및 시공에 필요한 총 탄소의 양은 5,041톤 이상으로 추정됨

- 주요 부재별 탄소 발자국의 비중의 경우, 단위 부피의 값이 큰 보가 28.5%로 가장 큰 값을 차지하였으며 바닥이 26.4%, 경량 콘크리트 블록으로 된 벽이 18.5%의 순서

- 벽의 경우 구조 부재가 아님에도 불구하고 비교적 과도한 탄소 발자국



- 중요한 하중을 담당하지 않는 빨간색 외벽 부분을, 기준 탄소 계수 339.16인 경량 콘크리트 블록에서 탄소 계수 14.96인 점토 벽돌로 변경하는 경우 총 889톤의 탄소 배출률을 절감 할 수 있음
- 현장 타설의 방법이 아닌 프리캐스트 공법을 사용하였다며 철근 콘크리트의 탄소 계수가 441에서 4.52로 변경되어 총 1,625톤 이상의 탄소 배출률을 줄일 수 있게 됨

