

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구

국제사무국

(43) 국제공개일

2018년 7월 5일 (05.07.2018)



(10) 국제공개번호

WO 2018/124362 A1

(51) 국제특허분류:

G06Q 50/08 (2012.01)

G06F 17/50 (2006.01)

G06Q 10/06 (2012.01)

G06F 17/18 (2006.01)

(21) 국제출원번호:

PCT/KR2017/000344

(22) 국제출원일:

2017년 1월 10일 (10.01.2017)

(25) 출원언어:

한국어

(26) 공개언어:

한국어

(30) 우선권정보:

10-2017-0000150 2017년 1월 2일 (02.01.2017) KR

(71) 출원인: 한양대학교 에리카산학협력단 (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY ERICA CAMPUS) [KR/KR]; 15588 경기도 안산시 상록구 한양대학교로 55, Gyeonggi-do (KR).

(72) 발명자: 태성호 (TAE, Sungho); 15621 경기도 안산시 상록구 감골2로 58 선경아파트 102동 202호, Gyeonggi-do (KR). 노승준 (ROH, Seung Jun); 15502 경기도 안산시 상록구 광덕4로 460, 푸른마을주공5단지아파트 501동 203호, Gyeonggi-do (KR). 김낙현 (KIM, Rak Hyun); 15588 경기도 안산시 상록구 한양대학교로 55 한양대학교 초대형구조실험동 202호, Gyeonggi-do (KR).

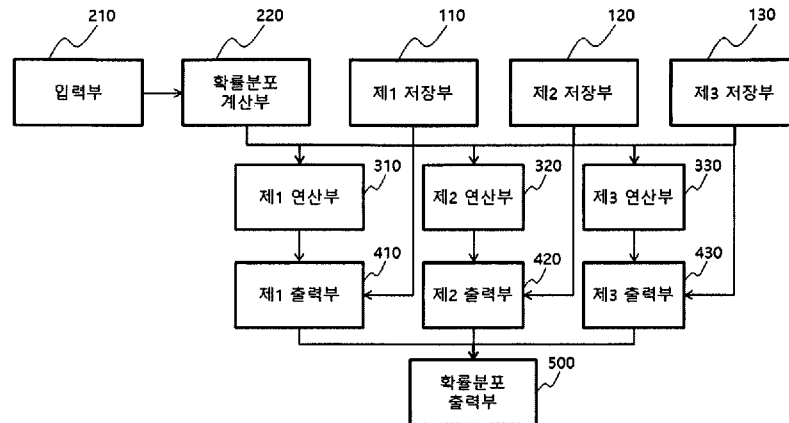
(74) 대리인: 특허법인다울 (DAWOOL PATENT AND LAW FIRM); 06135 서울시 강남구 봉은사로 224 혜전빌딩 5층, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN,

(54) Title: DEVICE FOR ASSESSING LIFE-CYCLE SUSTAINABILITY OF BUILDING USING PROBABILISTIC ANALYSIS METHOD, METHOD THEREFOR, AND RECORDING MEDIUM STORING METHOD

(54) 발명의 명칭: 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체

[도1]



110 ... First storage portion
120 ... Second storage portion
130 ... Third storage portion
210 ... Input portion
220 ... Probability distribution calculation portion
310 ... First operation portion

320 ... Second operation portion
330 ... Third operation portion
410 ... First output portion
420 ... Second output portion
430 ... Third output portion
500 ... Probability distribution output portion

(57) Abstract: The present invention relates to a device for assessing the life-cycle sustainability of a building using a probabilistic analysis method, a method therefor, and a recording medium storing the method, wherein the life-cycle sustainability of a building is assessed and predicted probabilistically in the initial stage of a construction project. The device comprises: a first storage portion for storing a reference environmental impact assessment value regarding a reference building, a first set of environmental impact coefficients obtained by numericizing the degree of environmental impact per unit of introduction of a plurality of construction materials, and a second set of environmental impact coefficients obtained by numericizing the degree of environmental impact per unit of consumption of a plurality of energy sources; an input portion for receiving inputs of information regarding the area of a building, the amount of introduction of a plurality of construction materials, and the amount of consumption of a plurality of energy sources; a probability distribution calculation portion for storing setting values regarding probability distribution types of construction materials and of energy

MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

sources on the basis of the information regarding the area of a building, and deriving the probability distribution of the amount of introduction of the plurality of construction materials and the probability distribution of the amount of consumption of the plurality of energy sources according to the setting values with regard to the amount of introduction of the plurality of construction materials and the amount of consumption of the plurality of energy sources; a first operation portion for calculating, on the basis of Monte Carlo simulation, the probability distribution of a first environmental impact assessment value resulting from the construction materials using the probability distribution of the amount of introduction of the plurality of construction materials and the first set of environmental impact coefficients, the first operation portion calculating the probability distribution of a second environmental impact assessment value resulting from the energy sources using the probability distribution of the amount of consumption of the plurality of energy sources and the second set of environmental impact coefficients, and the first operation portion adding the probability distribution of the first environmental impact assessment value and the probability distribution of the second environmental assessment value, thereby calculating the probability distribution of a life-cycle environmental impact assessment value; and a first output portion for deriving the probability distribution of the probability distribution of an environmental impact index by dividing the reference environmental impact assessment value stored in the first storage portion by the probability distribution of the life-cycle environmental impact assessment value calculated by the first operation portion, and outputting the derived probability distribution of the environmental impact index.

(57) 요약서: 본 발명은 건축 사업 초기 단계에서 건축물의 전과정 지속가능성을 확률로 평가 및 예측하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체에 관한 것으로, 기준 건축물에 대한 기준 환경영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제1 환경영향계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제2 환경영향계수 집합을 저장하는 제1 저장부; 건축물의 면적 정보, 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량을 입력받는 입력부; 상기 건축물의 면적 정보에 따른 건축자재 및 에너지원의 확률분포 형태의 설정값을 저장하고, 상기 복수개의 건축자재 투입량 및 상기 복수개의 에너지원 소비량에 대하여 상기 설정값에 따라 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포를 도출하는 확률분포 계산부; 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 환경영향계수 집합을 이용하여 의해 건축자재에 의한 제1 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 환경영향계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 환경영향 평가값의 확률분포 및 상기 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하는 제1 연산부; 및 상기 제1 저장부에 저장된 기준 환경영향 평가값을 상기 제1 연산부에서 계산된 상기 전과정 환경영향 평가값의 확률분포로 나누어 환경영향 지수의 확률분포의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 환경영향 지수의 확률분포를 출력하는 제1 출력부를 포함한다.

명세서

발명의 명칭: 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체 기술분야

- [1] 본 발명은 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체에 관한 것으로서, 특히 상세하게는 건축 사업 초기 단계에서 건축물의 전과정 지속가능성을 확률로 평가 및 예측하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체에 관한 것이다.

[2]

배경기술

- [3] 건축물은 여러 가지 측면에서 지구에 영향을 주게 된다. 건축물을 시공함에 따라 천연 자원의 고갈, 생태계 파괴, 대기 및 수질의 오염, 쓰레기 발생 등 부작용이 발생한다. 또한, 건축물의 많은 설계 요소는 환경에 영향을 미친다. 그러나, 환경을 고려하여 설계를 수행하려는 경우에도, 설계자가 일반적인 환경에 대한 다양한 정보를 바르게 이해하고 이에 따라 설계를 진행하는 것은 어려운 것이 현실이다.
- [4] 환경영향에 기초한 건축자재의 선정은 전과정 평가(Life-Cycle Assessment, LCA)를 통하여 분석함으로써 가능하다. 이때, 전과정이라 함은, 자재 채취 과정, 자재 공급 과정, 자재 수송 과정, 건축 과정, 사용 과정, 폐기 과정 등 모든 과정을 의미하며, 전과정 평가라 함은, 앞서 언급한 과정에 걸친 물질 수지(투입 물질, 에너지, 배출 물질)를 정량화하고 환경에 미치는 전체 영향을 평가하는 것을 의미한다.
- [5] 그러나, 종래의 건축물에 대한 전과정 평가 방법에서는, 건축물의 환경영향, 비용 및 사회영향 평가 결과에 대한 불확실성 분석이 중요함에도 불구하고 결정론적 분석 방법으로 이용하므로, 평가 결과에 건축 사업의 불확실한 조건을 반영하기 어려울 뿐만 아니라 분석 결과에 대한 기댓값을 산출할 수 없는 문제점이 있다. 또한, 종래의 건축물에 대한 전과정 평가 방법은, 비대칭 구조의 변수를 반영함에 있어 평균의 함정이 발생할 수 있는 수학적 한계를 내포하고 있는 문제점이 있다.

- [6] [선행기술문헌] 대한민국등록특허공보 제1390237호

[7]

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [8] 본 발명은 상기와 같은 제반 문제점을 해결하기 위하여, 건축 사업 초기 단계에서 의사 결정에 따른 위험부담을 최소화할 수 있도록 건축물의

지속가능성을 보다 객관적으로 평가하고 불확실성을 정량화할 수 있는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체를 제공하는데 그 목적이 있다.

- [9] 또한, 본 발명은, 전과정 지속가능성 평가 시 건축물의 특성을 반영하여 확률론적인 관점에서 빈도수가 가장 높은 최빈값을 확인할 수 있으므로 건축사업 초기단계에서 유용한 전과정 지속가능성 평가를 가능하게 하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체를 제공하는데 그 목적이 있다.

- [10] 한편, 본 발명은, 전과정 지속가능성 평가 시 종래의 결정론적 방식의 평가모델에서 산출되지 않았던 기댓값과 확률론적으로 보정된 평균값, 최소값 및 최대값을 동시에 제공함에 따라 의사결정자로 하여금 보다 유용한 정보를 제공하고 의사결정을 효과적으로 지원할 수 있는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체를 제공하는데 그 목적이 있다.

- [11] 또한, 본 발명은, 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 반복 시행된 평가결과를 바탕으로 하여 확률론적으로 보정된 평균값을 제공할 수 있는 바, 종래의 결정론적 방식의 평가모델에서 주로 적용되었던 평균값 관점의 평가결과보다 유의미한 평가결과를 제공할 수 있는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치, 방법 및 그 방법을 기록한 기록매체를 제공하는데 그 목적이 있다.

[12]

과제 해결 수단

- [13] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 기준 건축물에 대한 기준 환경영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제1 환경영향계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제2 환경영향계수 집합을 저장하는 제1 저장부; 건축물의 면적 정보, 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량을 입력받는 입력부; 상기 건축물의 면적 정보에 따른 건축자재 및 에너지원의 확률분포 형태의 설정값을 저장하고, 상기 복수개의 건축자재 투입량 및 상기 복수개의 에너지원 소비량에 대하여 상기 설정값에 따라 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포를 도출하는 확률분포 계산부; 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 환경영향계수 집합을 이용하여 의해 건축자재에 의한 제1 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 환경영향계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 환경영향 평가값의 확률분포 및 상기 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 환경영향

평가값의 확률분포를 계산하는 제1 연산부; 및 상기 제1 저장부에 저장된 기준 환경영향 평가값을 상기 제1 연산부에서 계산된 상기 전과정 환경영향 평가값의 확률분포로 나누어 환경영향 지수의 확률분포의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 환경영향 지수의 확률분포를 출력하는 제1 출력부를 포함한다.

- [14] 또한, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 기준 건축물에 대한 기준 비용 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제1 비용계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제2 비용계수 집합을 저장하는 제2 저장부; 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 비용계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 비용 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 비용계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 비용 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 비용 평가값의 확률분포 및 상기 제2 비용 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 비용 평가값의 확률분포를 계산하는 제2 연산부; 및 상기 제2 저장부에 저장된 기준 비용 평가값을 상기 제2 연산부에서 계산된 상기 전과정 비용 평가값의 확률분포로 나누어 비용 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 비용 지수의 확률분포를 출력하는 제2 출력부를 더 포함할 수 있다.

- [15] 한편, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 기준 건축물에 대한 기준 사회영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 사회영향 정도를 수치화한 사회영향계수 집합을 저장하는 제3 저장부; 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 사회영향계수 집합을 이용하여 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 계산하는 제3 연산부; 및 상기 제3 연산부에서 계산된 상기 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 상기 제3 저장부에 저장된 기준 사회영향 평가값으로 나누어 사회영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 사회영향 지수의 확률분포를 출력하는 제3 출력부를 더 포함할 수 있다.

- [16] 또한, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 일 실시예는, 몬테카를로 시뮬레이션 및

[17]
$$P-SBI = \alpha P-EI + \beta P-CI + \gamma P-SI$$

- [18] - 여기서, P-SBI는 지속가능 건축물 지수의 확률분포, P-EI는 환경영향 지수의 확률분포, P-CI는 비용 지수의 확률분포, P-SI는 사회영향 지수의 확률분포, α , β , γ 는, $1 = \alpha + \beta + \gamma$ 인 가중치 설정 계수임 -

- [19] 에 의해 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 출력하는 확률분포 출력부를 더 포함할 수 있다.

- [20] 한편, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 다른 실시예는, 기준 건축물에 대한 기준 환경영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제1 환경영향계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비

단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제2 환경영향계수 집합을 저장하는 제1 단계; 건축물의 면적 정보, 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량을 입력받는 제2 단계; 상기 복수개의 건축자재 투입량 및 상기 복수개의 에너지원 소비량에 대하여 상기 건축물의 면적 정보에 따른 건축자재 및 에너지원의 확률분포 형태에 관해 미리 저장된 설정값에 따라 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포를 도출하는 제3 단계; 몬테카를로 시뮬레이션에 의해, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 환경영향계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 환경영향계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 환경영향 평가값의 확률분포 및 상기 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하는 제4 단계; 및 상기 기준 환경영향 평가값을 상기 제4 단계에서 계산된 상기 전과정 환경영향 평가값의 확률분포로 나누어 환경영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 환경영향 지수의 확률분포를 출력하는 제5 단계를 포함한다.

[21] 또한, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 다른 실시예는, 기준 건축물에 대한 기준 비용 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제1 비용계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제2 비용계수 집합을 저장하는 제6 단계; 몬테카를로 시뮬레이션에 의해, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 비용계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 비용 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 비용계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 비용 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 비용 평가값의 확률분포 및 상기 제2 비용 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 비용 평가값의 확률분포를 계산하는 제7 단계; 및 상기 기준 비용 평가값을 상기 제7 단계에서 계산된 상기 전과정 비용 평가값의 확률분포로 나누어 비용 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 비용 지수의 확률분포를 출력하는 제8 단계를 더 포함할 수 있다.

[22] 한편, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 다른 실시예는, 기준 건축물에 대한 기준 사회영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 사회영향 정도를 수치화한 사회영향계수 집합을 저장하는 제9 단계; 몬테카를로 시뮬레이션에 의해, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 사회영향계수 집합을 이용하여 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 계산하는 제10 단계; 및 상기 제10 단계에서 계산된 상기 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 상기 기준 사회영향 평가값으로 나누어 사회영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 사회영향 지수의 확률분포를 출력하는 제11 단계를 더 포함할 수 있다.

- [23] 또한, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 다른 실시예는, 몬테카를로 시뮬레이션 및
- [24]
$$P-SBI = \alpha P-EI + \beta P-CI + \gamma P-SI$$
- [25] - 여기서, P-SBI는 지속가능 건축물 지수의 확률분포, P-EI는 환경영향 지수의 확률분포, P-CI는 비용 지수의 확률분포, P-SI는 사회영향 지수의 확률분포, α , β , γ 는, $1 = \alpha + \beta + \gamma$ 인 가중치 설정 계수임 -
- [26] 에 의해 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 출력하는 제12 단계를 더 포함할 수 있다.
- [27] 또한, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 또 다른 실시예는, 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법을 실행하는 프로그램을 기록한 컴퓨터 판독 가능한 기록매체를 제공할 수 있다.

[28]

발명의 효과

- [29] 전술한 본 발명에 따르면, 건축물의 지속가능성을 보다 객관적으로 평가하고 불확실성을 정량화할 수 있으므로, 건축 사업 초기 단계에서 의사 결정에 따른 위험부담을 최소화할 수 있는 효과가 있다.
- [30] 또한, 본 발명은, 전과정 지속가능성 평가 시 건축물의 특성을 반영하여 확률론적인 관점에서 빈도수가 가장 높은 최빈값을 확인할 수 있으므로 건축사업 초기단계에서 유용한 평가 결과를 제공할 수 있는 효과가 있다.
- [31] 한편, 본 발명은, 전과정 지속가능성 평가 시 종래의 결정론적 방식의 평가모델에서 산출되지 않았던 기댓값과 확률론적으로 보정된 평균값, 최소값 및 최대값을 동시에 제공함에 따라 의사결정자로 하여금 보다 유용한 정보를 제공할 수 있는 효과가 있다.
- [32] 또한, 본 발명은, 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 반복 시행된 평가결과를 바탕으로 하여 확률론적으로 보정된 평균값을 제공할 수 있는 바, 종래의 결정론적 방식의 평가모델에서 주로 적용되었던 평균값 관점의 평가결과보다 유의미한 평가결과를 제공할 수 있는 효과가 있다.

[33]

도면의 간단한 설명

- [34] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 블록도이다.
- [35] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법의 동작 흐름도이다.
- [36] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 환경영향 평가 동작을 설명하는 도면이다.
- [37] 도 4는 본 발명의 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 동작을 나타낸 도면이다.

- [38] 도 5는 본 발명의 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 평가 구조를 나타낸 도면이다.
- [39] 도 6은 표본 공동주택 단지에 대한 전과정 환경영향 평가결과를 나타낸 그래프이다.
- [40] 도 7은 표본 공동주택 단지에 대한 전과정 비용 평가결과를 나타낸 그래프이다.
- [41] 도 8은 표본 공동주택 단지에 대한 전과정 사회영향 평가결과를 나타낸 그래프이다.
- [42] 도 9에 본 발명의 일 실시예에 의한 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 전과정 시나리오를 도시한 도면이다.
- [43] [부호의 설명]
- [44] 110: 제1 저장부
- [45] 120: 제2 저장부
- [46] 130: 제3 저장부
- [47] 210: 입력부
- [48] 220: 확률분포 계산부
- [49] 310: 제1 연산부
- [50] 320: 제2 연산부
- [51] 330: 제3 연산부
- [52] 410: 제1 출력부
- [53] 420: 제2 출력부
- [54] 430: 제3 출력부
- [55] 500: 확률분포 출력부
- [56]

발명의 실시를 위한 형태

- [57] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다. 그러나 본 발명의 실시형태는 여러 가지의 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시형태로만 한정되는 것은 아니다. 도면에서의 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있으며, 도면상의 동일한 부호로 표시되는 요소는 동일한 요소이다.
- [58] 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.
- [59] "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하기 위한 것으로 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예를 들어, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [60] 그리고 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐만 아니라 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 어떤 부분이

어떤 구성요소를 "포함" 또는 "구비"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함하거나 구비할 수 있는 것을 의미 한다.

[61]

[62] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 블록도이고, 도 4는 본 발명의 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 동작을 나타낸 도면이며, 본 발명의 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치는, 제1 저장부(110), 제2 저장부(120), 제3 저장부(130), 입력부(210), 확률분포 계산부(220), 제1 연산부(310), 제2 연산부(320), 제3 연산부(330), 제1 출력부(410), 제2 출력부(420), 제3 출력부(430) 및 확률분포 출력부(500)를 포함할 수 있다.

[63] 제1 저장부(110)는, 기준 건축물에 대한 기준 환경영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제1 환경영향계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제2 환경영향계수 집합을 저장하고, 저장된 제1 환경영향계수 집합 및 제2 환경영향계수 집합을 제1 연산부(310)로 출력하며, 저장된 기준 환경영향 평가값을 제1 출력부(410)로 출력할 수 있다.

[64] 이때, 제1 환경영향계수 및 제2 환경영향계수는 환경영향 범주(Environmental impact categories)를 기준으로 수치화되는 것이 바람직하다. 환경영향 범주는 환경영향 물질이 야기하는 잠재적인 지구의 환경 변화를 과학적인 접근을 통해 세분화한 개념이다. 이는 지구온난화(GWP, Global Warming Potential), 산성화(AP, Acidification Potential), 부영양화(EP, Eutrophication Potential), 오존층 파괴(ODP, Ozone Layer Depletion Potential), 광화학적 산화물 생성(POCP, Photochemical Oxidation Potential), 자원소모(ADP, Abiotic Depletion Potential) 등을 포함하며, 다양한 환경보호 범주(Safety category) 및 보호대상(Safety guard)에 걸쳐 지구규모, 지역적 규모, 국지적 규모의 환경영향을 발생시킨다.

[65] 여기서, GWP는 화석연료의 연소 등으로 인해 발생하는 온실가스가 지구로부터 복사되는 적외선을 흡수함에 따라 지구 표면의 평균온도가 상승하는 기상이변 현상으로서 토양이나 수계에서 생태계가 변화하거나 해수면이 상승하는 환경문제를 야기한다. 지구온난화의 환경영향 물질은 이산화탄소(CO₂) 메탄(CH₄), 이산화질소(N₂O) 등 총 42가지이며, 기준물질은 CO₂이다.

[66] AP는 대기 오염물질의 순환에 의해 발생된 산성비로 인해 해양과 토양의 수소이온농도가 증가(pH 감소)되는 지역적 규모의 환경문제로서 중금속의 용출로 인해 어류, 식물, 동물 등 생물의 생존을 위협한다. 산성화의 환경영향 물질은 이산화황(SO₂), 질소산화물(NO_x), 황화수소(H₂S), 플루오린화수소(HF) 등 36가지이고 기준물질은 SO₂이다.

- [67] EP는 화학 비료나 오수의 유입 등으로 인해 영양 물질의 양이 비정상적으로 증가하여 해양환경에 악영향을 미치는 국지적 규모의 환경문제이다. 부영양화의 환경영향 물질은 인산염(PO_4^{3-}), 암모니아(NH_3), 질소산화물(NO_x) 등 총 39가지이며, 기준물질은 PO_4^{3-} 이다.
- [68] ODP는 지상으로부터 15~30km 높이의 성층권에 있는 오존층의 오존이 파괴되어 그 밀도가 낮아지는 현상으로 자외선 증가로 인한 피부성 질환(피부암, 결막염 등)을 유발시킨다. 오존층파괴에 대한 환경영향 물질은 염화불화탄소 11(CFC-11), 브롬화삼불화메탄(Halon-1301), 염화불화탄소 114 등 23가지이고 기준물질은 CFC-11이다.
- [69] POCP는 공기 중의 오염물질이 태양빛과 반응하여 오존(O_3)과 같은 화학적 화합물을 생성하는 반응으로 스모그 현상을 유발하며, 인체건강 및 농작물 발육 억제 등 생태계의 손실을 야기한다. 광화학적 산화물 생성의 환경영향 물질은 에틸렌(C_2H_4), 비메탄계 탄화수소(NMVOC), 에탄올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) 등 128가지이고 기준물질은 C_2H_4 이다.
- [70] ADP는 제품을 생산하기 위해 자연계에서 기술계로 투입되는 자원에 대한 환경적인 영향을 나타내는 범주로써 지나친 자원의 채집과 소비에 따른 생태계의 균형 파괴와 환경오염을 평가한다. 자원소모는 원유[Crude oil], 천연가스[Natural gas], 우라늄(U) 등을 포함한 89가지의 천연자원을 고려하며, 기준물질은 안티몬(Sb)이다.
- [71] 제2 저장부(120)는, 기준 건축물에 대한 기준 비용 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제1 비용계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제2 비용계수 집합을 저장하고, 저장된 제1 비용계수 집합 및 제2 비용계수 집합을 제2 연산부(320)로 출력하며, 저장된 기준 환경영향 평가값을 제2 출력부(420)로 출력할 수 있다.
- [72] 여기서, 제1 비용계수 및 제2 비용계수는, 제품 시스템의 생산단계와 사용단계 등 전과정 기간 동안 직접적으로 투입된 모든 비용을 반영할 뿐 아니라, 하나 이상의 외부비용(External cost)을 추가적으로 고려하는 방법으로써 기존의 전과정 비용을 의미하는 사적비용(Private cost)과 환경영향에 대한 외부비용을 반영할 수 있다.
- [73] 제3 저장부(130)는, 기준 건축물에 대한 기준 사회영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 사회영향 정도를 수치화한 사회영향계수 집합을 저장하고, 저장된 사회영향계수 집합을 제3 연산부(330)로 출력하며, 저장된 기준 환경영향 평가값을 제3 출력부(430)로 출력할 수 있다.
- [74] 여기서, 사회영향계수는, 사회적 논제에 관련한 사회영향 정도를 수치화한 값으로, "Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products"에 따르면 S-LCA의 사회적 논제는 총 5개의 이해관계자 범주와 이를 구성하는 다수의 사회적 논제로 구분된다. 이는 주로 제품 시스템을 생산 및 제공하는 특정 기업,

조직 또는 사업이 그들의 이해관계자(근로자, 소비자, 지역사회, 사회, 가치사슬)에게 미치는 사회적인 영향의 정도를 판단하는 기준으로써 대표적인 사회적 논제에 대한 정의와 그 내용은 아래와 같다.

- [75] 근로자(Worker)에 관한 사회적 논제는, 인권 협회와 단체 교섭의 자유(Freedom of association and collective bargaining)는 기업 또는 조직이 근로자 각자의 이익을 증진하고 이를 보호하기 위해 노동조합(Union)의 창설과 노동조합에 가입할 수 있는 자유와 권리를 부여하는 것을 의미한다. 이때, 근로자는 자유롭게 노동조합에 가입할 수 있어야 하며, 이에 대한 외부의 개입과 차별이 없어야 한다. 또한, 노동조합은 근로자의 파업, 노동조합장의 선출, 노동조합의 활동과 프로그램의 공식화 등에 대한 자유와 권리를 가져야 한다.
- [76] 아동 노동(Child labour)은 기업 또는 조직이 아동을 노동에 참여시킴으로써 아동의 잠재력과 존엄성을 박탈하고 신체와 정신적인 성장을 저해하는 것을 의미한다. 아동 노동의 형태는 아동을 노예화하고 심각한 위험과 질병에 노출시키는 것, 아동을 그들의 가족과 이별시키는 것 등으로 이뤄진다.
- [77] 공정임금(Fair salary)은 기업 또는 조직이 근로자의 정상 근로시간에 대해 적어도 국가의 최저임금법, 협회 및 업계 표준임금 등에서 규정한 최저 임금 이상을 근로자에게 지급하는 것을 의미한다. 이때, 임금의 수준은 표준 근로시간을 근무한 근로자를 기준으로 근로자와 그 가족이 온당한 생활수준을 영위함에 있어 충분한 수준이 되어야 한다.
- [78] 근로시간(Working hours)은 기업 또는 조직이 근로자에게 법적 근로시간과 공휴일, 업계의 표준 근로시간 등을 고려하여 적절한 근로시간을 부여하는 것을 의미한다. 국내의 경우 법적 근로시간은 한 주당 40시간(초과 근로시간 제외)이며, 7일 중 적어도 하루 이상의 휴일이 제공되어야 한다. 또한, 초과 근로는 한 주당 12시간 이내에서 자발적인 근무 환경과 분위기에서 이뤄져야 하며, 법적 또는 노동조합에서 규정한 초과 근무수당이 지급되어야 한다.
- [79] 강제노동(Forced labour)은 기업 또는 조직 내에서 근로자가 업무에 자발적으로 참여하는 것이 아니라 누군가로 인한 위협과 불이익(Penalty)으로 인해 강요되는 노동을 의미한다. 강제노동은 채무적 압박(Debt bondage), 계약노예(Indentured servant), 인신매매(Human trafficking) 등을 포함한다. 근로자는 관리자의 간섭(Interference)과 위협(Intimidation)에 따른 제약 없이 자유롭게 작업장을 왕래할 수 있어야 하며, 업무 이외의 시간에 대한 자유가 보장되어야 한다.
- [80] 균등기회 및 차별(Equal opportunities & discrimination)은 기업 또는 조직이 근로자의 인적 다양성을 인정하고 종교, 성별, 인종, 나이 등에 관계없이 동등한 업무적 가치에 대해 동등한 보수를 지급하는 것을 의미한다.
- [81] 건강과 안전(Health and safety)은 기업 또는 조직이 모든 근로자의 신체적, 정신적, 사회적 안녕(Well-being)의 수준을 향상시키고 이를 유지하는 것을 의미한다. 이때, 작업환경은 근로자의 건강에 유해하지 않아야 하고, 위험 요소로부터 근로자를 보호해야 한다. 또한, 작업장은 근로자의 생리적, 심리적

기능에 악영향을 끼치지 않는 곳에 위치해야 하며, 근로자의 성별과 직무적합도 등을 고려한 업무 배치가 이뤄져야 한다.

- [82] 사회적 혜택(Social benefits)은 기업 또는 조직이 근로자에게 임금의 지불뿐만 아니라, 사회복지와 관련된 모든 관련 법률을 준수하는 것을 의미한다. 사회적 혜택은 일반적으로 근로자의 근무 기록(연봉 또는 수입)에 기초하여 지급되며, 퇴직금(Severance pay), 장애수당, 부양가족 수당, 유족 급여 등을 포함한다.
- [83] 소비자(Consumer)에 관한 사회적 논제는, 건강과 안전(Health and safety)은 기업 또는 조직이 생산한 제품을 소비자가 사용할 때 그 제품이 의도된 기능(Intended functions)을 충분히 수행하고, 소비자의 건강과 안전을 해치지 않는 것을 의미한다. 또한, 제품은 최종 소비자(End-users)의 건강과 안전에 미칠 수 있는 위험요소와 긍정적인 효과를 모두 고려해야 한다.
- [84] 지역사회(Local community)에 관한 사회적 논제는, 물적 자원에 대한 접근(Access to material resources)은 기업 또는 조직에서 지역사회가 보유한 물적 자원(물, 토지, 광물 및 생물자원 등)과 기반시설(도로, 위생시설, 학교 등)에 대해 존중하고 이를 보호하는 것을 의미한다. 이는 원주민(Indigenous)이 보유한 토지의 권리를 포함하며, 물적 자원의 사용과 기반시설의 보호 및 강화를 위한 지역 커뮤니티와의 상호 공유 체계를 포함한다. 또한, 물적 자원에 대한 사용은 궁극적으로 지역사회의 장기적인 경제 발전에 긍정적인 요소로 작용해야 한다.
- [85] 안전하고 건강한 생활환경(Safe & healthy living conditions)은 기업 또는 조직에서 지역사회 구성원의 안전과 건강, 그리고 공중보건 등을 위해 노력하는 것을 의미한다. 즉, 지역사회 내 위치한 기업 또는 조직의 사업부지에 대한 무분별한 이용과 개발은 산사태 등의 자연재해를 야기할 수 있으며, 정화되지 않은 폐수의 배출과 근로자의 급격한 유입은 지역 커뮤니티 내 전염병의 확산을 촉진할 수 있기 때문이다.
- [86] 지역사회 참여(Community engagement)는 기업 또는 조직의 의사결정 과정에서 지역사회의 구성원을 이해관계자로 포함시키는지에 대한 여부를 의미한다. 특히, 지역사회의 환경과 그 구성원의 건강 및 안녕에 관련된 의사결정 및 사업 정책의 실현 과정에서는 반드시 지역사회(개인 또는 지역사회 전체)를 이해관계자에 포함시켜야 한다.
- [87] 지역고용(Local employment)은 지역사회에 거주하고 있는 구성원의 고용과 관련하여 기업 또는 조직이 주관하는 직접적인 역할(직업 창출, 수익 창출, 직업 교육 등)을 의미한다. 이를 통해 지역의 구성원과 개방적인 의사소통 및 유대관계를 도모할 수 있으며, 지역의 발전에 기여할 수 있다.
- [88] 입력부(210)는, 건축물의 면적 정보, 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량을 입력받고, 입력된 복수개의 건축자재 투입량 또는 복수개의 에너지원 소비량을 확률분포 계산부(220)로 출력한다. 즉, 입력부(210)는, 물량산출서에 기초하여 주요 건축자재 10종(레미콘, 철근, 유리, 콘크리트벽돌, 단열재, 석고보드, 창호, 석재, 타일, 페인트)에 대한 투입량을 입력받고, 에너지

시뮬레이션 도구 등을 통해 평가된 연간 운영 에너지소비량을 에너지원별로 구분하여 입력받을 수 있다. 에너지 시뮬레이션 도구로는, 연간 에너지 소비량을 산출할 수 있는 도구인 미국 에너지성의 지원 하에 LBL(Lawrence Berkely Laboratory)에서 개발된 DOE-2, 미국 육군성이 개발한 BLAST 등이 사용될 수 있으나 이에 한정되지 않는다.

- [89] 입력부(210)는, 기준물에 대한 기준 환경영향 평가값, 기준 비용 평가값 및 기준 사회영향 평가값의 수준을 입력받아 제1 저장부(110), 제2 저장부(120) 및 제3 저장부(130)에 저장할 수 있으며, 건축 설계도서를 바탕으로 평가 건축물의 연면적, 바닥면적, 전용면적 등을 포함한 건축물의 면적 정보를 입력받을 수 있다.
- [90] 확률분포 계산부(220)는, 건축물의 면적 정보에 따른 건축자재 및 에너지원의 확률분포 형태의 설정값을 저장하고, 입력부(210)로부터 제공받은 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량에 대하여 기 저장된 설정값에 따라 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포를 도출하며, 도출된 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포를 제1 연산부(310), 제2 연산부(320) 또는 제3 연산부(330)에 출력한다.
- [91] 확률분포 계산부(220)에 저장된 건축자재 및 에너지원의 확률분포 형태의 설정값 및 확률분포를 도출하는 동작에 대하여 상술하면 아래와 같다.
- [92] 먼저, 국내에서 최근 10년간 설계되어 건설된 38개의 공동주택 단지(하기 표 24 참조)를 표본으로 설정하고 건축물의 특징과 주요 건축자재에 대한 상관관계를 분석하여 주요 변수를 도출한다. 또한, 주요 변수와 주요 건축자재의 물량 정보를 이용하여 분포 적합(Fit distribution)과 적합도 검정을 통해 주요 건축자재에 대한 확률분포를 분석할 수 있다.
- [93] 건축물 특징에 따른 주요 건축자재의 확률분포를 분석하기 위해서는 이들이 갖는 상관관계를 분석하고 이에 적합한 변수를 설정해야 하는데, 앞서 표본으로 설정한 38개 공동주택 단지의 기본정보와 주요 건축자재의 물량 정보를 수집하여 데이터베이스로 구축하고, 피어슨(Pearson) 상관계수를 이용하여 이들의 상관관계를 분석한다.
- [94] 이때, 38개의 공동주택 단지는 이를 구성하는 건축물의 기능에 따라 443개의 주거동, 88개의 부속동, 38개의 지하주차장으로 세분화하고 건축사업 초기단계에서 결정되는 설계변수를 중심으로 상관관계 분석을 위한 변수를 도출한다. 즉, 주거동은 구조형식, 평면형태, 주호조합, 지상층수, 건축면적, 전용면적, 바닥면적, 세대수로 구성되는 총 8가지의 특징을 변수로 설정하고 부속동은 지상층수와 바닥면적의 2가지 변수, 그리고 지하주차장은 지하층수, 지하연면적, 세대수의 총 3가지 특징을 변수로 설정한다.
- [95] 통계 프로그램의 이변량 상관계수 분석 기능을 통해 상술한 변수와 주요 건축자재의 물량간의 피어슨 상관계수를 도출한다. 여기서 피어슨 상관계수는

두 변수간의 관계성을 판별하기 위해 사용되는 척도로써 두 변수 간의 값이 $-1 \leq R \leq 1$ 의 값을 가지며, 그 값에 따라 상관계수의 상관성을 확인할 수 있다. 즉, 피어슨 상관계수가 0.0~0.1이면 이들의 상관관계가 없음을 의미하고 0.1~0.2는 약한 양의 상관관계, 0.2~0.4는 보통의 양의 상관관계, 0.4~0.6은 비교적 강한 양의 상관관계, 0.6~0.8은 강한 양의 상관관계, 0.8~1.0은 매우 강한 양의 상관관계를 나타낸다.

- [96] 상관계수를 분석함에 있어 주거동은 상술한 10종의 주요 건축자재를 모두 포함하여 분석하고 부속동과 지하주차장은 주요 건축자재 중 가장 영향력이 높은 레미콘과 철근만을 대상으로 할 수 있다. 하기 표 1 내지 표 3은 각각 주거동, 부속동, 지하주차장에 대한 상관계수표를 나타낸다.

[97] [표 1]

[98]

Classification	구조형식	평면형태	주호조합	지상층수	건축면적	전용면적	바닥면적	세대수
구조형식	1.000							
평면형태	0.436	1.000						
주호조합	0.336	0.569	1.000					
지상층수	0.411	0.387	0.209	1.000				
건축면적	0.302	0.314	0.266	0.669	1.000			
전용면적	0.288	0.309	0.294	0.703	0.698	1.000		
바닥면적	0.269	0.293	0.342	0.706	0.745	0.977	1.000	
세대수	0.328	0.402	0.673	0.673	0.632	0.765	0.806	1.000
레미콘	0.866	0.876	0.348	0.647	0.635	0.977	0.954	0.768
철근	0.841	0.902	0.387	0.615	0.684	0.913	0.910	0.758
콘크리트벽돌	0.741	0.861	0.258	0.652	0.598	0.907	0.890	0.696
석고보드	0.744	0.836	0.263	0.695	0.614	0.972	0.947	0.740
창호	0.762	0.789	0.279	0.676	0.633	0.958	0.932	0.739
석재	0.742	0.763	0.254	0.687	0.721	0.957	0.931	0.716
타일	0.706	0.774	0.301	0.692	0.699	0.995	0.972	0.766
유리	0.725	0.723	0.304	0.665	0.719	0.963	0.938	0.744
단열재	0.746	0.744	0.283	0.614	0.714	0.897	0.881	0.683
페인트	0.766	0.734	0.304	0.697	0.722	0.998	0.976	0.770

[99] [표 2]

[100]

Classification	지상층수	바닥면적	레미콘	철근
지상층수	1.000			
바닥면적	0.657	1.000		
레미콘	0.438	0.966	1.000	
철근	0.526	0.948	0.926	1.000

[101] [표 3]

[102]

Classification	지하층수	지하연면적	세대수	레미콘	철근
지하층수	1.000				
지하연면적	0.501	1.000			
세대수	0.387	0.865	1.000		
레미콘	0.422	0.945	0.653	1.000	
철근	0.356	0.938	0.703	0.922	1.000

[103]

표 1에 의하면 주거동에 투입되는 주요 건축자재의 물량은 주거동의 전용면적과 그 상관관계가 가장 높은 것으로 분석된다. 또한, 레미콘과 철근은 그 구조형식과 주거동의 평면형태과도 상관관계가 높은 것을 확인할 수 있으며, 콘크리트벽돌과 석고보드는 주거동의 평면형태에 따라 그 물량이 달라지는 것으로 분석된다.

[104]

한편, 부속동에 투입되는 레미콘과 철근은 모두 바닥면적과 그 상관관계가 높은 것으로 분석되고(표 2 참조), 지하주차장에 대한 레미콘과 철근의 물량은 지하 연면적과 높은 상관관계를 갖는 것으로 분석된다(표 3 참조).

[105]

상술한 공동주택 단지의 특성과 주요 건축자재간의 상관계수를 이용하여 총 30가지의 주요 건축자재에 대한 확률분포로 구성되는 행렬(Matrix)을 표 4와 같이 구축하고 분포 적합(Fit distribution)을 통해 주요 건축자재별로 가장 적합한 확률분포를 결정할 수 있다. 이때, 확률분포의 적합도 검정 방법으로는 일반적으로 카이제곱 검정(χ^2 검정, Chi-square test), 콜모고로프-스미르노프 검정(K-S 검정, Kolmogorov-Smirnov test), 앤더슨-달링 검정(A-D 검정, Anderson-Darling test)이 사용된다. 상술한 검정 방법 중 현업에서 가장 많이 사용되는 A-D 검정의 적합 통계량을 기준으로 확률분포를 결정할 수 있다. 여기서 A-D 검정은 실적자료와 분포형태의 적합여부를 검정하는 방법으로써 일반적으로 A-D 통계량이 1.50 이하로 도출되면 분포의 적합성이 비교적 높은 수준을 의미하는데, 상술한 주요 건축자재의 확률분포는 모두 A-D 검정 통계량 1.50 이하로 분석되었으며, 이를 통해 확률분포에 대한 유의성을 수학적으로 확인할 수 있다.

[106]

[표 4]

[107]

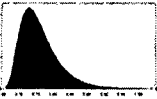
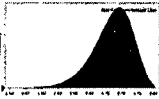
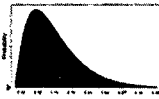
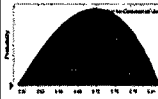
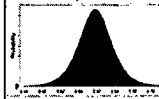
Classification	주거동							부속동	지하 주차장
	벽식구조			라멘구조			무량판 구조		
	판상형	탑상형	복합형	판상형	탑상형	복합형			
레미콘	PDF-01 (0.807)	PDF-02 (0.544)	PDF-03 (0.428)	PDF-04 (0.192)	PDF-05 (1.139)	PDF-06 (0.654)	PDF-07 (0.351)	PDF-27 (0.762)	PDF-29 (0.425)
철근	PDF-08 (0.727)	PDF-09 (0.432)	PDF-10 (0.404)	PDF-11 (0.136)	PDF-12 (0.483)	PDF-13 (1.101)	PDF-14 (0.865)	PDF-28 (0.931)	PDF-30 (0.769)
콘크리트벽돌	PDF-15 (0.875)	PDF-16 (0.669)	PDF-17 (0.781)	PDF-15 (0.875)	PDF-16 (0.669)	PDF-17 (0.781)	PDF-15 (0.875)	-	-
석고보드	PDF-18 (0.635)	PDF-19 (0.721)	PDF-20 (0.569)	PDF-18 (0.635)	PDF-19 (0.721)	PDF-20 (0.569)	PDF-18 (0.635)	-	-
창호	PDF-21 (0.686)							-	-
석재	PDF-22 (0.473)							-	-
타일	PDF-23 (0.685)							-	-
유리	PDF-24 (0.573)							-	-
단열재	PDF-25 (0.472)							-	-
페인트	PDF-26 (0.549)							-	-

(A-D test value)

[108] 주요 건축자재에 대한 확률분포의 선정과정에서 가장 중요한 사항은 선정된 확률분포로써 확률분포의 형태와 실제 상황 간의 유사정도에 따라 평가결과의 정확성이 결정된다. 따라서 분포 적합 도구로써 크리스탈 볼(Crystal Ball)을 활용하고 본 도구에서 제공하는 적합도 검정에 따른 적합 통계량의 산출 결과를 통해 확률분포를 결정할 수 있다. 또한, 주요 건축자재의 물량은 다른 주요 건축자재의 물량에 종속되지 않는 독립변수로 가정할 수 있다. 표 5 내지 표 10은 확률분포 계산부(220)에 설정된 분석한 주요 건축자재의 확률분포의 형태를 나타낸다. 또한, 상술한 건축자재의 확률분포의 형태를 도출하는 방식과 유사하게 에너지원의 확률분포의 형태를 도출하는 것도 가능하나, 편의상 설명을 생략한다.

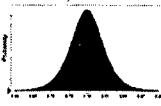
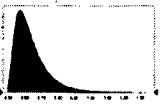
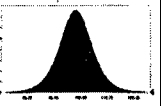
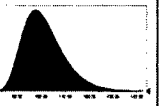
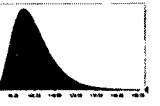
[109] [표 5]

[110]

Classification		PDF-01	PDF-02	PDF-03	PDF-04	PDF-05
Materials		Ready mixed concrete	Ready mixed concrete	Ready mixed concrete	Ready mixed concrete	Ready mixed concrete
Subject	Building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building
	Structure	Wall structure	Wall structure	Wall structure	Rigid structure	Rigid structure
	Plan type	Plate-type	Tower-type	Mixed-type	Plate-type	Tower-type
Probability distribution		 Lognormal distribution	 Weibull distribution	 Gamma distribution	 Beta distribution	 Logistic distribution
A-D test value		0.807	0.544	0.428	0.192	1.139
Number of samples		118	101	60	22	40
Correlation variable		Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area
Unit		m ² /m ²	m ² /m ²	m ² /m ²	m ² /m ²	m ² /m ²
Mean		0.77 m ² /m ²	0.73 m ² /m ²	0.75 m ² /m ²	0.71 m ² /m ²	0.60 m ² /m ²
Median		0.76 m ² /m ²	0.74 m ² /m ²	0.74 m ² /m ²	0.71 m ² /m ²	0.60 m ² /m ²
Mode		0.74 m ² /m ²	0.74 m ² /m ²	0.72 m ² /m ²	0.72 m ² /m ²	0.60 m ² /m ²

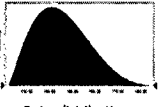
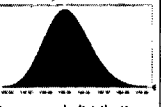
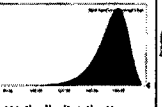
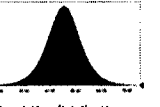
[111] [표 6]

[112]

Classification		PDF-06	PDF-07	PDF-08	PDF-09	PDF-10
Materials		Ready mixed concrete	Ready mixed concrete	Rebar	Rebar	Rebar
Subject	Building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building
	Structure	Rigid structure	Plat plate structure	Wall structure	Wall structure	Wall structure
	Plan type	Mixed-type	All types	Plate-type	Tower-type	Mixed-type
Probability distribution		 Logistic distribution	 Lognormal distribution	 Logistic distribution	 Lognormal distribution	 Lognormal distribution
A-D test value		0.654	0.351	0.727	0.432	0.404
Number of samples		64	38	118	101	60
Correlation variable		Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area
Unit		m ² /m ²	m ² /m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²
Mean		0.78 m ² /m ²	0.64 m ² /m ²	98.13 kg/m ²	101.35 kg/m ²	99.92 kg/m ²
Median		0.78 m ² /m ²	0.61 m ² /m ²	98.13 kg/m ²	100.07 kg/m ²	98.14 kg/m ²
Mode		0.78 m ² /m ²	0.57 m ² /m ²	98.13 kg/m ²	97.68 kg/m ²	94.94 kg/m ²

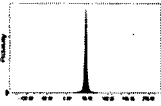
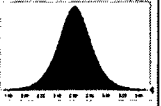
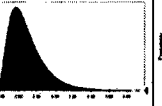
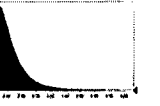
[113] [표 7]

[114]

Classification		PDF-11	PDF-12	PDF-13	PDF-14	PDF-15
Materials		Rebar	Rebar	Rebar	Rebar	Concrete brick
Subject	Building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building
	Structure	Rigid structure	Rigid structure	Rigid structure	Plat plate structure	All structures
	Plan type	Plate-type	Tower-type	Mixed-type	All types	Plate-type
Probability distribution		 Beta distribution	 Beta distribution	 Lognormal distribution	 Weibull distribution	 Logistic distribution
A-D test value		0.136	0.483	1.101	0.865	0.875
Number of samples		22	40	64	38	143
Correlation variable		Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area
Unit		kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²	each/m ²
Mean		118.34 kg/m ²	145.26 kg/m ²	131.55 kg/m ²	153.81 kg/m ²	45.33 each/m ²
Median		118.03 kg/m ²	144.20 kg/m ²	131.01 kg/m ²	155.82 kg/m ²	45.33 each/m ²
Mode		115.64 kg/m ²	140.98 kg/m ²	129.95 kg/m ²	159.31 kg/m ²	45.33 each/m ²

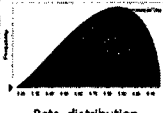
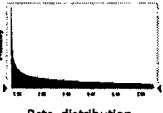
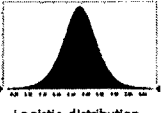
[115] [표 8]

[116]

Classification		PDF-16	PDF-17	PDF-18	PDF-19	PDF-20
Materials		Concrete brick	Concrete brick	Gypsum board	Gypsum board	Gypsum board
Subject	Building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building
	Structure	All structures	All structures	All structures	All structures	All structures
	Plan type	Tower-type	Mixed-type	Plate-type	Tower-type	Mixed-type
Probability distribution		 Student's t distribution	 Weibull distribution	 Logistic distribution	 Lognormal distribution	 Lognormal distribution
A-D test value		0.669	0.781	0.635	0.721	0.569
Number of samples		167	133	143	167	133
Correlation variable		Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area
Unit		each/m ²	each/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²
Mean		44.85 each/m ²	42.91 each/m ²	2.61 kg/m ²	2.69 kg/m ²	2.65 kg/m ²
Median		44.85 each/m ²	43.11 each/m ²	2.61 kg/m ²	2.65 kg/m ²	2.59 kg/m ²
Mode		44.85 each/m ²	43.71 each/m ²	2.61 kg/m ²	2.57 kg/m ²	2.50 kg/m ²

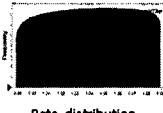
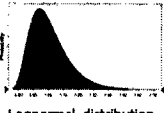
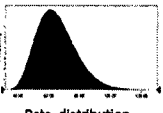
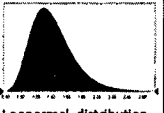
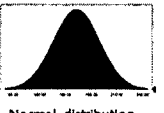
[117] [표 9]

[118]

Classification	PDF-21	PDF-22	PDF-23	PDF-24	PDF-25
Materials	Window frame	Stone	Tile	Glass	Insulation
Subject	Building	Apartment building	Apartment building	Apartment building	Apartment building
	Structure	All structures	All structures	All structures	All structures
	Plan type	All types	All types	All types	All types
Probability distribution	 Beta distribution	 Beta distribution	 Beta distribution	 Logistic distribution	 Beta distribution
A-D test value	0.686	0.473	0.685	0.573	0.472
Number of samples	443	443	443	443	443
Correlation variable	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area	Dwelling exclusive area
Unit	kg/m ²	m ² /m ²	m ² /m ²	m ² /m ²	kg/m ²
Mean	5.76 kg/m ²	0.14 m ² /m ²	0.56 m ² /m ²	0.46 kg/m ²	1.48 kg/m ²
Median	5.78 kg/m ²	0.14 m ² /m ²	0.55 m ² /m ²	0.46 kg/m ²	1.44 kg/m ²
Mode	5.87 kg/m ²	0.13 m ² /m ²	0.54 m ² /m ²	0.46 kg/m ²	1.34 kg/m ²

[119] [표 10]

[120]

Classification	PDF-26	PDF-27	PDF-28	PDF-29	PDF-30
Materials	Paint	Ready mixed concrete	Rebar	Ready mixed concrete	Rebar
Subject	Building	Apartment building	Annexed building	Annexed building	Underground parking lot
	Structure	All structures	-	-	-
	Plan type	All types	-	-	-
Probability distribution	 Beta distribution	 Lognormal distribution	 Beta distribution	 Lognormal distribution	 Normal distribution
A-D test value	0.549	0.762	0.931	0.425	0.769
Number of samples	443	88	88	38	38
Correlation variable	Dwelling exclusive area	Floor area	Floor area	Underground gross area	Underground gross area
Unit	l/m ²	m ² /m ²	kg/m ²	m ² /m ²	kg/m ²
Mean	1.04 l/m ²	1.01 m ² /m ²	64.95 kg/m ²	1.41 m ² /m ²	162.81 kg/m ²
Median	1.04 l/m ²	0.98 m ² /m ²	63.64 kg/m ²	1.37 m ² /m ²	162.81 kg/m ²
Mode	1.05 l/m ²	0.94 m ² /m ²	60.88 kg/m ²	1.30 m ² /m ²	162.81 kg/m ²

[121] 제1 연산부(310)는, 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 확률분포 계산부(220)에서 제공받은 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 제1 저장부(110)에서 제공받은 제1 환경영향계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 확률분포 계산부(220)에서 제공받은 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 제1 저장부(110)에서 제공받은 제2 환경영향계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하며, 제1 환경영향 평가값의 확률분포 및 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 계산된 전과정 환경영향 평가값의 확률분포를 제1 출력부(410)로 출력할 수 있다.

[122] 여기서, 몬테카를로 시뮬레이션(MCS, Monte Carlo Simulation)은 확률론적 분석 방법 중 대표적인 기법으로써 불확실한 상황 하에서 변수들의 확률론적 모형을

이용한 모의실험을 통해 효과적인 의사결정을 지원하는 확률적 시스템을 기반으로 한다. 몬테카를로 시뮬레이션의 핵심은 모형의 확률요소들에 대한 실험이며, 이는 확률적 또는 우연결과를 발생시켜 주는 도구를 이용하여 수행된다. 이 도구는 모형에서 가정한 확률분포에 따라 무작위 표본추출에 의해서 우연결과를 발생시켜 주는데 이용된다. 이는 N번의 시뮬레이션을 통해 0에서 1사이의 무작위 난수를 생성하고 확률분포 모델로부터 난수 기반의 입력값을 추출한다. 또한, 입력값을 적용한 결과를 도출하여 저장하고 기술 통계량 기반의 결과값을 산출하는 구조로 이뤄진다

- [123] 제1 연산부(310)는, ISO 14040 시리즈로 공표된 환경적 전과정 평가(ELCA, Environmental Life Cycle Assessment) 기법에 근간하여 건축사업 초기단계에서 건축물의 전과정 환경영향을 정량적으로 평가하는 방법인 EAM(Environmental impact Assessment Method)에 의한 계산식, 건축자재의 투입량의 확률분포 및 에너지원의 소비량의 확률분포를 몬테카를로 시뮬레이션의 입력값으로 대입할 수 있다.
- [124] 이에 따라, 상술한 바와 같이 건축물의 환경영향을 평가하기 위한 주요 환경영향 범주(Major environmental impact categories)를 선정하고 제1 저장부(110) 내에 건축자재와 에너지원에 대한 제1 환경영향계수 및 제2 환경영향계수에 대응하는 환경영향 원단위(Environmental impact coefficient)를 구축할 수 있다.
- [125] 아울러, 제1 연산부(310)는, 건축물의 전과정 목록분석(LCI) 방법을 정립하기 위해 환경영향의 발생 비율이 높은 주요 건축자재(Major building materials)를 도출하였고 이에 기초하여 건축물의 시공단계, 운영단계, 폐기단계를 포함하는 전과정 시나리오(Life cycle scenario)를 구축하여 환경영향 평가값 계산 시 사용할 수 있다. 이때, 제1 연산부(310)는, 전과정 환경영향 평가(LCIA)에 대한 방법으로 환경부에서 제안된 한국형 피해산정형 LCIA 방법인 KOLID를 사용할 수 있다.
- [126] 즉, 제1 연산부(310)는, 모든 환경영향 범주에 대해서 환경영향을 정량적으로 계산할 수도 있으나, 계산의 효율화를 위하여 미리 선정된 주요 환경영향범주에 관한 계산을 수행할 수 있다. 예를 들면, 건축물의 전과정 환경영향 평가와 관련된 국제 표준(ISO)과 지침, 녹색건축물 인증제와 건축물 전과정 환경영향 평가 도구(Tool)에서 적용하고 있는 환경영향 범주를 분석하여 건축물 관점에서의 주요 환경영향 범주를 선정할 수 있으며, 이와 같이 선정된 주요 환경영향 범주는 앞서 상술한 지구온난화, 산성화, 부영양화, 오존층 파괴, 광화학적 산화물 생성 및 자원고갈을 포함하는 총 6가지일 수 있다.
- [127] 제1 저장부(110)는, 제1 환경영향계수 및 제2 환경영향계수에 대응하는 환경영향 원단위를 저장하는데, 환경영향 원단위는 제품별로 구축된 LCI DB(제품 시스템의 기능단위(Functional Unit)에 따라 제품 시스템으로 투입되는 자원의 양(환경에서 채취한 자원, 에너지, 광물 포함)과 환경으로 버려지는

배출물(대기, 수계)과 폐기물의 발생량을 사전에 목록화한 데이터)에 기초하여 환경영향 범주에 따른 환경영향을 사전에 정량화한 값을 의미한다. 제1 저장부(110)는, 앞서 건축물의 주요 환경영향 범주로 도출된 6가지의 환경영향 범주를 대상으로 건축자재와 에너지원의 환경영향 원단위를 저장할 수 있다.

- [128] 먼저, 건축자재에 관한 제1 환경영향계수에 대응하는 환경영향 원단위는 사전에 구축된 LCI DB의 전과정 영향평가(LCIA)(분류화, 특성화)를 통해 산출할 수 있다. 예를 들면, 건축자재의 LCI DB로써 환경부 및 산업통상자원부에서 구축한 국가 LCI DB(Korea LCI DB)와 국토교통부에서 구축한 건축자재 환경성 정보 국가 DB(National D/B for Environmental Information of Building Products)를 이용할 수 있으며, ISO 14040에서 제시한 ELCA의 LCI DB 선정 원칙에 따라 지역적 상관성(Regional correlation), 시간적 상관성(Temporal correlation), 기술적 상관성(Technical correlation)의 순서로 LCI DB를 선정할 수 있다. 하기 수학적 식 1은 건축자재의 LCI DB를 이용한 건축자재에 관한 환경영향 원단위의 산출식을 나타낸다.

- [129] [수학적 식 1]

$$[130] \quad EIC1_{ij} = \sum_k (E_{i,k} \times IF_{j,k})$$

- [131] 여기서 $EIC1_{ij}$ 는 건축자재(Building materials) (i)의 기능단위(Functional Unit)에 대한 환경영향 범주(Environmental impact categories) (j)의 환경영향 원단위를 나타내며, $E_{i,k}$ 는 건축자재 (i)의 기능단위당 영향물질(Substance) (k)의 배출량, $IF_{j,k}$ 는 환경영향 범주 (j)에 대한 영향물질 (k)의 영향지수(Impact factor)를 의미한다.

- [132] 또한, 6종의 환경영향 범주, 즉, 지구온난화(GWP), 산성화(AP), 부영양화(EP), 오존층파괴(ODP), 광화학적산화물(POCP) 및 자원고갈(ADP)에 대한 기준 물질(이산화탄소 등) 및 영향 지수(IF)의 일례는 하기 표 11과 같다.

- [133] [표 11]

[134]

Classification	Environ ment	GWP	AP	EP	ODP	POCP	ADP
		CO _{2eq}	SO _{2eq}	PO ₄ ³⁻ _{eq}	CFC-11 _{eq}	Ethylene _{eq}	Sb _{eq}
Carbon dioxide(CO ₂)	Air	1.00E+00	.	.	.	.	.
CFC-11	Air	4.00E+03	.	.	1.00E+00	.	.
CFC-114	Air	9.30E+03	.	.	8.50E-01	.	.
CFC-12	Air	8.50E+03	.	.	8.20E-01	.	.
Ethane	Air	.	.	.	.	1.23E-01	.
Ethanol	Air	.	.	.	.	3.99E-01	.
Halon-1301	Air	5.60E+03	.	.	1.20E+01	.	.
Hydrogen Chloride(HCl)	Air	.	8.80E-01	.	.	.	.
Hydrogen fluoride(HF)	Air	.	1.60E+00	.	.	.	.
Nitrogen dioxide(NO ₂)	Air	.	7.00E-01	1.30E-01	.	2.80E-02	.
Sulfur dioxide(SO ₂)	Air	.	1.00E+00	.	.	4.80E-02	.
Phosphate(PO ₄ ³⁻)	Water	.	.	1.00E+00	.	.	.
Crude oil	Soil	.	.	.	.	.	2.01E-02
Lead(Pb)	Soil	.	.	.	.	.	1.35E-02

[135] 데이터의 분류화는 환경영향 범주에 따라 영향물질들을 분류 및 취합하는 과정으로 이루어진다. 예를 들면, IPCC 가이드라인에 의한 지구온난화의 기준물질과 영향물질은 표 11에 나타난 바와 같이 Carbon dioxide(CO₂), CFC-11, CFC-114, CFC-12 등이고, 국가 LCI DB를 이용한 레미콘 25-240-15(Ready mixed concrete 25-240-15)의 분류화 내역은 각각 4.20E+02 kg-CO₂/m³, 2.05E-09 kg-CFC-11/m³, 2.10E-09 kg-CFC-114/m³, 4.40E-10 kg-CFC-12/m³이 된다. 하기 표 12는 레미콘 25-240-15, 전기로제강_철근(Electric steel deformed bars), 도료_수용성수계(Paint_water type), 판유리(Plate glass) 등 건축자재의 LCI DB를 이용한 분류화 내역을 나타낸다.

[136] [표 12]

[137]

Classification	Environment	Ready mixed concrete 25-240-15	Electric steel deformed bars	Paint_water type	Plate glass
Carbon dioxide(CO ₂)	Air	4.20E+02	3.40E-01	1.07E+03	7.51E+02
CFC-11	Air	2.05E-09	4.02E-13	6.04E-07	5.06E-07
CFC-114	Air	2.10E-09	4.12E-13	6.18E-07	5.18E-07
CFC-12	Air	4.40E-10	8.64E-14	1.30E-07	1.09E-07
Ethane	Air	1.91E-03	4.34E-07	5.92E-03	2.10E-02
Ethanol	Air	2.73E-06	6.19E-10	7.88E-06	1.46E-05
Halon-1301	Air	3.82E-06	8.68E-10	2.15E-06	2.52E-05
Hydrogen Chloride(HCl)	Air	1.49E-04	2.18E-07	5.76E-02	1.37E-02
Hydrogen fluoride(HF)	Air	1.01E-05	6.18E-09	1.83E-03	4.19E-03
Nitrogen dioxide(NO ₂)	Air	6.93E-04	1.38E-06	2.50E-03	4.04E-03
Sulfur dioxide(SO ₂)	Air	2.67E-01	4.42E-04	3.63E+00	3.62E+00
Phosphate(PO ₄ ³⁻)	Water	1.76E-04	4.22E-08	5.74E-02	1.13E-03
Crude oil	Soil	4.61E+01	2.35E-02	2.76E+02	2.38E+02
Lead(Pb)	Soil	1.39E-06	2.89E-15	1.08E-03	6.13E-11

[138] 한편, 수학적 식 1에 표시한 바와 같이 영향물질의 배출량과 환경영향 범주별 영향지수를 곱한 후 이를 모두 합산하는 특성화를 통해 건축자재의 환경영향 원단위를 정량적으로 산출할 수 있다. 예를 들면, 지구온난화의 기준물질인 CO₂와 영향물질인 CFC-11, CFC-114, CFC-13의 영향지수는 각각 1.00E+00 kg-CO₂/kg-CO₂, 4.00E+03 kg-CO₂/kg-CFC-11, 9.30E+03 kg-CO₂/kg-CFC-114, 8.50E+03 kg-CO₂/kg-CFC-13이며, 이를 레미콘(25-240-15)의 분류화 내역(4.20E+02 kg-CO₂/m³, 2.05E-09 kg-CFC-11/m³, 2.10E-09 kg-CFC-114/m³, 4.40E-10 kg-CFC-12/m³)과 곱한 후 모두 합산하면 레미콘(25-240-15)에 대한 지구온난화의 원단위(4.09E+02 kg-CO_{2eq}/m³)을 산출할 수 있다. 상술한 수학적 식 1을 이용하여 앞서 언급한 국가 LCIDB(A) 또는 환경성 정보 국가 DB(B)를 데이터 소스(Source)로 하여 산출한 건축자재에 관한 환경영향 원단위(EIC1)의 일례는 하기 표 13과 같다.

[139] [표 13]

[140]

Building materials	LCI DB	Source	Functional Unit	Environmental impact categories					
				GWP (kg-CO ₂ eq/FU)	AP (kg-SO ₂ eq/FU)	EP (kg-PO ₄ ³⁻ eq/FU)	ODP (kg-CFC-11eq/FU)	POCP (kg-C ₂ H ₄ eq/FU)	ADP (kg-Sb ₂ eq/FU)
Ready mixed concrete	Ready mixed concrete 25-210-12	A	m ³	4.09E+02	6.81E-01	7.96E-02	4.65E-05	1.02E+00	1.55E+00
	Ready mixed concrete 25-210-15	A	m ³	4.19E+02	6.94E-01	8.08E-02	4.61E-05	1.13E+00	1.56E+00
	Ready mixed concrete 25-240-12	A	m ³	4.14E+02	6.79E-01	8.12E-02	4.34E-05	1.07E+00	1.96E+00
	Ready mixed concrete 25-240-15	A	m ³	4.29E+02	7.05E-01	8.20E-02	4.59E-05	1.15E+00	2.08E+00
Rebar	Electric steel deformed bars	A	kg	4.38E-01	1.40E-03	1.79E-04	1.04E-08	3.41E-04	2.79E-03
Steel frame	Channel	B	kg	4.04E-01	6.47E-04	1.17E-04	2.26E-08	2.93E-04	1.12E-03
	I-Beam	B	kg	4.03E-01	6.38E-04	1.16E-04	2.26E-08	2.92E-04	1.12E-03
	H-Beam	B	kg	3.97E-01	6.34E-04	1.15E-04	2.25E-08	2.91E-04	1.11E-03
Paint	Paint_emulsion type	A	kg	3.23E-01	1.13E-03	9.53E-05	8.51E-08	4.05E-04	6.49E-03
	Paint_water type	A	kg	1.19E+00	7.62E-03	9.99E-04	2.71E-08	4.04E-04	1.48E-02
	Paint_aminalkyd type	A	kg	8.37E-01	3.77E-03	1.83E-03	4.06E-08	3.65E-04	1.80E-02
	Paint_acryl type	A	kg	9.12E-01	4.91E-03	5.40E-04	3.56E-08	4.04E-04	4.36E-02
	Paint_epoxy type	A	kg	3.54E+00	2.23E-02	2.87E-03	3.06E-08	9.48E-04	2.64E-02
Glass	Plate glass	A	kg	7.89E-01	5.50E-03	3.93E-04	3.04E-07	1.06E-03	7.88E-03
	Insulating glass	B	m ²	2.24E+01	3.05E-02	2.21E-03	1.81E-07	5.39E-02	9.13E-02
	Tempered glass	B	m ²	1.34E+01	2.57E-02	4.05E-03	6.64E-08	2.32E-02	1.08E-01
Cement	Cement	A	kg	1.06E+00	1.30E-03	1.86E-04	3.55E-08	3.03E-04	1.13E-03
	Portland cement type I	A	kg	9.48E-01	1.28E-03	1.35E-04	1.70E-08	2.60E-03	7.36E-04
	Portland cement type II	A	kg	9.49E-01	1.12E-03	9.71E-05	1.39E-09	1.74E-04	1.52E-03
	Portland cement type III	A	kg	9.36E-01	5.83E-04	3.71E-06	1.25E-09	1.66E-04	6.58E-04
	Portland cement type V	A	kg	9.43E-01	5.19E-04	9.45E-05	1.28E-09	1.42E-04	6.64E-04
	Blast furnace slag cement	A	kg	2.05E-01	5.51E-04	6.70E-05	4.14E-09	5.00E-04	1.91E-04
Insulation	Expanded polystyrene panel	B	kg	2.06E+00	4.05E-02	2.77E-03	2.89E-08	6.39E-03	1.74E-01
Gypsum board	Gypsum board	A	kg	2.15E-01	7.82E-04	1.32E-04	1.42E-08	1.90E-04	1.09E-03

[141] 에너지원에 대한 제2 환경영향 계수를 산출하기 위해서는 에너지원의 생산에 관련된 환경영향과 연소에 의한 환경영향을 동시에 고려해야 한다. 예를 들면, 에너지원의 생산단계에 대한 LCI DB로써 국가 LCI DB를 선정하고 건축자재와 동일하게 LCI DB의 분류화 및 특성화를 통하여 제2 환경영향계수에 대응하는 에너지원 환경영향 원단위를 산출할 수 있다.

[142] 에너지원에 대한 환경영향 원단위는 하기 수학적 2에 의하여 산출될 수 있다.

[143] [수학적 2]

$$[144] \quad EIC2_{ij} = \sum_k (PE_{i,k} \times IF_{j,k} + CE_{i,k} \times IF_{j,k})$$

[145] 여기서, EIC2_{ij}는 에너지원 (i)의 기능단위(FU)에 대한 환경영향 범주 (j)의 환경영향 원단위를 나타내며, PE_{i,k}는 에너지원 (i)의 생산에 따른 기능단위당 영향물질 (k)의 배출량, IF_{j,k}는 표 11에 기재된 바와 같은 환경영향 범주 (j)에 대한 영향물질 (k)의 영향지수, CE_{i,k}는 에너지원 (i)의 연소에 따른 기능단위당 영향물질 (k)의 배출량을 나타낸다.

[146] 상술한 수학적 2를 이용하여 앞서 언급한 국가 LCI DB(A) 또는 환경성 정보 국가 DB(B)를 데이터 소스(Source)로 하여 산출한 에너지원에 관한 환경영향 원단위(EIC2)의 일례는 하기 표 14와 같다.

[147] [표 14]

[148]

Energy sources	FU	Stage	Source	Environmental impact categories					
				GWP	AP	EP	ODP	POCP	ADP
Electricity	kWh	Total	A	4.88E-01	8.37E-04	1.56E-04	1.37E-11	1.41E-06	8.58E-04
Light fuel oil	ℓ	Production	A	3.20E-01	2.96E-03	3.39E-04	1.30E-06	7.50E-03	2.34E-02
		Combustion	B	2.87E+00	7.90E-03	1.40E-03	·	3.74E-03	·
		Total	A, B	3.19E+00	1.09E-02	1.74E-03	1.30E-06	1.12E-02	2.34E-02
Gasoline	ℓ	Production	A	8.29E-02	1.86E-04	1.07E-05	2.61E-10	8.28E-06	2.18E-02
		Combustion	B	2.19E+00	4.34E-03	7.63E-04	·	7.14E-03	·
		Total	A, B	2.27E+00	4.53E-03	7.74E-04	2.61E-10	7.15E-03	2.18E-02
LNG	ℓ	Production	A	4.96E-01	2.77E-03	1.13E-04	4.24E-09	1.87E-02	2.16E-02
		Combustion	B	3.11E+00	3.37E-03	6.23E-04	·	1.98E-04	·
		Total	A, B	3.61E+00	6.14E-03	7.36E-04	4.24E-09	1.89E-02	2.16E-02

[149] 위 표 14에서 지구온난화(GWP), 산성화(AP), 부영양화(EP), 오존층파괴(ODP), 광화학적산화물(POCP) 및 자원고갈(ADP)의 각 환경영향 범주별 환경영향 계수의 단위는 표 13에 개시된 바와 같이, 기능단위 당 기준물질의 중량(kg)이다.

[150] 제1 연산부(310)는, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여 복수개의 건축자재의 투입량의 확률분포 및 제1 저장부(110) 내에 저장된 제1 환경영향계수 집합에 대응되는 수치인 건축자재에 관한 환경영향 원단위를 이용하여 제1 환경영향 평가값의 확률분포를 계산할 수 있는데, 몬테카를로 시뮬레이션에 입력되는 계산식의 일례는 하기 수학식 3과 같다.

[151] [수학식 3]

$$[152] \quad EIR_j = \sum_k (Q_k \times U_k \times EIC1_{j,k})$$

[153] 여기서, EIR_j 는 건축물의 환경영향 범주(j)에 대한 평가결과를 나타내며, Q_k 는 건축자재(k)의 수량, U_k 는 건축자재 수량과 환경영향 원단위 간의 단위환산계수, $EIC1_{j,k}$ 는 건축자재(k)의 환경영향 범주(j)에 대한 환경영향 원단위를 나타낸다. 여기서, 단위환산계수는, 건축자재의 수량이 코드화되어 입력되는 경우에 환경영향 원단위의 기능 단위와 대응되도록 조정하는 계수로서, 예를 들어 1ton의 시멘트가 입력되는 경우 kg의 기능 단위를 갖는 환경영향 원단위에 대응시키기 위하여 1000의 값을 갖는 단위환산계수가 상술한 수학식 3에 대입된다.

[154] 제1 연산부(310)는, 제2 환경영향평가값의 확률분포에 대해서도 수학식 3의 건축자재의 수량, 즉, 투입량을 에너지원의 소비량으로 치환하고, 건축자재에 관한 환경영향 원단위를 에너지원에 관한 환경영향 원단위로 치환하여 몬테카를로 시뮬레이션에 입력하여 계산할 수 있으나 이에 한정되지 않는다.

[155] 또한, 제1 연산부(310)는, 미리 구축된 전과정 시나리오를 통하여 전과정 환경영향을 평가할 수 있으며, 이를 위하여 전과정 환경영향 평가를 위한 값이 제1 환경영향계수의 집합 및 제2 환경영향계수의 집합에 반영될 수 있다.

[156] 즉, ISO 21931-1에 따르면 건축물의 전과정 단계는 생산단계, 시공단계,

운영단계, 폐기단계로 구분되며, 생산단계를 제외한 시공단계, 운영단계, 폐기단계에서 전과정 환경영향 평가를 위한 시나리오가 설정될 수 있다.

[157] 먼저, 시공단계는 운송과정과 시공과정으로 구분될 수 있다. 운송과정은 건축물에 투입되는 건축자재를 시공현장까지 운송하는 과정에 대한 환경영향을 평가한다. 건축자재별로 주로 사용되는 운송차량의 종류의 일례로, 레미콘 수송에 레미콘 믹스트럭이 사용되고 철근과 형강 수송에 20ton 트럭이 주로 사용될 수 있다. 또한, 그 외의 건축자재는 8ton 트럭이 사용될 수 있고 모든 건축자재는 30km 이내의 건축자재 업체에서 조달받는 것으로 설정할 수 있다.

[158] 시공 과정은 건축물의 시공과정에서 장비의 사용과 현장사무소의 운영 등으로 인한 환경영향을 평가한다. 시공과정의 에너지소비량 도출을 위해 지구별 예산내역서와 일위대가에 근거하여 공동주택 시공과정의 에너지소비량을 간접적으로 도출한 연구 자료(건축공종 29건, 토목공종 22건, 조경공종 22건, 전력소비량 36건)와 최근 준공된 공사현장(공동주택 5건)의 전력소비 실측량과 공사일보를 분석할 수 있다. 특히, 건설장비의 에너지소비량은 공사일보에 명시된 장비 사용현황과 근로기준법의 일일 근로시간인 8시간을 적용하여 건설장비별 총 사용시간을 분석할 수 있고, 건축표준품셈의 건설장비별 연비를 적용하여 에너지소비량을 산출할 수 있다. 하기 표 15는 제1 연산부(310)에 의한 시나리오 기반 환경영향 평가에 사용되는 공동주택 시공과정의 에너지소비량을 나타낸다.

[159] [표 15]

[160]

Light fuel oil (ℓ/m ²)	Propane gas (kg/m ²)	kerosene (ℓ/m ²)	Electricity (kWh/m ²)
2.023	0.008	0.270	10.635

[161] 운영단계는 에너지의 사용과정과 유지관리과정으로 구분될 수 있다. 공동주택의 운영단계에서 발생하는 환경영향을 평가하기 위해서는 건축물 수명(Service life)의 설정이 필요한데, 건축사업 초기단계에서 건축물의 환경영향을 평가하고 그 결과를 비교하기 위한 방안으로 국내 법인세법에서 규정하고 있는 법적 수명인 40년을 동일하게 적용하는 것으로 시나리오를 구축할 수 있다.

[162] 또한, 유지관리과정에서는 건축물의 개보수를 위해 신규로 투입되는 건축자재에 대한 환경영향을 평가한다. 이에 주택법에서 제시하는 건축자재별 수선주기와 수선율에 기초한 환경영향 평가 방법을 적용할 수 있다.

[163] 폐기 단계는, 건축물의 해체과정, 폐건축자재의 운송과정, 폐건축자재의 매립과정으로 분류될 수 있다. 해체과정에서는 건축물의 해체작업에 투입되는 장비에 기인한 환경영향을 평가한다. 이때, 해체과정에서는 폐건축자재의 양이 산출되는데 폐건축자재의 양과 생산단계에서 투입된 건축자재의 수량이 동일하다고 설정할 수 있다. 또한, 해체장비는 기존 연구의 결과에 따라 해체과정에서 일반적으로 사용되는 Backhoe (1.0m³) + Giant Breaker (0.7m³)로

설정할 수 있다.

[164] 운송 과정은, 발생된 폐기물을 처리장까지 운송하는 과정에서의 환경영향을 평가한다. 이때, 운송차량은 건설표준품셈에 따라 15ton 트럭을 적용하고, 운송거리는 시공단계의 운송과정과 동일하게 30km로 설정할 수 있다.

[165] 매립 과정에서는, 폐건축자재를 매립하는 과정에서 발생하는 환경영향을 평가한다. 폐건축자재 재활용과정의 환경영향은 재활용업체에서 부담하는 Cut-off method를 적용하고 재활용되지 못한 폐건축자재에 대한 매립과정에서의 환경영향만을 고려할 수 있다. 이때, 매립장비는 Dozer (D8N, 15 PL, 6 PL) + Compactor (32ton)로 설정할 수 있고 폐기물통계연감에 따라 건축자재별 폐기물 처리현황을 조사한 결과에 의해, 레미콘은 70%가 재활용되고 30%가 매립되는 것으로 설정할 수 있다. 유리는 80%가 재활용되고 20%는 매립되는 것으로 설정할 수 있다. 또한, 석고보드는 10%의 재활용이 이뤄지고 90%는 매립되는 것으로 설정할 수 있다. 한편, 철근, 형강은 모두 재활용되고 콘크리트벽돌과 단열재는 모두 매립되는 것으로 설정할 수 있다. 하기 표 16은 제1 연산부(310)의 평가를 위하여 제1 저장부(110)에 저장된 해체 및 매립장비의 에너지소비량을 나타낸다.

[166] [표 16]

Classification	Equipment combination	Light fuel oil (ℓ/ton)
Deconstruction	Backhoe (1.0m ³) + Giant Breaker(0.7m ³)	3.642
Landfill	Dozer (D8N, 15 PL, 6 PL) + Compactor (32ton)	0.150

[168] 제1 연산부(310)는, 시나리오 기반 전과정 환경영향 평가를 위하여 내 환경부에서 개발된 피해산정형 모델인 KOLID(Korean Life cycle Impact assessment method based on a Damage oriented modeling)를 적용할 수 있다. KOLID는 도 3에 도시된 바와 같이 지구온난화, 산성화, 부영양화, 오존층 파괴, 광화학적산화물, 자원고갈의 6가지 환경영향 범주를 통해 암, 감염증, 백내장, 영양부족, 토지유실, 농업생산 등 16가지 종말점에 대한 피해를 정량적으로 산출하고 이를 인체건강, 사회자산, 생물다양성, 1차 생산의 4가지 보호대상(Safety guard)으로 평가하며, 화폐가치로써 단일의 최종 평가결과를 도출한다. 이때, KOLID의 인체건강에서는 사망 또는 사망에 이르지 않는 장애와 질환의 기간(Year)을 의미하는 DALY를 피해지표로하고 사회자산은 농작물, 수산자원, 삼림자원, 광물자원, 화석연료 억제 및 고갈에 대한 경제적인 비용(원)을 피해지표로 한다. 또한, 생물다양성은 유관속식물과 수생생물의 멸종종수에 대한 기대치인 EINES를 피해지표로 평가하며, 1차 생산은 육상식물과 해양 플랑크톤의 광합성에 의한 유기물의 양(kg/m²·yr)을 평가하는 NPP를 피해지표로 한다.

[169] 또한, 제1 연산부(300)는 하기 수학적식 4에 따라 통합화 과정을 통해 시스템 전체의 환경영향을 반영할 수 있다.

[170] [수학식 4]

$$[171] \quad TI = \sum_k I_k = \sum_k (D_k \times IF_k) = \sum_k \sum_i \sum_j (Load_{ij} \times DF_{k,i,j} \times IF_k)$$

[172] 여기서 TI는 통합화를 통한 시스템 전체의 환경영향, Dk는 보호대상 k로 분류된 모든 목록항목들이 해당 보호대상에 미치는 영향크기, IFk는 보호대상 k의 통합화 계수, Load_{ij}는 영향범주 i로 분류된 목록항목 j의 환경부하량, DF_{k,i,j}는 영향범주 i로 분류된 목록항목 j가 보호대상 k에 미치는 피해계수, Ik는 보호대상 k의 환경영향을 나타낸다.

[173] 표 17는 환경영향 범주의 기준물질별 피해계수(DF_{k,i,j})를 나타내고, 표 18은 KOLID의 보호대상별 경제가치 비용(IFk)을 나타낸다.

[174] [표 17]

환경영향 범주	Reference material	Safety guard	End point	Indicator	피해계수
GWP	CO ₂	인체건강	· 올한랭스트레스	· 올한랭 스트레스로 인한 사망 피해	1.23×10 ⁻⁷ DALY/kg-CO ₂
			· 감염증	· 말라리아·영기열에 의한 사망 피해	
			· 재해 피해	· 홍수, 태풍 증가에 의한 사망 피해	
			· 영양 부족	· 영양부족에 의한 사망피해	
		사회자산	· 농업 생산	· 잠재 생산량의 감소 수량	2.72 원/kg-CO ₂
			· 에너지 소비	· 냉방·난방감소에 의한 에너지 소비량의 변화	
AP	SO ₂	· 해수 상승	· 수몰 피해	· 토지가격	2.38×10 ⁻⁴ DALY/kg-SO ₂
		· 호흡기 질환	· 전식·호흡기 질환 등에 의한 피해	· 손실수명	
		· 목재 생산	· 잠재 생산량의 감소 수량	· 목재 생산량	
		· 1차 생산	· 육상식물 1차 생산량 감소 수량	· 1차 생산량	
EP	PO ₄ ³⁻	· 수역 생태계	· 어업생산 감소량	· 어업 생산량	26.26 kg/kg-SO ₂
		· 사회자산	· 수역 생태계	· 어업생산 감소량	
ODP	CFC-11	인체건강	· 피부암	· 악성흑색종, 기저세포종, 유극세포종에 의한 피해	1.35×10 ⁻⁴ DALY/kg-CFC-11
			· 백내장	· 피질형·핵형 백내장 피해	
		사회자산	· 농업 생산	· 잠재 생산량의 감소 수량	1.29543 원/kg-CFC-11
			· 목재 생산	· 잠재 생산량의 감소 수량	
		1차 생산	· 육역 생태계	· 육상식물 1차 생산량 감소 수량	279.48 kg/kg-CFC-11
			· 수역 생태계	· 식물 플랑크톤 1차 생산량 저하	
POCP	C ₂ H ₄	· 호흡기 질환	· 급성사망, 전식·호흡기 질환 등에 의한 피해	· 손실수명	3.22×10 ⁻⁵ DALY/kg-C ₂ H ₄
		· 농업 생산	· 잠재 생산량의 감소 수량	· 농작물 생산량	
		· 목재 생산	· 잠재 생산량의 감소 수량	· 목재 생산량	
		· 1차 생산	· 육역 생태계	· 육상식물 1차 생산량 감소 수량	
ADP	Sb	· 고갈성 자원	· 자진 매장량의 감소	· 사용자비용	14.21 kg/kg-Sb
		· 생물다양성	· 육역 생태계	· 식물종 구성의 변화	
		· 1차 생산	· 토지변화 및 토지 이용 중의 잠재적인 NPP 저하	· 1차 생산량	1.53×10 ⁻³ EINES/kg-Sb
					8.90×10 ⁻¹⁴ kg/kg-Sb

[176] [표 18]

Safety guard	Description	Unit	경제가치비용 (원/Unit)
인체건강	사망 또는 사망에 이르지 않는 장애와 질환	장애보정생존년수 (DALY)	2.82E+7
사회자산	농작물, 수산자원, 삼림자원, 광물자원, 화석연료	화폐 (원)	1.00E+0
생물다양성	유관속식물과 수생생물의 멸종	기대멸종종수 (EINES)	5.69E+5
1차 생산	육상식물과 해양 플랑크톤	순 1차 생산량 (NPP)	4.93E+4

[178] 표 17 및 표 18에 제시된 값을 수학식 4에 적용해보면, 지구온난화 환경영향 범주에 대하여 보호대상인 인체 건강에 대한 피해 계수는 1.23×10⁻⁷DALY/kg-CO₂이고, 인체 건강에 대한 경제가치비용인 통합화 계수는 2.82E+7이므로, 피해 계수와 통합화 계수를 곱하여 도출된 인체 건강에 대한 환경영향 평가 결과는 약

3.47원/kg-CO₂이고, 지구온난화 환경영향 범주에 대하여 보호대상인 사회 자산에 대한 피해 계수는 2.72원/kg-CO₂이며, 사회 자산에 대한 경제가치비용인 통합화 계수는 1.00E+0이므로, 피해계수와 통합화 계수를 곱하여 도출된 사회 자산에 대한 환경영향 평가 결과는 2.72원/kg-CO₂이 된다. 결국, 지구온난화 환경영향 범주에 대해서는 인체 건강 및 사회 자산이 보호 대상이므로 이를 더하여 6.19원/kg-CO₂이 통합화를 위한 환경영향이 된다(도 3 참조).

- [179] 즉, 제1 연산부(310)는, 수학적 식 3에 의해 도출된 환경영향 평가값에 수학적 식 4에 의해 도출된 통합화를 위한 환경영향값을 곱하여 시나리오가 반영된 환경영향 평가값을 도출할 수 있다. 따라서, 제1 저장부(110) 내에 저장된 제1 환경영향계수 집합 및 제2 환경영향계수 집합은 환경영향 원단위 뿐만 아니라 통합화를 위한 환경영향값을 포함하는 것이 바람직하나 이에 한정되지 않는다. 예를 들면, 제1 연산부(310)는, 제1 저장부(110)에 저장된 레미콘에 관한 지구온난화 범주의 환경영향 원단위가 4.09E+02원kg-CO₂/m³이고(표 13 참조), 지구온난화 범주의 통합화를 위한 환경영향을 계산한 결과가 상술한 바와 같이 6.19원/kg-CO₂임에 따라 1m³당 기능 단위별 금액을 409×9.16=2532원으로 설정하여 제1 환경영향계수로 사용할 수 있다. 이 경우, 레미콘의 투입량이 10m³라면 환경영향 평가값은 25320원이 된다. 이와 같은 방식으로 제1 연산부(110)는, 모든 환경 범주 및 모든 보호 대상에 대하여 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 계산을 수행하고 시나리오가 반영된 환경영향 평가값의 확률분포를 도출할 수 있다.

- [180] 제2 연산부(320)는, 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 확률분포 계산부(220)로부터 제공받은 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 제2 저장부(120)로부터 제공받은 제1 비용계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 비용 평가값의 확률분포를 계산하고, 확률분포 계산부(220)로부터 제공받은 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 제2 저장부(120)로부터 제공받은 제2 비용계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 비용 평가값의 확률분포를 계산하며, 제1 비용 평가값의 확률분포 및 제2 비용 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 비용 평가값의 확률분포를 계산하고, 계산된 전과정 비용 평가값을 제2 출력부(420)에 출력할 수 있다.

- [181] 제2 연산부(320)는, SETAC에서 제시된 환경적 전과정 비용 평가(ELCC, Environmental Life Cycle Costing) 기법에 근간하여 건축사업 초기단계에서 환경적 외부비용을 고려하여 건축물의 전과정 비용을 평가하는 방법인 CAM(Cost Assessment Method)을 몬테카를로 시뮬레이션에 입력하여 전과정 비용 평가값의 확률 분포를 계산할 수 있다.

- [182] 제2 저장부(120)는, 제1 비용계수 및 제2 비용계수에 대응하는 건축자재 단가 및 에너지원 단가를 저장하는데, 적어도 표 13에 포함된 건축자재에 대한 기능 단위 당 단가, 즉, 가격을 자재 단가 계수로서 저장한다. 에너지원 단가 데이터 베이스는, 적어도 표 14에 포함된 에너지원에 대한 기능 단위 당 단가를

에너지원 단가 계수로서 저장한다.

[183] 상술한 바와 같이 제2 저장부(120) 내에 제1 비용계수 집합 및 제2 비용계수 집합을 구축하기 위하여 건축물의 사적비용(Private cost)과 관련된 전과정 관점의 비용 범주를 조사하고 건축사업 초기단계에서 이해관계자들의 의사결정에 중요한 영향을 미치는 주요 비용 범주(Major cost categories)를 선정할 수 있다.

[184] 또한, 제2 연산부(320)는, 계산의 효율화를 위하여 직접공사비(Direct construction cost)의 투입 비율이 높은 주요 건축자재(Major building materials)를 도출하고, 현재 분석방법(Present worth method)에 기초하여 건축물의 사적비용과 외부비용(External cost)으로 구성되는 전과정 비용 산출식을 이용할 수 있다.

[185] 건축사업 초기단계는 전과정 비용에 대한 감축 잠재력이 가장 높은 단계로써 건축물에 투입되는 비용을 예측하는 것은 사업 전체의 성패를 결정하는 매우 중요한 요소이므로, 건축사업 초기단계에서 전과정 비용을 효율적으로 평가하기 위해서 의사결정에 중요한 영향을 미치는 주요 비용 범주를 선정하여 평가에 요구되는 정보를 간소화하는 것이 매우 중요하다.

[186] 한편, 일반적으로 전과정 비용 평가값 도출 시 사적비용은 건축물에 투입되는 비용으로써 초기투자비용, 운영비용, 철거비용, 기타비용으로 분류되며, 세부적으로는 기획·설계비, 직접공사비, 운영 에너지 비용, 유지보수비용, 일반관리비용, 철거비용 등으로 구분될 수 있다. 여기서, 제2 연산부(320)는, 다양한 전과정 비용 범주 중 건축물의 물리적 측면에 종속되지 않고 건축사업 또는 건축물 관리와 관계되는 기획·설계비, 일반 관리비용, 지원금은 주요 비용범주에서 제외한 후 계산할 수 있으나 이에 한정되지 않는다.

[187] 한편, 철거비용은 건축물의 물리적 측면에 종속되는 비용범주이나 이는 건축사업 초기단계에서 비용에 대한 예측과 추정에 많은 제약요소들이 존재하며, 건축물의 전과정 비용 관점에서도 그 기여도가 상대적으로 낮은 바, 건축사업 초기단계에서 이해관계자의 의사결정에 중요한 영향을 미치는 주요 비용범주으로써 건축물의 물리적인 측면에 종속되어 있는 직접공사비(재료비+노무비+경비), 운영 에너지 비용, 유지보수비용을 선정할 수 있다.

[188] 또한, 제2 연산부(320)는, 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여 복수개의 건축자재의 투입량의 확률분포 및 제2 저장부(120) 내에 저장된 제1 비용계수 집합에 대응되는 수치인 건축자재에 관한 직접공사비 단가를 이용하여 제1 비용 평가값의 확률분포를 계산할 수 있는데, 몬테카를로 시뮬레이션에 입력되는 계산식의 일례는 하기 수학식 5와 같다.

[189] [수학식 5]

$$[190] \quad CR = \sum_k (Q_k \times U_k \times CC_k)$$

[191] 여기서, CR는 건축물의 직접공사비에 대한 평가결과를 나타내며, Q_k 는

건축자재 (k)의 수량, U_k 는 건축자재의 수량과 직접공사비 단가간의 단위환산계수, CC_k 는 건축자재 (k)의 직접공사비에 대한 단가를 나타낸다.

- [192] 제2 연산부(320)는, 제2 비용 평가값의 확률분포에 대해서도 수학적 5의 건축자재의 수량, 즉, 투입량을 에너지원의 소비량으로 치환하고, 건축자재에 관한 직접공사비의 단가를 에너지원에 관한 단가로 치환하여 계산할 수 있으나 이에 한정되지 않는다.
- [193] 또한, 제2 연산부(320)는, 전과정 비용 평가값의 확률분포를 계산하는 데 있어서, 건축물 전과정 및 시간의 경과에 따른 경제적 영향을 고려하여 계산할 수 있다.
- [194] 즉, 전과정 비용 평가의 주된 목적은 건축사업 초기단계에서 여러 가지 설계 대안에 대한 총 비용을 산정하여 경제적으로 유리한 설계 대안을 선정하는 것이므로, 시간의 경과에 따른 경제적 영향을 고려해야 하며, 현재의 비용과 미래의 비용을 적절한 기법에 의해 동일시점으로 환산하여 산출해야 한다. 이러한 환산 방법은 현가 분석방법(Present worth method)과 연가 분석방법(Annualized method)으로 구분될 수 있다.
- [195] 여기서, 현가 분석방법은 할인율을 적용하여 현재와 미래의 모든 비용을 현재의 가치로 환산하는 방법이고 연가 분석방법은 대안의 모든 비용을 매년의 비용으로 변환하는 방법이다. 따라서 현가 분석방법은 일반적으로 대안의 총 비용 산정기간이 일정할 때 사용되고 연가분석 방법은 대안의 비용 산정기간이 서로 상이할 경우 사용된다. 제2 연산부(320)는, 건축물의 수명을 국내 세법에서 규정하고 있는 법적 수명인 40년으로 설정할 수 있고 현가 분석방법을 적용할 수 있다.
- [196] 현가 분석방법의 비용은 초기비용, 반복비용, 비반복비용으로 구분된다. 초기비용은 사업초기에 투입되는 비용이고 반복비용은 제품 시스템의 사용기간 중 매년 동일하게 발생하는 비용이며, 비반복비용은 제품 시스템의 사용기간 중 간헐적으로 발생하는 비용이다. 상술한 주요 비용 범주 선정 시 선정한 직접공사비(재료비+노무비+경비), 에너지 비용, 유지보수 비용만을 평가함에 따라 직접공사비는 초기비용, 운영단계의 에너지 비용은 반복비용, 유지보수비용은 비반복비용으로 설정할 수 있다. 또한, 서로 다른 시점에서 발생하는 비용과 효용에 대해 동일 기준으로 환산하기 위한 할인율은 시장의 금리와 물가상승률을 조합하여 실질적인 화폐의 가치변화를 나타내는 실질이자율(Real interest rate)을 적용할 수 있다.
- [197] 제2 연산부(320)는, 전과정 비용 평가값의 확률분포 계산 시 일반적인 전과정 평가기법(Conventional LCC)의 평가대상인 사적비용(Private cost)과 더불어 하나 이상의 외부비용(External cost)을 추가적으로 고려할 수 있다. 따라서, 제2 연산부(320)는, 앞서 주요 비용 범주로 선정된 직접공사비, 에너지 비용, 유지보수 비용의 사적비용과 함께 KOLID를 이용한 환경적 전과정 평가(ELCA)의 결과로 산출되는 생산단계, 시공단계, 운영단계(유지관리과정

포함)의 외부비용을 각각의 비목에 포함하여 하기 수학식 6을 몬테카를로 시뮬레이션에 입력함으로써 전과정 비용 평가값의 확률 분포를 산출할 수도 있다.

[198] [수학식 6]

$$[199] \quad ELCC = (PC_C + EC_C) + \sum_{n=1}^{40} \frac{(PC_E + EC_E) \times (1+i)^n - 1}{i \times (1+i)^n} + \sum_{k=1}^k \frac{(PC_M + EC_M)}{(1+i)^{ak}}$$

[200] 여기서, PC_C 와 EC_C 은 직접공사비의 사적비용과 생산단계의 외부비용, PC_E 와 EC_E 는 연간 에너지소비량에 대한 사적비용과 외부비용, PC_M 과 EC_M 은 건축자재의 유지보수비용을 의미하며, i 는 실질이자율, n 은 건축물의 수명, k 는 건축물 수명 40년 동안의 건축자재의 수선 횟수, a 는 건축자재의 수선주기를 나타낸다.

[201] 사적비용(Private cost)을 평가하기 위해서는 직접공사비, 에너지 비용, 유지보수 비용을 산출해야 한다. 이때, 직접공사비는 전체 직접공사비에서 90~99%를 차지하는 10가지의 주요 건축자재에 대한 투입량과 단가의 곱을 통해 산출할 수 있으며, 에너지 비용은 연간 에너지 소비량과 단가, 유지보수비용은 건축자재의 투입량과 건축자재의 수선율 그리고 단가의 곱을 통해 평가할 수 있다. 하기 수학식 7 내지 수학식 9는 각각 직접공사비, 연간 에너지 비용, 유지보수 비용에 대한 사적비용의 산출식을 나타낸다.

[202] [수학식 7]

$$[203] \quad PC_C = \sum_{i=1}^{10} (Q_{m,i} \times U_{c,i})$$

[204] [수학식 8]

$$[205] \quad PC_E = \sum_{i=1}^n (Q_{e,i} \times U_{e,i})$$

[206] [수학식 9]

$$[207] \quad PC_M = \sum_{i=1}^{10} (Q_{m,i} \times U_{c,i} \times R_i)$$

[208] 여기서, PC_C 와 PC_E 는 직접공사비와 연간 에너지소비량의 사적비용, $Q_{m,i}$ 와 $U_{c,i}$ 는 주요 건축자재 (i)의 물량과 직접공사 단가, $Q_{e,i}$ 와 $U_{e,i}$ 는 에너지원 (i)의 연간 소비량과 에너지원 (i)의 단가, R_i 는 주요 건축자재 (i)의 수선율을 의미한다.

[209] 또한, 제2 연산부(320)는, 환경적 전과정 비용 평가(ELCC)의 외부비용을 고려하는 방법으로 지불의사비용(WTP, Willing to pay) 방법과 종말점수준의 피해산정(Damage cost) 방법을 사용할 수 있다. 여기서 지불의사비용은 특정 집단체를 소비하는 가상의 시장을 만들어 소비자가 이를 소비할 때 지불하고자

하는 가격을 반영한 방법이며, 종말점 수준의 피해산정 방법은 환경경제학에서 정립된 환경영향의 경제 가치화 이론을 전과정 영향평가(LCIA)에 접목하여 비용으로 환산하는 방법을 의미한다.

- [210] 제2 연산부(320)는, 전과정 비용 평가값의 확률분포의 도출에 있어서, 종말점 수준의 피해산정 방법에 기초하여 보호대상(인체건강, 사회자산, 생물다양성, 1차 생산)에 대한 가치를 한계지불의사비용으로 분석한 KOLID의 경제가치비용을 외부비용으로 적용할 수 있다. 즉, 외부비용은 상술한 수학적 4에 의하여 정량적으로 평가되는 보호대상별 피해규모와 경제가치 비용의 곱을 통해 산출될 수 있다. 따라서 제1 연산부(310)에서 산출된 생산단계, 시공단계, 운영단계(유지관리과정 포함)의 환경영향 평가결과를 토대로 외부비용을 산출할 수 있으며, 이를 전과정 비용 평가값에 반영할 수 있다. 수학적 10 내지 수학적 12는 각각 직접공사비, 연간 에너지 비용, 유지보수 비용에 대한 외부비용의 산출식을 나타낸다.

[211] [수학적 10]

$$[212] \quad EC_C = \sum_{i=1}^6 (Q_{m,i} \times I_{m,i} \times F_{ec})$$

[213] [수학적 11]

$$[214] \quad EC_E = \sum_{i=1}^n (Q_{e,i} \times I_{e,i} \times F_{ec})$$

[215] [수학적 12]

$$[216] \quad EC_M = \sum_{i=1}^6 (Q_{m,i} \times I_{m,i} \times F_{ec} \times R_i)$$

- [217] 여기서, EC_C 와 EC_E 는 직접공사비와 연간 에너지소비량의 외부비용, $Q_{m,i}$ 와 $Q_{e,i}$ 는 주요 건축자재 (i)의 투입량과 에너지원 (i)의 연간 소비량, $I_{m,i}$ 와 $I_{e,i}$ 는 주요 건축자재 (i)와 에너지원 (i)의 환경영향에 따른 보호대상별 피해규모 원단위, F_{ec} 는 KOLID의 경제가치 비용(표 118 참고), R_i 는 주요 건축자재 (i)의 수선율을 의미한다.

- [218] 다만, 제2 연산부(320)는, 상술한 바와 같은 외부 비용이 제1 연산부(310)에 의하여 계산된 전과정 환경영향 평가값의 확률분포에 이미 반영되어 있으므로, 지속가능 건축물 지수에 중복 산입을 방지하기 위하여 전과정 비용 평가값의 확률분포 계산에서 제외할 수 있다.

- [219] 제3 연산부(330)는, 몬테카를로 시뮬레이션에 의해, 확률분포 계산부(220)에서 제공받은 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 제3 저장부(130)에서 제공받은 사회영향계수 집합을 이용하여 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 계산된 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 제3 출력부(430)에

출력할 수 있다.

- [220] 제3 연산부(330)는, UNEP/SETAC에서 제시한 사회적 전과정 평가(S-LCA, Social Life Cycle Assessment) 기법에 근간하여 건축사업 초기단계에서 건축물의 전과정 사회적 영향을 평가하는 방법인 SAM(Social impact Assessment Method)을 몬테카를로 시뮬레이션에 입력하여 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 계산할 수 있다.
- [221] 제3 저장부(130)는, 사회영향계수에 대응하는 사회영향 원단위를 저장하는데, 이를 위하여 상술한 사회적 논제 중 주요 사회적 논제를 선별하여 그에 관한 사회영향 원단위를 저장할 수 있다.
- [222] 전과정 사회영향(Social impact)은 제품 또는 서비스의 전과정으로부터 야기되는 유해 또는 유익한 전체 또는 부분적인 사회적 현상을 총칭한다. 이는 상술한 바와 같이 제품 시스템과 관련된 이해관계자인 근로자(Worker), 소비자(Consumer), 지역사회(Local community), 사회(Society), 가치사슬(기업 활동에서 부가가치가 생성되는 과정) 범주에 미치는 영향과 사회적 관심(Interest)을 세부적인 항목으로 분류한 사회적 논제(Social topics)를 통해 구체화되고 정량화될 수 있다.
- [223] 한편, 사회적 논제는 다수의 이해관계자별로 수많은 이슈(Issue)가 존재함에 따라 사회영향 평가값 계산의 수행을 위해서 평가대상과 평가 목적에 부합되는 주요 사회적 논제를 선정할 수 있고, 국제적 기관인 UNEP(United Nations Environment Programme), WBCSD(World Business Council for Sustainable Development), GRI(Global Reporting Initiative), GSCP(Global Social Compliance Programme)와 국제표준인 ISO 26000(Guidance on social responsibility) 등에서 제시하고 있는 사회적 논제를 분석하고 주요 사회적 논제를 선정할 수 있다.
- [224] 즉, 제3 저장부(130)는, 다양한 이해관계자 범주 중 평가방법이 구체적으로 제시된 근로자 범주만을 대상으로 사회영향 원단위를 저장할 수 있으며, 근로자범주 내 인원 협회와 단체 교섭의 자유, 아동노동, 공정임금, 근로시간, 강제노동, 균등기회 및 차별, 건강 및 안전, 사회적 혜택, 훈련 및 교육, 고용관계, 직업 만족도를 포함하는 총 11가지 논제를 주요 사회적 논제로 하는 사회영향 원단위를 저장할 수 있으나 이에 한정되지 않는다.
- [225] 제3 연산부(330)는, 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 주요 건축자재의 투입량의 확률분포와 건축자재의 사회영향 원단위를 이용하여 건축물 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 하기 수학적 식 13에 의하여 계산할 수 있으나 이에 한정되지 않는다. 이때, 공동주택의 환경적, 경제적 측면의 주요 건축자재로 도출될 수 있는 콘크리트, 철근, 유리, 콘크리트벽돌, 단열재, 석고보드, 창호, 석재, 타일, 페인트의 10가지 건축자재를 주요 건축자재로 선정하고 이를 건축물 전과정 사회영향 평가의 대상으로 설정할 수 있다. 건축물 관점의 전과정 사회영향 평가값(0의 초과 여부 및 그 정도)을 통해 건축물이 내포하는 사회적인 긍정 또는 부정적인 영향과 그 수준을 유용하게 판단할 수 있다.

[226] [수학식 13]

$$[227] \quad SIR = \sum_k (Q_k \times U_k \times SIC_k)$$

[228] 여기서 SIR은 건축물의 전과정 사회영향 평가값을 나타낼 수 있으며, Q_k 는 주요 건축자재 (k)의 투입량, U_k 는 주요 건축자재 투입량과 사회영향 원단위간의 단위환산계수, SIC_k 는 주요 건축자재 (k)의 사회영향 원단위를 나타낸다.

[229] 제3 저장부(130)는, 건축물에 투입될 건축자재에 대한 사회영향계수에 대응하는 사회영향 원단위를 저장한다. 예를 들면, 레미콘에 대한 사회영향 원단위를 도출하는 방법은 아래와 같다.

[230] 이때, S-LCA의 원칙에 따라 현장데이터(Site specific data)를 우선적으로 적용하고, 현장데이터의 적용이 어려운 경우 국제 또는 국내의 통계자료에 기초한 일반 데이터(Generic data)를 적용할 수 있다. 특히, 표 19의 4가지 레미콘사업장을 대상으로 조사한 레미콘사업장의 운영형태별 노사관계의 특징을 재분석하여 현장데이터로 적용할 수 있다. 또한, 레미콘사업장의 출하량과 노사관계 등은 국내 레미콘사업장의 특징을 모두 대표하는 것으로 가정할 수 있다.

[231] [표 19]

[232]

사업장	A사업장	B사업장	C사업장	D사업장
운영형태	적영사업장	레미콘 전문기업	시멘트제조사 소속	시멘트제조사 소속
지역	경기 용인	경기 고양	경기 부천	경기 부천
생산능력(m³/시간)	420	720	360	620
레미콘 트럭(대)	55	87	61	101
연간 출하량(천m³)	300	691	344	638
가동률(%)	35	47	47	50

[233] 사회적 논제에 대한 평가기준은 정성적인 평가기준으로 표현되고 있으므로 사회적 논제의 평가를 통해 레미콘의 사회영향 원단위를 정량적으로 구축하기 위한 방법으로 등간척도(Interval Scale) 기반의 분석방법을 적용할 수 있다.

여기서, 등간척도 기반의 분석방법은 사회 내 다양한 상황과 맥락 속에서 들어나는 정도의 흐름을 임의의 기준점으로부터 척도화하는 방법으로써 평가 대상에 부여된 점수가 반드시 그 평가 대상의 성능과 비례하지 않을 수 있다는 한계점이 있지만 일정한 기준에 따라 성능의 고저 판단이 가능하고 그 수준을 다른 대상과 간접적으로 비교 할 수 있다는 특징을 갖는다.

[234] 여기서, 사회적 논제별 점수는 사회 및 윤리적 관점에서 최소의 복지와 혜택의 수준 또는 산업의 평균을 의미하는 '0'을 기준으로 하며, 추가적인 긍정적인 영향(Positive impact)에 대해 최대 '+2점', 부정적인 영향(Negative impact)에 대한 최소 '-2'점을 부여할 수 있다. 또한, 레미콘사업장에 따라 생산되는 레미콘의 수량이 상이함에 따라 레미콘사업장별 연간 출하량을 이용하여 사회적 논제별

평가점수의 가중평균(Weighted average)을 산출하고 이에 기초한 사회영향 원단위를 구축할 수 있다. 즉, 사회적 논제별 평가결과가 하나의 지표로써 취합된 가중평균 또는 사회영향 원단위가 0 이상일 경우 이는 긍정적인 사회영향을 갖는 것으로 판단할 수 있으며, 0 이하일 경우에는 부정적인 사회영향을 갖는 것으로 판단할 수 있다. 수학적 식 14는 사업장의 평가점수에 대한 가중평균 산출식을 나타낸다.

[235] [수학적 식 14]

$$[236] \quad WA_i = \frac{\sum_{j=1}^4 (S_{i,j} \times Q_j)}{\sum_{j=1}^4 Q_j}$$

[237] 여기서, WA_i 는 평가기준 (i)에 대한 가중평균, Q_{ij} 는 평가기준 (i)에 대한 레미콘사업장 (j)의 점수, Q_j 는 레미콘사업장 (j)의 연간 출하량을 의미한다.

[238] 하기 표 20 내지 표 23은 레미콘에 대한 근로자 범주의 사회적 논제 분석 결과를 나타낸다.

[239] 즉, 근로자의 인권 협회와 단체 교섭의 자유는 근로자의 권리를 행사하기 위한 노동조합의 설립 및 단체교섭에 대한 회사의 저해 여부, 근로자의 단체교섭과 협상에 대한 반영 여부, 근로자 대표의 징계 여부 등을 통해 평가할 수 있다. A, B사업장은 근로자의 권리를 행사하기 위한 노동조합이 부재하고 C, D사업장만 노동조합이 존재한다. 이에 A, B사업장은 근로자의 이익을 대표하는 조직이 존재하지 않으며, 단체교섭도 이뤄지고 있지 않은 실정이다. C사업장은 노동조합이 존재하고 단체교섭 활동도 일부 이뤄지고 있으나 근로자의 의견을 전달하는 정기적인 활동은 이뤄지고 있지 않다. 반면, D사업장은 노동조합을 통한 단체교섭 활동이 활발하게 이뤄지며, 근로자의 발언권이 보장되는 노사협의회가 정기적으로 운영되고 있다. 따라서 A, B사업장은 '-2'점, C사업장은 '0'점, D사업장은 '+2'점을 부여하였으며, 출하량을 기준으로 한 가중평균(Weighted average)은 수학적 식 14에 의하여 '-0.36'점으로 산출될 수 있다.

[240] 아동노동은 아동노동 방지에 대한 관리 및 준수 체계의 운영 여부와 근로자의 나이를 증명할 수 있는 문서의 보관 여부 등을 통해 평가할 수 있다. 2013년 UNICEF(The United Nations International Children's Emergency Fund)에서 전 세계 104개국을 대상으로 아동노동의 실태를 발표한 보고서에 따라 국내 모든 사업장에서 아동노동이 행해지고 있지 않는 것으로 적용하면, 레미콘 사업장 A, B, C, D 모두 '+2'점을 부여할 수 있고 출하량 기준의 가중평균도 '+2.00'점으로 적용할 수 있다.

[241] 공정임금은 법적 최소기준의 임금 지급 여부와 추가적인 생활비의 지급 여부 등을 통해 평가할 수 있다. A사업장은 전형적인 중소기업으로써 모든 근로자에게 법적 최소기준의 임금은 지급하나, 추가적인 생활비 지급은

전무하다. 한편, B, C, D사업장은 대기업 또는 대기업 그룹사 소속으로써 모든 근로자를 대상으로 법적 최소기준의 임금을 지급할 뿐만 아니라 공장수당, 자격수당, 통신비, 학자금 지원 등 다양한 생활비를 지급한다. 따라서 A사업장은 '0'점, B, C, D사업장은 '+2'점을 부여하였으며, 출하량을 기준으로 한 가중평균은 '+1.70'점으로 산출될 수 있다.

- [242] 근로시간은 법적 기준의 근로시간에 대한 준수 여부와 초과 근무수당의 지급 여부 등을 통해 평가한다. A사업장은 주 40시간 근무제가 도입되었으나 산업의 특성상 정상 근무 주에도 새벽부터 저녁 늦게까지 근무하고 일요일과 기타 법정 공휴일에도 대부분 출근한다. B, C, D사업장도 A사업장과 유사하게 주 40시간 근무제가 도입되었으나 공장의 가동상황에 따라 휴일에도 근무한다. 다만, 휴일 근무 시에는 사업장의 여건을 감안하여 대휴제도 또는 격주 휴무 제도를 운영하고 있다. 따라서 A사업장은 '-2'점, B, C, D사업장은 '-1'점을 부여하였고 출하량을 기준으로 한 가중평균은 '-1.15'점으로 산출할 수 있다.
- [243] 강제노동은 근로자의 서류(여권, 거주허가증 등) 또는 임금(Salary)에 대한 회사의 강제 귀속 여부와 근로자의 조기 퇴사 권리가 포함된 합리적인 근로조건 여부 등을 통해 평가한다. 2011년 미국의 노동부(U.S. DOL, United States Department of Labor)에서 조사한 한국의 노동권 보고서(Republic of Korea Labor Rights Report)에 나와 있듯이 국내 모든 사업장에서 강제노동이 행해지고 있지 않고, 고용주/고용기관 및 제품과 직접 관련된 공급업체는 모두 노동조합 및 노동관계조정법을 준수하여 강제노동 방지를 위해 노력한다. 따라서 레미콘 사업장 A, B, C, D 모두 '+2'점을 부여하고 출하량 기준의 가중평균도 '+2.00'점으로 적용할 수 있다.
- [244] 균등기회 및 차별은 차별과 관련된 이의 신청제도의 운영 여부와 동등한 업무적 가치에 대해 동등한 보수 지급 여부 등을 통해 평가할 수 있다. 2011년 미국의 노동부(U.S. DOL)의 한국 노동권 보고서(Republic of Korea Labor Rights Report)에 의하면 국내 모든 사업장에서 근로자에 대한 차별이 행해지고 있지 않으므로, 레미콘 사업장 A, B, C, D 모두 '+2'점을 부여하고 출하량 기준의 가중평균도 '+2.00'점으로 적용할 수 있다.
- [245] 건강 및 안전은 건강과 안전에 관한 교육의 제공 여부, 건강과 안전을 위한 책임 직무 체계의 정의 여부 등을 통해 평가할 수 있다. 국내의 산업안전보건법에 따라 A, B, C, D사업장 모두 고용노동부령으로 정하는 정기적인 안전·보건을 실시하고 근로자의 건강과 안전을 관리하는 안전보건관리책임자, 관리감독자, 안전관리자 등을 선임한다. 다만, 건강과 안전에 대한 교육 프로그램의 설계, 개발, 검토에 근로자가 참여하거나 사업장의 재해 수준과 저감 목표의 수립 및 관리 여부는 판단하기 어려움에 따라 추가적인 배점은 부여하지 않는다. 따라서 레미콘 사업장 A, B, C, D 모두 '0'점을 부여하고 출하량 기준의 가중평균도 '0.00'점으로 적용할 수 있다.
- [246] 사회적 혜택은 퇴직금(Severance pay), 장애수당, 부양가족 수당, 유족 급여 등

근로기준법에 명시된 사회적 혜택의 부여 여부와 그 외 추가적인 사회적 혜택에 대한 부여 여부 등을 통해 평가할 수 있다. A사업장은 근로자에게 근로기준법에 제시된 사회적 혜택만을 부여할 뿐 기타 복리 후생제도는 거의 전무하다. 반면, B, C, D사업장에서는 모든 근로자에게 법으로 명시된 사회적 혜택 이외에도 공장수당, 직책수당, 자격수당, 학자금 지원 등의 혜택을 부여한다. 따라서 A사업장은 '0'점, B, C, D사업장은 '+2'점을 부여하고, 출하량을 기준으로 한 가중평균은 '+1.70'점으로 산출할 수 있다.

- [247] 훈련 및 교육은 근로자를 대상으로 한 훈련과 교육의 시행 여부 등을 통해 평가할 수 있다. A사업장은 회사 자체의 교육체계가 구축되지 않았으며, KS 규정에 명시된 최소의 법정 교육만 실시한다. 반면, B, C, D사업장에서는 직급에 따라 직무와 관련된 온라인 교육 및 오프라인 교육을 주기적으로 운영한다. 또한, 교육학점제를 운영하여 직무에 대한 교육뿐만 아니라 다양한 교양 및 어학에 대한 교육 등을 실시하고 있다. 따라서 A사업장은 '-1'점, B, C, D사업장은 '+2'점을 부여하고, 출하량을 기준으로 한 가중평균은 '+1.54'점으로 산출한다.

- [248] 고용관계는 근로계약서의 작성 여부와 근로자의 채용 형태를 통해 평가할 수 있다. A, B, C, D사업장 모두 근로기준법에 따라 모든 근로자를 대상으로 근로계약서를 작성하고 있으며, 정규직의 고용 비율도 25% 이상이다. 따라서 레미콘 사업장 A, B, C, D 모두 '+2'점을 부여하고 출하량 기준의 가중평균도 '+2.00'점으로 적용할 수 있다.

- [249] 직업 만족도는 근로자의 이직률을 통해 평가할 수 있다. A사업장의 연간 이직률은 15~20%이며, B사업장은 8.3~15%이다. 반면, C, D사업장은 근로자의 근속년수가 15~20년으로 매우 길며, 이직률은 매우 낮다. 따라서 A사업장은 '-1'점, B사업장은 '0'점, C, D사업장은 '+2'점을 부여하고, 출하량을 기준으로 한 가중평균은 '+0.84'점으로 산출될 수 있다.

- [250] [표 20]

[251]

Social topics	Criteria	Workplace				Weighted average
		A	B	C	D	
Freedom of association and collective bargaining	법적으로 규정된 노동조합의 활동에 대해 근로자는 이에 대한 내용을 사전에 공지 받고 참여 여부를 자유롭게 선택할 수 있으며, 회사는 근로자의 단체교섭 및 협상, 단체행동에 대해 징계하지 않음.					-0.36
	근로자의 권리 행사를 위한 노동조합의 설립과 단체교섭을 회사가 저해하지 않으며, 근로자의 대표를 징계하지 않음. 또한, 근로자는 노동조합에 대한 권리를 사전에 공지 받고 회사는 근로자의 단체교섭 및 단체행동에 대해 징계하지 않음.					
	근로자의 권리 행사를 위한 노동조합의 설립과 단체교섭을 회사가 저해하지 않으며, 근로자의 대표를 징계하지 않음.	-2	-2	0	+2	
	-1 근로자가 권리를 행사하기 위한 노동조합의 설립과 단체교섭을 회사가 저해하거나 또는 근로자의 대표를 징계함.					
	-2 근로자가 권리를 행사하기 위한 노동조합이 존재하지 않거나 노동조합의 설립과 단체교섭을 회사가 저해하며, 근로자의 대표를 징계함.					
Child labour	아동노동 방지에 대한 관리 및 준수 체계가 존재하며, 근로자의 나이를 증명할 수 있는 문서를 보관하고 있음. 또한, 고용주/고용기관 및 공급업체는 아동노동 방지를 위해 사전에 적극적으로 관리함.					+2.00
	아동노동 방지에 대한 관리 및 준수 체계가 존재하며, 근로자의 나이를 증명할 수 있는 문서를 보관하고 있음. 또한, 고용주/고용기관은 아동노동 방지를 위해 사전에 적극적으로 관리함.					
	아동노동 방지에 대한 관리 및 준수 체계가 존재하며, 근로자의 나이를 증명할 수 있는 문서를 보관하고 있음.	+2	+2	+2	+2	
	-1 아동노동 방지에 대한 관리 및 준수 체계가 존재하나 근로자의 나이를 증명할 수 있는 문서를 보관하고 있지 않음.					
	-2 아동노동 방지에 대한 관리 및 준수 체계가 존재하지 않으며, 근로자의 나이를 증명할 수 있는 문서를 보관하고 있지 않음.					
Fair salary	모든 근로자에게 법적 최소기준의 임금을 지급하며, 25% 이상의 근로자에게 추가적인 생활비를 지급함.					+1.70
	모든 근로자에게 법적 최소기준의 임금을 지급하며, 25% 미만의 근로자에게는 추가적인 생활비 지급함.					
	모든 근로자에게 법적 최소기준의 임금 지급함.	0	+2	+2	+2	
	-1 25% 미만의 근로자에게 법적 최소기준 이하의 임금 지급함.					
	-2 25% 이상의 근로자에게 법적 최소기준 이하의 임금 지급함.					

[252]

[표 21]

[253]

Social topics	Criteria	Workplace				Weighted average
		A	B	C	D	
Working hours	정상 근무 주의 근로시간은 법적 기준인 40시간을 초과하지 않으며, 초과 근무는 그 시간이 기록되고 자발적인 분위기에서 이루어짐. 또한, 초과 근무시간은 한 주당 12시간 이내로써 활동된 초과 근무수당이 지급됨.					-1.15
	정상 근무 주의 근로시간은 법적 기준인 40시간을 초과하지 않으며, 초과 근무는 그 시간이 기록되고 자발적인 분위기에서 이루어짐. 하지만 초과 근무시간은 한 주당 12시간 이상이거나 활동된 초과 근무수당이 지급되지 않음.					
	정상 근무 주의 근로시간은 법적 기준인 40시간을 초과하지 않으며, 초과 근무는 그 시간이 기록되고 자발적인 분위기에서 이루어짐. 하지만 초과 근무시간은 한 주당 12시간 이상이고 활동된 초과 근무수당이 지급되지 않음.	-2	-1	-1	-1	
	-1 정상 근무 주를 제외한 성수기의 한 주당 근로시간이 법적 기준인 40시간을 초과하며, 초과 근무는 시간이 기록되지 않음.					
	-2 정상 근무 주의 근로시간은 법적 기준인 40시간을 초과하며, 초과 근무는 시간이 기록되지 않음.					
Forced labour	회사가 근로자의 서류나 임금을 강제적으로 귀속시키지 않으며, 근로자들은 조기 퇴사의 권리가 포함된 합리적인 근로조건으로 고용됨. 또한, 고용주/고용기관 및 제품과 직접 관련된 공급업체는 강제노동 방지를 위해 노력함.					+2.00
	회사가 근로자의 서류나 임금을 강제적으로 귀속시키지 않으며, 근로자들은 조기 퇴사의 권리가 포함된 합리적인 근로조건으로 고용됨. 또한, 고용주 / 고용기관은 강제노동 방지를 위해 노력함.					
	회사가 근로자의 서류나 임금을 강제적으로 귀속시키지 않으며, 근로자들은 조기 퇴사의 권리가 포함된 합리적인 근로조건으로 고용됨.	+2	+2	+2	+2	
	-1 회사가 근로자의 서류나 임금을 강제적으로 귀속시키지 않지만 근로자들은 조기 퇴사의 권리가 포함된 합리적인 근로조건으로 고용되지 않음.					
	-2 회사가 근로자의 서류나 임금을 강제적으로 귀속시키며, 근로자들도 조기 퇴사의 권리가 포함된 합리적인 근로조건으로 고용되지 않음.					

[254]

[표 22]

[255]

Social topics	Criteria	Workplace				Weighted average
		A	B	C	D	
Equal opportunities / discrimination	차별에 대한 이의 신청제도를 운영하며, 동등한 업무적 가치에 대해 동등한 보수를 지급함. 또한, 근로자의 인적 다양성 관리에 대한 목표를 달성함.					
	차별에 대한 이의 신청제도를 운영하며, 동등한 업무적 가치에 대해 동등한 보수를 지급함. 또한, 근로자의 인적 다양성 관리에 대한 목표를 설정함.					
	차별에 대한 이의 신청제도를 운영하며, 동등한 업무적 가치에 대해 동등한 보수를 지급함. 하지만 근로자의 인적 다양성 관리에 대한 목표가 설정되지 않음.	+2	+2	+2	+2	+2.00
	-1 차별에 대한 이의 신청제도를 운영하나 동등한 업무적 가치에 대해 동등한 보수를 지급하지 않음. 또한, 근로자의 인적 다양성 관리에 대한 목표가 설정되지 않음.					
	-2 차별에 대한 이의 신청제도를 운영하지 않으며, 동등한 업무적 가치에 대해 동등한 보수를 지급하지 않음. 또한, 근로자의 인적 다양성 관리에 대한 목표가 설정되지 않음.					
Health and safety	건강과 안전에 관한 교육을 제공하며, 건강과 안전을 위한 책임 직무 체계가 정의됨. 또한, 근로자가 건강과 안전에 대한 교육 프로그램을 설계, 개발, 검토함. 재해 수준이 관리되고 이에 대한 저장 목표가 수립됨.					
	건강과 안전에 관한 교육을 제공하며, 건강과 안전을 위한 책임 직무 체계가 정의됨. 또한, 근로자가 건강과 안전에 대한 교육 프로그램을 설계, 개발, 검토함.					
	건강과 안전에 관한 교육을 제공하며, 건강과 안전을 위한 책임 직무 체계가 정의됨.	0	0	0	0	0.00
	-1 건강과 안전에 관한 교육을 제공하지 않거나 건강과 안전을 위한 책임 직무 체계가 정의되지 않음.					
	-2 건강과 안전에 관한 교육을 제공하지 않고 건강과 안전을 위한 책임 직무 체계가 정의되지 않음.					

[256]

[표 23]

[257]

Social topics	Criteria	Workplace				Weighted average
		A	B	C	D	
Social benefits / social security	모든 근로자에게 법적 기준의 사회적 혜택을 부여하고 25% 이상의 근로자에게는 추가적인 사회적 혜택을 부여함.					
	모든 근로자에게 법적 기준의 사회적 혜택을 부여하고 25% 미만의 근로자에게는 추가적인 사회적 혜택을 부여함.					
	모든 근로자에게 법적 기준의 사회적 혜택을 부여함.	0	+2	+2	+2	+1.70
	-1 25% 미만의 근로자에게 법적 기준의 사회적 혜택을 부여하지 않음.					
	-2 25% 이상의 근로자에게 법적 기준의 사회적 혜택을 부여하지 않음.					
Training and education	모든 근로자를 대상으로 한 주기적인 훈련과 교육을 시행함.					
	75% 초과인 근로자를 대상으로 한 간헐적인 훈련과 교육을 시행함.					
	50% 이상 75% 이하의 근로자를 대상으로 한 간헐적인 훈련과 교육을 시행함.	-1	+2	+2	+2	+1.54
	-1 50% 미만의 근로자를 대상으로 한 간헐적인 훈련과 교육을 시행함.					
	-2 훈련과 교육을 시행하지 않음					
Employment and employment relationships	모든 근로자를 대상으로 근로계약서를 작성하며, 25% 이상의 근로자를 정규직으로 고용함.					
	모든 근로자를 대상으로 근로계약서를 작성하며, 25% 미만의 근로자를 정규직으로 고용함.					
	모든 근로자를 대상으로 근로계약서를 작성하나 모든 근로자를 비정규직으로 고용함.	+2	+2	+2	+2	+2.00
	-1 25% 미만의 근로자에게 근로계약서를 작성하지 않음.					
	-2 25% 이상의 근로자에게 근로계약서를 작성하지 않음.					
Job satisfaction	연간 근로자들의 이직률이 5% 미만임.					
	연간 근로자들의 이직률이 5% 이상 10% 미만임.					
	연간 근로자들의 이직률이 10% 이상 15% 미만임.	-1	0	+2	+2	+0.84
	-1 연간 근로자들의 이직률이 15% 이상 20% 미만임.					
	-2 연간 근로자들의 이직률이 20% 이상임.					

[258]

제3 저장부(130)에 저장된 건축자재의 사회영향 원단위는, 하기 수학적식 15와 같이 근로자 범주에 대한 주요 사회적 논제의 점수 총합을 배점의 총점과 나누어 줌으로써 산출할 수 있다. 이때, 건축자재의 사회영향 원단위가 0을 초과한 경우, 해당 건축자재는 사회적으로 긍정적인 영향을 갖는 것을 나타내며, 0 미만인 경우, 부정적인 영향을 갖는 것을 의미한다.

[259]

[수학적식 15]

[260]

$$SIC_i = \frac{\sum_{j=1}^{11} ST_{i,j}}{22}$$

[261] 여기서 SIC_i 는 사회영향계수에 대응하는 건축자재 (i)에 대한 사회영향 원단위를 나타내며, $ST_{i,j}$ 는 건축자재 (i)에 대한 사회적 논제 (j)의 점수를 의미한다.

[262] 이때, 앞서 언급된 레미콘에 대한 사회적 논제에 있어서는, 수학적식 14 및 수학적식 15에 따라 사회적 논제의 총점과 사회영향 원단위가 각각 12.27점, 0.56으로 산출되고, 레미콘은 사회적 측면에서 긍정적인 영향을 내포함 건축자재로 분석될 수 있다. 이때, 레미콘의 기능단위는 입방 미터(Cubic meter, m³)로 표현됨에 따라 본 사회영향 원단위의 단위는 입방 미터 당 점수(점/m³)로 정의할 수 있다.

[263] 또한, 제3 저장부(130)는, 근로자 범주 뿐 아니라 그 외 사회적 논제에 대해서도 하기 수학적식 16에 의해 계산된 사회영향 원단위 값을 저장할 수 있다.

[264] [수학적식 16]

[265]

$$SIC_i = A_i \times \left(\alpha \times \left(\frac{\sum_{j=1}^n (ST_{i,j} \times WF_j)}{2n} \right) + \beta \times \left(\frac{\sum_{k=1}^n (ST_{i,k} \times WF_k)}{2n} \right) + \dots \right)$$

[266] 여기서 SIC_i 는 건축자재 (i)에 대한 사회영향 원단위, A_i 는 건축자재별 기능단위를 고려한 건축자재 (i)의 가중치(Weighting factor), $ST_{i,j}$ 는 건축자재 (i)에 대한 근로자 범주의 사회적 논제 (j)의 점수, WF_j 는 근로자 범주의 사회적 논제 (j)에 대한 가중치, n 은 이해관계자 범주별 사회적 논제의 가지 수, $ST_{i,k}$ 는 건축자재 (i)에 대한 소비자 범주의 사회적 논제 (k)의 점수, WF_k 는 소비자 범주의 사회적 논제 (k)에 대한 가중치, α , β 는 이해관계자 범주의 가중치를 의미하며, 지역사회, 사회, 가치사슬에 대한 사회영향도 같은 방법으로 확장하여 구축될 수 있다.

[267] 제1 출력부(410)는, 제1 저장부(110)에 저장된 기준 환경영향 평가값을 제1 연산부(310)에서 계산된 전과정 환경영향 평가값의 확률분포로 나누어 환경영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 환경영향 지수의 확률분포를 사용자 표시 수단 및 확률분포 출력부(500)로 출력할 수 있다.

[268] 제2 출력부(420)는, 제2 저장부(120)에 저장된 기준 비용 평가값을 제2 연산부(320)에서 계산된 전과정 비용 평가값의 확률분포로 나누어 비용 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 비용 지수의 확률분포를 사용자 표시 수단 및 확률분포 출력부(500)로 출력할 수 있다.

[269] 제3 출력부(430)는, 제3 연산부(330)에서 계산된 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 제3 저장부(130)에 저장된 기준 환경영향 평가값으로 나누어

사회영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 사회영향 지수의 확률분포를 사용자 표시 수단 및 확률분포 출력부(500)로 출력할 수 있다.

- [270] 확률분포 출력부(500)는, 몬테카를로 시뮬레이션에 의해, 제1 출력부(410)에서 제공받은 환경영향 지수의 확률분포(P-EI), 제2 출력부(420)에서 제공받은 비용 지수의 확률분포(P-CI) 및 제3 출력부(430)에서 제공받은 사회영향 지수의 확률분포(P-SI)를 하기 수학적 식 17에 대입하여 지속가능 건축물 지수의 확률분포(P-SBI)를 도출하고, 도출된 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 사용자 표시 수단 등으로 출력할 수 있다. 여기서, 환경영향 지수의 확률분포, 비용 지수의 확률분포, 사회영향 지수의 확률분포 및 지속가능 건축물 지수의 확률분포는 단일의 몬테카를로 시뮬레이션 분석에 의해 함께 도출되는 것이 바람직하나 이에 한정되지 않는다.

[271] [수학적 식 17]

$$[272] \quad P-SBI = \alpha P-EI + \beta P-CI + \gamma P-SI$$

- [273] 여기서 α, β, γ 는 각각 P-EI, P-CI, P-SI의 가중치를 나타낸다. 가중치 α, β, γ 는 건축물의 전과정 환경영향, 전과정 비용, 전과정 사회영향에 대한 균형을 유지하기 위해 각각 1/3으로 설정($\alpha=\beta=\gamma=1/3$)할 수 있으나, 평가대상 건축물의 특성과 건축주체의 성향에 따라 조정될 수 있다. 단, α, β, γ 의 총 합은 $1(\alpha+\beta+\gamma=1)$ 로 고정되어야 한다.

- [274] 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 구성하는 환경영향 지수의 확률분포, 비용 지수의 확률분포, 사회영향 지수의 확률분포를 하나의 확률분포로 표현하기 위해 환경적, 경제적, 사회적 측면에 대한 가중치를 보면, 가중치는 지속가능성 평가의 대상과 목적에 따라 환경적, 경제적, 사회적 측면별로 상이한 가중치를 적용할 수 있다. 한편, 가중치의 평균값은 환경적, 경제적, 사회적 측면에 따라 0.319, 0.339, 0.342로 설정될 수 있으나, 가중치는 평가대상 건축물의 특성과 건축주체의 성향에 따라 조정될 수 있으며 이에 한정되지 않는다.

- [275] 본 발명의 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치는, EAM, CAM, SAM과 전과정 지속가능성 평가(LCSA, Life Cycle Sustainability Assessment) 기법에 근간하여 건축사업 초기단계에서 활용 가능한 확률론적 방식의 건축물 전과정 지속가능성 평가모델(PSA Model, Probabilistic Sustainability Assessment Model)을 사용하여 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 도출할 수 있다.

- [276] 또한, 제1 저장부(110), 제2 저장부(120) 및 제3 저장부(130)에 저장된 기준 환경영향 평가값, 기준 비용 평가값 및 기준 사회영향 평가값을 설정하기 위한 기준 건축물로, 국내에서 건설된 38개의 공동주택 단지를 대상으로 전과정 환경영향 평가, 전과정 비용 평가, 전과정 사회영향 평가를 수행하여 상위 10%, 20%, 30%에 해당되는 건축물을 선정할 수 있다.

- [277] 제1 출력부(410), 제2 출력부(420) 및 제3 출력부(430)에 의해 도출되는 환경영향 지수의 확률분포, 비용 지수의 확률분포, 사회영향 지수의 확률분포는

상대적 효율성 방식을 도입하여 기준 건축물(Reference building)의 전과정 환경영향, 전과정 비용, 전과정 사회영향과 EAM, CAM, SAM에서 산출되는 평가 건축물의 전과정 환경영향, 전과정 비용, 전과정 사회영향 평가결과를 비교할 수 있도록 하기 수학적 18 내지 수학적 20에 의해 계산될 수 있다.

- [278] 이때, 제1 연산부(310) 및 제2 연산부(320)를 통해 산출되는 확률분포 내 환경영향 평가값과 전과정 비용 평가값은, 그 수치가 작을수록 좋은 성능을 나타낸다. 따라서, 환경영향 지수와 비용 지수에서 평가 건축물의 전과정 환경영향 평가값, 전과정 비용 평가값의 평가결과인 확률분포를 분모에 위치시켰고 기준 건축물의 기준 환경영향 평가값 및 기준 비용 평가값은 분자에 위치시켰다.
- [279] 한편, 제3 연산부(330)를 통해 산출되는 확률분포 내 전과정 사회영향 평가값은 건축물의 사회적 성능을 나타내며, 확률분포 내 전과정 사회영향 평가값의 크기와 건축물의 사회적 성능이 비례의 경향을 나타낸다. 따라서, 평가 건축물에 대한 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 분자에 위치시켰고 기준 사회영향 평가값은 분모에 위치시켰다. 도 5에 도시된 바와 같이 P-EI, P-CI, P-SI의 확률분포가 각각 1을 기준으로 이를 초과한 영역에 위치한 부분의 면적은 평가 건축물의 환경적, 경제적, 사회적 수준이 기준 건축물 보다 높을 확률을 의미하며, 1 미만에 위치한 부분의 면적은 그 수준이 낮을 확률을 나타낸다. 이러한 관점에서 P-SBI도 1을 초과한 영역에 위치한 부분의 면적은 평가 건축물에 대한 지속가능성의 수준이 표준 건축물 보다 높을 확률을 의미하며, 1 미만에 위치한 부분의 면적은 그 수준이 낮을 확률을 나타낸다. 단, 여기서도 전과정 환경영향과 전과정 비용에 대한 평가 건축물과 기준 건축물의 확률론적 평가결과는 모두 비율척도(Ratio scale) 기반으로 산출됨에 따라 P-EI, P-CI는 기준 건축물 대비 평가 건축물에 대한 성능의 비율(Ratio)을 의미하지만 P-SI는 등간척도(Interval scale)에 기반한 전과정 사회영향의 평가결과로써 평가 건축물과 기준 건축물의 성능에 대한 절대적 비율을 의미하지 않고 성능의 상대적인 높고 낮음을 나타낸다.

[280] [수학적 18]

[281]

$$P-EI = \frac{R_{EAM, R}}{PR_{EAM, E}}$$

[282] [수학적 19]

[283]

$$P-CI = \frac{R_{CAM, R}}{PR_{CAM, E}}$$

[284] [수학적 20]

[285]

$$P-SI = \frac{PR_{SAM,E}}{R_{SAM,R}}$$

[286] 여기서, P-EI, P-CI, P-SI는 각각 건축물의 확률론적 환경영향 지수, 확률론적 비용 지수, 확률론적 사회영향 지수를 나타내며, $R_{EAM,R}$, $R_{CAM,R}$, $R_{SAM,R}$ 는 각각 EAM, CAM, SAM을 이용한 기준 건축물의 평가결과, $PR_{EAM,E}$, $PR_{CAM,E}$, $PR_{SAM,E}$ 는 각각 주요 건축자재의 확률분포와 몬테카를로 시뮬레이션을 활용하여 EAM, CAM, SAM을 통해 산출한 평가 건축물에 대한 확률론적 방식의 평가결과를 의미한다.

[287] 제1 저장부(110), 제2 저장부(120) 및 제3 저장부(130)에 저장된 기준 환경영향 평가값, 기준 비용 평가값 및 기준 사회영향 평가값을 설정하기 위한 기준 건축물은, 지속가능성을 평가하는 목적에 따라 다양한 기준이 설정될 수 있다. 따라서 다양한 기준 건축물의 수준을 제안하기 위해 지난 2005년부터 2014년까지 국내에서 설계되어 건설된 38개의 공동주택 단지에 대한 전과정 환경영향, 전과정 비용, 전과정 사회영향을 평가한다. 또한, 마스다르시티(Masdar city)의 청정개발체제(CDM, Clean Development Mechanism) 사업의 방법론으로 UNFCCC에 등록된 AM0091(Energy efficiency technologies and fuel switching in new and existing buildings)의 베이스라인 산정 기준에 따라 상위 20%에 해당하는 평가결과와 추가적으로 상위 10%와 30%에 해당되는 평가결과도 기준 건축물로 설정할 수 있다. 하기 표 24는 기준 건축물로 평가한 공동주택 단지의 구성의 일례를 나타낸다.

[288] [표 24]

[289]

Structure		Year of building design		Number of units	
Wall structure	23	2005 ~ 2008	8	Under 500 units	13
Rigid frame structure	11	2009 ~ 2011	16	500 ~ 1,000 units	10
Flat plate structure	4	2012 ~ 2014	14	Over 1,000 units	15
Total	38	Total	38	Total	38

[290] 38개 공동주택 단지에 대한 전과정 환경영향, 전과정 비용, 전과정 사회영향을 평가를 위해 표본으로 설정한 공동주택 단지의 물량산출서(BOQ)를 각각의 건설사로부터 입수할 수 있으며, 이를 분석하여 주요 건축자재 10종의 물량을 도출할 수 있다. 이를 통해 건축물의 생산단계, 시공단계, 폐기단계에 대한 내재 환경영향, 직접공사비 및 유지보수비용, 전과정 사회영향을 평가할 수 있다. 한편, 공동주택을 구성하는 세대의 면적(46㎡, 59㎡, 84㎡)에 따라 에너지의 소비 특성을 통계적 방법으로 분석하여 단위면적당 1차 에너지소비량과 2차 에너지소비량으로 하기 표 25의 데이터를 적용하여 운영단계에 대한 환경영향, 운영 에너지 비용을 평가할 수 있다. 이때, 공동주택 단지를 구성하는 세대의 전용면적을 46㎡ 이하, 46㎡ 초과 및 59㎡ 미만, 84㎡ 이상으로 구분하여 각각

전용면적 46m², 59m², 84m²의 1차 에너지소비량 원단위를 적용할 수 있다.

[291] [표 25]

[292]

구분	전용면적	전력				도시가스			총합
		조명	가전	냉방	소계	난방	급탕	소계	
2차 에너지소비량 [kWh/m ² ·yr]	46m ²	10.90	52.42	15.64	78.96	82.00	51.69	133.69	212.65
	59m ²	9.64	42.57	18.33	70.54	121.77	60.45	182.22	252.77
	84m ²	10.14	36.43	14.53	61.10	111.70	56.61	168.31	229.41
1차 에너지소비량 [kWh/m ² ·yr]	46m ²	29.98	114.16	43.01	187.15	90.20	56.86	147.06	364.20
	59m ²	26.51	117.07	50.41	193.99	133.95	66.50	200.45	394.43
	84m ²	27.89	100.18	39.96	168.03	122.87	62.27	185.14	353.17

[293] 도 6은 표본 공동주택 단지에 대한 전과정 환경영향 평가결과를 나타낸다. 도 6에 따르면 표본 건축물의 전과정 환경영향(KOLID를 이용한 환경영향의 화폐가치화)은 단위 전용면적 당 최소 13.8만원/m²에서 최대 18.1만원/m²까지 산출된다. 이때, 표본 공동주택 단지 중 상위 10%, 20%, 30%에 해당되는 전과정 환경영향 평가결과는 각각 단위 전용면적 당 14.2만원/m², 14.7만원/m², 15.0만원/m²이 도출되고 이를 기준 건축물의 기준 환경영향 평가값(R_{EAM,R})으로 설정할 수 있다.

[294] 도 7은 표본 공동주택 단지에 대한 전과정 비용 평가결과를 나타낸다. 도 7에 따르면 표본 건축물의 전과정 비용은 단위 전용면적 당 최소 78.9만원/m²에서 최대 99.6만원/m²까지 산출된다. 이때, 표본 공동주택 단지 중 상위 10%, 20%, 30%에 해당되는 전과정 비용 평가결과인 단위 전용면적 당 81.9만원/m², 83.8만원/m², 84.7만원/m²을 기준 건축물의 기준 비용 평가값(R_{CAM,R})으로 설정하였다.

[295] 도 8은 표본 공동주택 단지에 대한 전과정 사회영향 평가결과를 나타낸다. 도 8에 따르면 표본 건축물의 전과정 사회영향은 최소 0.39점/m²에서 최대 0.77점/m²까지 산출된다. 이때, 표본 공동주택 단지 중 상위 10%, 20%, 30%에 해당되는 전과정 사회영향 평가결과는 단위 전용면적 당 0.66점/m², 0.62점/m², 0.60점/m²으로 도출되고 이를 기준 건축물의 기준 사회영향 평가값(R_{SAM,R})으로 설정한다.

[296] 도 4는 본 발명의 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 체계를 나타낸 것으로 이를 통하여 본 발명의 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치의 전반적인 동작에 대하여 설명하면 다음과 같다.

[297] 입력단계는 기준 건축물에 대한 환경적, 경제적, 사회적 측면의 수준을 설정하고 평가 건축물의 전과정 지속가능성 평가를 위해 요구되는 정보를 입력하는 단계이다. 이때, 건축 설계도서를 바탕으로 평가 건축물의 연면적, 바닥면적, 전용면적 등을 포함한 건축개요와 에너지 시뮬레이션 도구를 통해

평가된 연간 운영 에너지소비량을 에너지원별로 구분하여 입력한다.

- [298] 연산단계에서는 상기 입력단계에서 확보한 건축물의 정보를 통해 주요 건축자재 10종(레미콘, 철근, 유리, 콘크리트벽돌, 단열재, 석고보드, 창호, 석재, 타일, 페인트)에 대한 확률분포를 도출한다.
- [299] 이때, 주거동의 레미콘과 철근은 벽식구조, 라멘구조, 무량판구조의 구조형식과 판상형, 탑상형, 복합형의 건축물 형태에 따라 전용면적당 건축자재 투입량의 확률분포가 도출된다. 유리, 콘크리트벽돌, 단열재, 석고보드, 창호, 석재, 타일, 페인트도 전술한 레미콘 및 철근과 동일한 방식으로 연산된다. 또한, 부속동의 레미콘과 철근 투입량은 부속동의 바닥면적에 따라 그 확률분포를 도출할 수 있으며, 지하주차장의 레미콘과 철근은 공동주택 단지에 대한 총 세대수에 따라 전용면적당 건축자재 투입량의 확률분포가 결정된다.
- [300] 이와 같이 도출된 세부 건축자재의 투입량에 대한 확률분포는 건축물의 생산단계를 평가하기 위한 물량 정보로 활용되며, 도 9에 도시된 바와 같은 구축된 전과정 시나리오를 통해 시공단계, 폐기단계 등을 평가하기 위한 에너지소비량과 건축자재의 물량을 확률분포 형태로 도출하게 된다. 이렇게 도출된 건축자재의 물량과 에너지소비량 정보에 기초하여 건축물의 전과정 환경영향, 전과정 비용, 전과정 사회영향을 순차적으로 평가하며, 최종적으로 몬테카를로 시뮬레이션을 도구로 이용한 평가를 수행하게 된다.
- [301] 생산단계는 주요 건축자재 6종의 물량의 확률분포와 건축자재의 환경영향 원단위를 통해 건축자재 생산에 따른 환경영향을 평가한다(수학식 3 참조).
- [302] 시공단계는 본 연구에서 구축된 전과정 시나리오를 통해 주요 건축자재 6종을 운송하기 위한 운송차량과 건축물의 시공을 위한 에너지소비량의 확률분포를 산출하고 에너지원의 환경영향 원단위를 이용하여 환경영향을 평가한다. 이때, 운송과정의 에너지소비량은 주요 건축자재 6종의 투입량과 운송차량별 연비 정보에 기초하며, 시공과정의 에너지소비량은 평가 건축물의 연면적을 기준으로 산출되거나 전용면적을 기준으로 산출될 수도 있으며 이에 한정되지 않는다.
- [303] 운영단계는 건축물의 운영 에너지소비량과 유지보수과정에서 투입되는 주요 건축자재의 환경영향을 평가한다. 이때, 운영 에너지소비량의 확률분포는 입력단계에서 입력된 연간 운영 에너지소비량과 건축물의 수명인 40년, 그리고 에너지원의 환경영향 원단위를 통해 환경영향을 평가한다. 유지보수과정의 환경영향은 주요 건축자재의 수선주기와 수선율을 통해 새롭게 투입되는 건축자재의 물량의 확률분포를 산출하고 건축자재의 환경영향 원단위를 이용하여 평가한다.
- [304] 폐기단계는 전과정 시나리오를 통해 건축물의 해체과정, 폐건축자재의 운송과정, 폐건축자재의 매립과정에서 사용된 장비의 에너지소비량 대한 확률분포를 산출하고 에너지원의 환경영향 원단위를 통해 환경영향을 평가한다. 이때, 해체과정의 에너지소비량의 확률분포는 주요 건축자재 6종의

투입량에 대한 총 중량(폐건축자재의 양은 생산단계에서 투입된 건축자재의 수량과 동일하다고 설정함.)과 해체장비인 Backhoe (1.0m³) + Giant Breaker (0.7m³)의 연비를 이용하여 산출한다. 운송과정의 에너지소비량의 확률분포는 폐건축자재의 총 중량과 15ton 트럭의 연비를 통해 산출한다. 매립과정의 에너지소비량은 주요 건축자재별 재활용율과 매립장비인 Dozer (D8N, 15 PL, 6 PL) + Compactor (32ton)의 연비를 통해 산출한다.

- [305] 입력단계에서 입력된 주요 건축자재 10종에 대한 투입량의 확률분포와 연간 운영 에너지소비량의 확률분포를 이용하여 전과정 비용을 평가한다.
- [306] 생산단계와 시공단계는 주요 건축자재 10종의 물량의 확률분포와 건축자재별 직접공사비의 단가를 통해 직접공사비를 평가한다.
- [307] 운영단계는 건축물의 운영 에너지소비량의 확률분포에 기초한 운영 에너지 비용과 건축물의 유지보수과정에서 투입되는 주요 건축자재에 기초한 유지보수비용을 평가한다. 이때, 운영 에너지 비용은 앞서 입력된 연간 운영 에너지소비량의 확률분포와 건축물의 수명인 40년, 그리고 에너지원의 단가정보와 실질할인율을 이용하여 평가한다. 유지보수비용은 주요 건축자재의 수선주기와 수선율을 통해 투입되는 건축자재의 물량의 확률분포를 산출하고 건축자재의 직접공사비 단가 정보를 통해 평가한다.
- [308] 건축물의 전과정 사회영향은 수학적 15를 이용하여 입력단계에서 입력된 레미콘의 물량의 확률분포와 본 연구에서 구축된 레미콘의 사회영향 원단위를 통해 평가한다.
- [309] 출력단계에서는 수학적 17 내지 수학적 20을 이용하여 연산단계에서 산출된 평가 건축물의 확률론적 전과정 환경영향, 확률론적 전과정 비용, 확률론적 전과정 사회영향 평가결과와 입력단계에서 사전에 설정한 기준 건축물의 수준에 근거하여 평가 건축물의 P-EI, P-CI, P-SI를 산출하며, 이를 종합한 P-SBI를 출력한다.
- [310]
- [311] 도 2는 본 발명의 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법을 나타낸 동작흐름도로서, 본 발명의 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법에 대하여 도 1 내지 도 2를 참조하여 설명하면 다음과 같다.
- [312] 먼저, 기준 건축물에 대한 기준 환경영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제1 환경영향계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제2 환경영향계수 집합을 제1 저장부(110)에 저장한다(S100).
- [313] 다음에, 입력부(210)를 통하여 건축물의 면적정보, 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량을 입력받는다(S200).
- [314] 여기서, 확률분포 계산부(220)는, 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량에 대하여 건축물의 면적 정보에 따른 건축자재 및 에너지원의 확률분포 형태에 관해 미리 저장된 설정값에 따라 복수개의 건축자재 투입량의

확률분포 및 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포를 도출한다(S300)

- [315] 이후에, 제1 연산부(310)는, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여, 확률분포 계산부(220)를 통하여 입력된 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 제1 저장부(110)에 저장된 제1 환경영향계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 제2 환경영향계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하며, 제1 환경영향 평가값의 확률분포 및 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 환경영향 평가값의 확률분포를 계산한다(S400)
- [316] 확률분포 출력부(500)는, 제1 저장부(110)에 저장된 기준 환경영향 평가값을 앞서 계산된 전과정 환경영향 평가값의 확률분포로 나누어 환경영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 환경영향 지수의 확률분포를 출력한다(S500).
- [317] 또한, 기준 건축물에 대한 기준 비용 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제1 비용계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제2 비용계수 집합을 제2 저장부(120)에 저장할 수 있다(S600).
- [318] 이후에, 제2 연산부(320)는, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여, 확률분포 계산부(220)를 통하여 입력된 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 제2 저장부(120)에 저장된 제1 비용계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 비용 평가값의 확률분포를 계산하고, 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 제2 비용계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 비용 평가값의 확률분포를 계산하며, 제1 비용 평가값의 확률분포 및 제2 비용 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 비용 평가값의 확률분포를 계산할 수 있다(S700).
- [319] 제2 출력부(420)는, 제2 저장부(120)에 저장된 기준 비용 평가값을 앞서 계산된 전과정 비용 평가값의 확률분포로 나누어 비용 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 비용 지수의 확률분포를 출력할 수 있다(S800).
- [320] 한편, 기준 건축물에 대한 기준 사회영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 사회영향 정도를 수치화한 사회영향계수 집합을 제3 저장부(130)에 저장할 수 있다(S900).
- [321] 다음에, 제3 연산부(330)는, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여, 확률분포 계산부(220)를 통하여 입력된 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 제3 저장부(130)에 저장된 사회영향계수 집합을 이용하여 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 계산할 수 있다(S1000).
- [322] 제3 출력부(430)는, 앞서 계산된 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 제3 저장부(130)에 저장된 기준 사회영향 평가값으로 나누어 사회영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 사회영향 지수의 확률분포를 출력할 수 있다(S1100).

- [323] 확률분포 출력부(500)는, 몬테카를로 시뮬레이션을 이용하여, 제1 출력부(410)에서 제공받은 환경영향 지수의 확률분포(P-EI), 제2 출력부(420)에서 제공받은 비용 지수의 확률분포(P-CI) 및 제3 출력부(430)에서 제공받은 사회영향 지수의 확률분포(P-SI)를 상술한 수학식 17에 대입하여 지속가능 건축물 지수의 확률분포(P-SBI)를 도출하고, 도출된 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 사용자 표시 수단 등으로 출력할 수 있다(S1200).
- [324]
- [325] 이러한 본 발명에 의한 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법은 프로그램으로 구현되어 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체(씨디롬, 램, 롬, 플로피 디스크, 하드 디스크, 광자기 디스크 등)에 저장될 수 있다.
- [326] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 도면에 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 얼마든지, 치환, 변경 및 변형이 가능하다는 것은 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 명백할 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 기준 건축물에 대한 기준 환경영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제1 환경영향계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제2 환경영향계수 집합을 저장하는 제1 저장부;
 건축물의 면적 정보, 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량을 입력받는 입력부;
 상기 건축물의 면적 정보에 따른 건축자재 및 에너지원의 확률분포 형태의 설정값을 저장하고, 상기 복수개의 건축자재 투입량 및 상기 복수개의 에너지원 소비량에 대하여 상기 설정값에 따라 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포를 도출하는 확률분포 계산부;
 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 환경영향계수 집합을 이용하여 의해 건축자재에 의한 제1 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 환경영향계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 환경영향 평가값의 확률분포 및 상기 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하는 제1 연산부; 및
 상기 제1 저장부에 저장된 기준 환경영향 평가값을 상기 제1 연산부에서 계산된 상기 전과정 환경영향 평가값의 확률분포로 나누어 환경영향 지수의 확률분포의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 환경영향 지수의 확률분포를 출력하는 제1 출력부를 포함하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치.
- [청구항 2] 청구항 1에 있어서,
 기준 건축물에 대한 기준 비용 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제1 비용계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제2 비용계수 집합을 저장하는 제2 저장부;
 몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 비용계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 비용 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 비용계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 비용 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 비용 평가값의 확률분포 및 상기 제2 비용 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 비용 평가값의 확률분포를 계산하는 제2 연산부; 및
 상기 제2 저장부에 저장된 기준 비용 평가값을 상기 제2 연산부에서

계산된 상기 전과정 비용 평가값의 확률분포로 나누어 비용 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 비용 지수의 확률분포를 출력하는 제2 출력부를 더 포함하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치.

[청구항 3]

청구항 2에 있어서,

기준 건축물에 대한 기준 사회영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 사회영향 정도를 수치화한 사회영향계수 집합을 저장하는 제3 저장부;

몬테카를로 시뮬레이션에 의하여, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 사회영향계수 집합을 이용하여 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 계산하는 제3 연산부; 및

상기 제3 연산부에서 계산된 상기 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 상기 제3 저장부에 저장된 기준 사회영향 평가값으로 나누어 사회영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 사회영향 지수의 확률분포를 출력하는 제3 출력부를 더 포함하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치.

[청구항 4]

청구항 3에 있어서,

몬테카를로 시뮬레이션 및

$$P-SBI = \alpha P-EI + \beta P-CI + \gamma P-SI$$

- 여기서, P-SBI는 지속가능 건축물 지수의 확률분포, P-EI는 환경영향 지수의 확률분포, P-CI는 비용 지수의 확률분포, P-SI는 사회영향 지수의 확률분포, α, β, γ 는, $1 = \alpha + \beta + \gamma$ 인 가중치 설정 계수임 -

에 의해 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 출력하는 확률분포 출력부를 더 포함하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 장치.

[청구항 5]

기준 건축물에 대한 기준 환경영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제1 환경영향계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 환경영향 정도를 수치화한 제2 환경영향계수 집합을 저장하는 제1 단계;

건축물의 면적 정보, 복수개의 건축자재 투입량 및 복수개의 에너지원 소비량을 입력받는 제2 단계;

상기 복수개의 건축자재 투입량 및 상기 복수개의 에너지원 소비량에 대하여 상기 건축물의 면적 정보에 따른 건축자재 및 에너지원의 확률분포 형태에 관해 미리 저장된 설정값에 따라 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포를 도출하는 제3 단계;

몬테카를로 시뮬레이션에 의해, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 환경영향계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 환경영향계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 환경영향 평가값의 확률분포 및 상기 제2 환경영향 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 환경영향 평가값의 확률분포를 계산하는 제4 단계; 및 상기 기준 환경영향 평가값을 상기 제4 단계에서 계산된 상기 전과정 환경영향 평가값의 확률분포로 나누어 환경영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 환경영향 지수의 확률분포를 출력하는 제5 단계를 포함하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법.

[청구항 6]

청구항 5에 있어서,

기준 건축물에 대한 기준 비용 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제1 비용계수 집합 및 복수개의 에너지원의 소비 단위 당 비용 소요 정도를 수치화한 제2 비용계수 집합을 저장하는 제6 단계;

몬테카를로 시뮬레이션에 의해, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 제1 비용계수 집합을 이용하여 건축자재에 의한 제1 비용 평가값의 확률분포를 계산하고, 상기 복수개의 에너지원 소비량의 확률분포 및 상기 제2 비용계수 집합을 이용하여 에너지원에 의한 제2 비용 평가값의 확률분포를 계산하며, 상기 제1 비용 평가값의 확률분포 및 상기 제2 비용 평가값의 확률분포를 합산하여 전과정 비용 평가값의 확률분포를 계산하는 제7 단계; 및

상기 기준 비용 평가값을 상기 제7 단계에서 계산된 상기 전과정 비용 평가값의 확률분포로 나누어 비용 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 비용 지수의 확률분포를 출력하는 제8 단계를 더 포함하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법.

[청구항 7]

청구항 6에 있어서,

기준 건축물에 대한 기준 사회영향 평가값, 복수개의 건축자재의 투입 단위 당 사회영향 정도를 수치화한 사회영향계수 집합을 저장하는 제9 단계;

몬테카를로 시뮬레이션에 의해, 상기 복수개의 건축자재 투입량의 확률분포 및 상기 사회영향계수 집합을 이용하여 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 계산하는 제10 단계; 및

상기 제10 단계에서 계산된 상기 전과정 사회영향 평가값의 확률분포를 상기 기준 사회영향 평가값으로 나누어 사회영향 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기 사회영향 지수의 확률분포를 출력하는 제11

단계를 더 포함하는 확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정
지속가능성 평가 방법.

[청구항 8]

청구항 7에 있어서,
몬테카를로 시뮬레이션 및

$$P-SBI = \alpha P-EI + \beta P-CI + \gamma P-SI$$

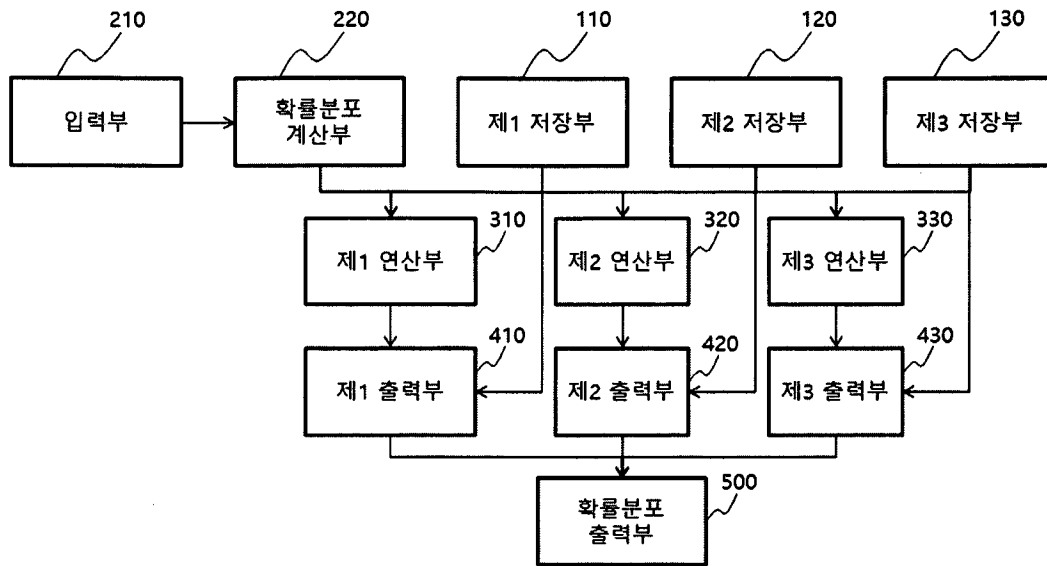
- 여기서, P-SBI는 지속가능 건축물 지수의 확률분포, P-EI는 환경영향
지수의 확률분포, P-CI는 비용 지수의 확률분포, P-SI는 사회영향 지수의
확률분포, α, β, γ 는, $1 = \alpha + \beta + \gamma$ 인 가중치 설정 계수임 -

에 의해 지속가능 건축물 지수의 확률분포를 도출하고, 도출된 상기
지속가능 건축물 지수의 확률분포를 출력하는 제12 단계를 더 포함하는
확률론적 분석 방법을 이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법.

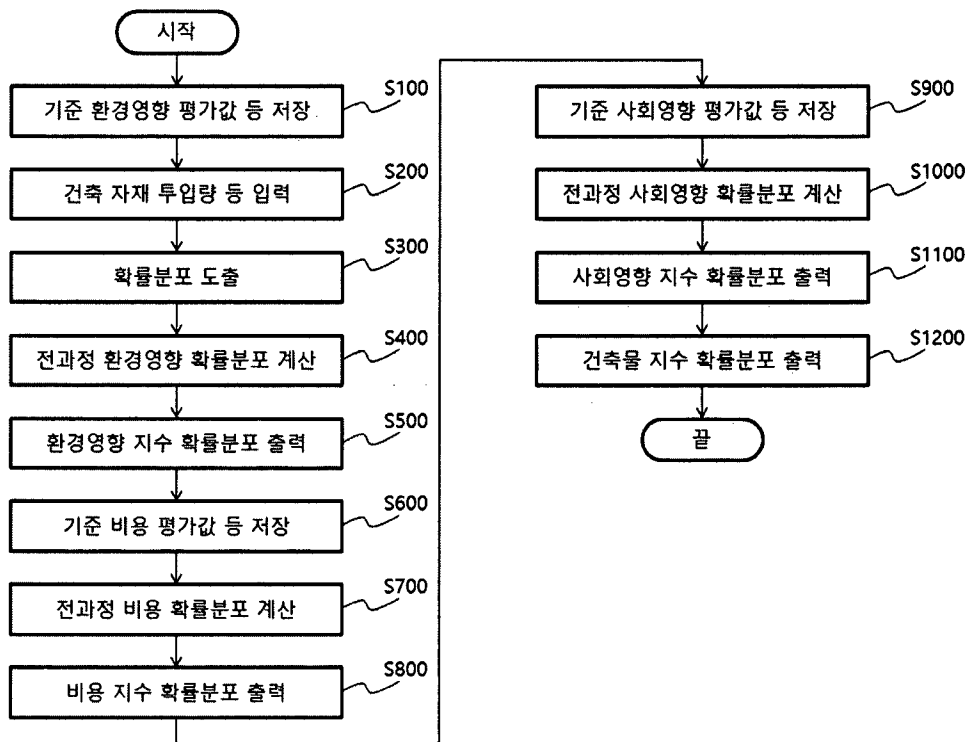
[청구항 9]

청구항 5 내지 청구항 8 중 어느 한 항에 기재된 확률론적 분석 방법을
이용한 건축물 전과정 지속가능성 평가 방법을 실행하는 프로그램을
기록한 컴퓨터 판독 가능한 기록매체.

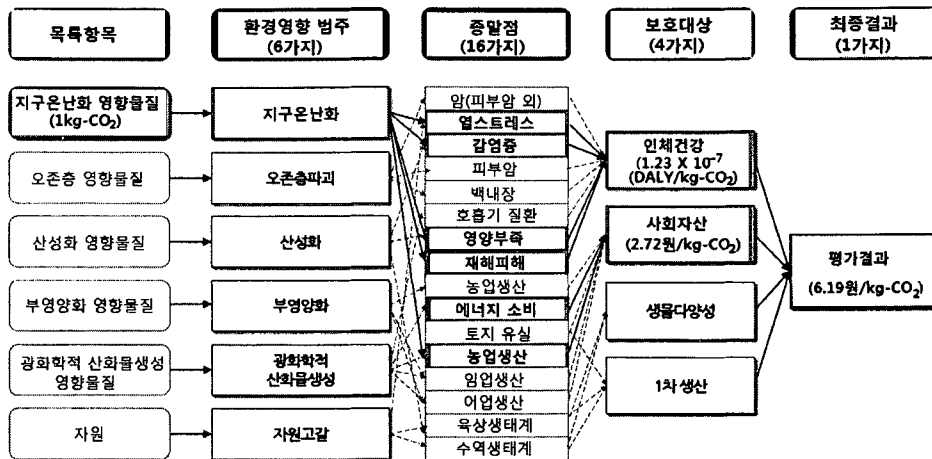
[도1]



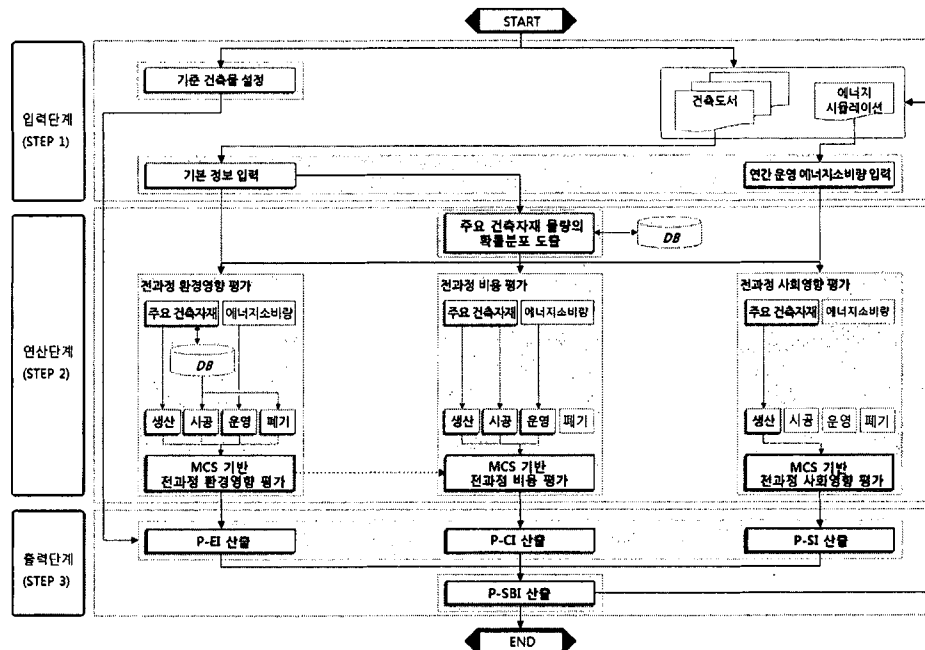
[도2]



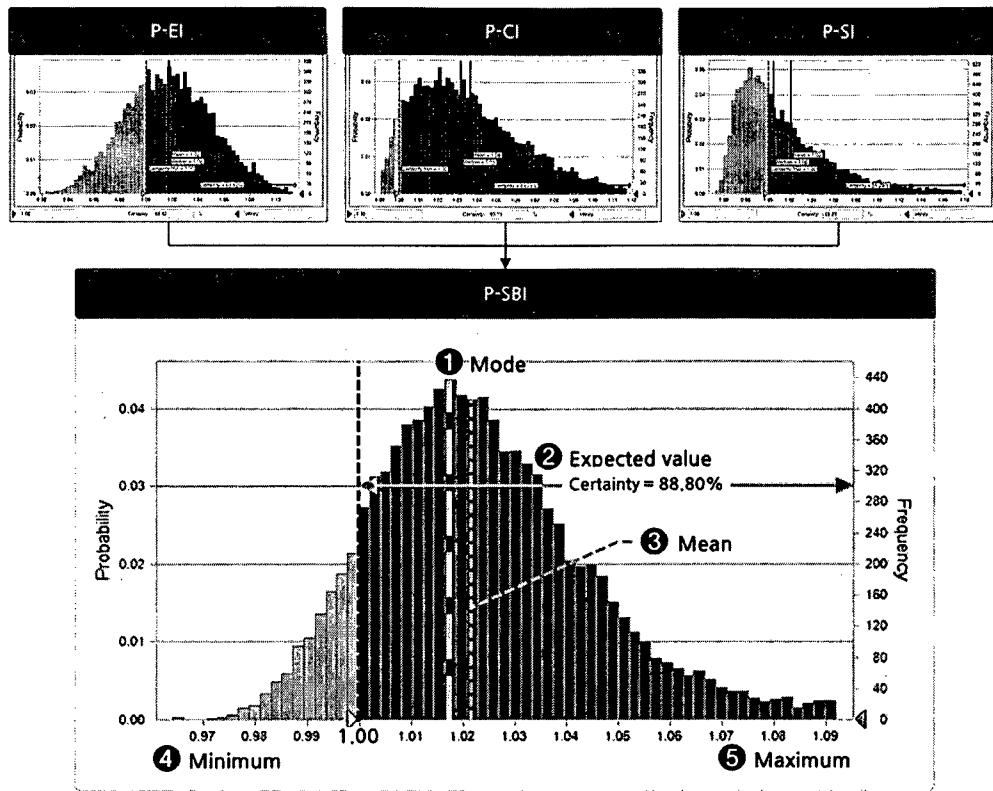
[도3]



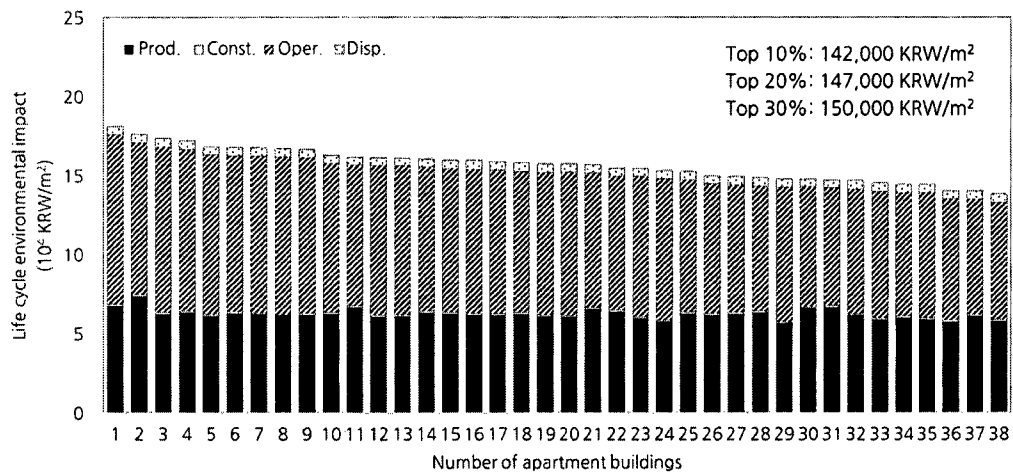
[도4]



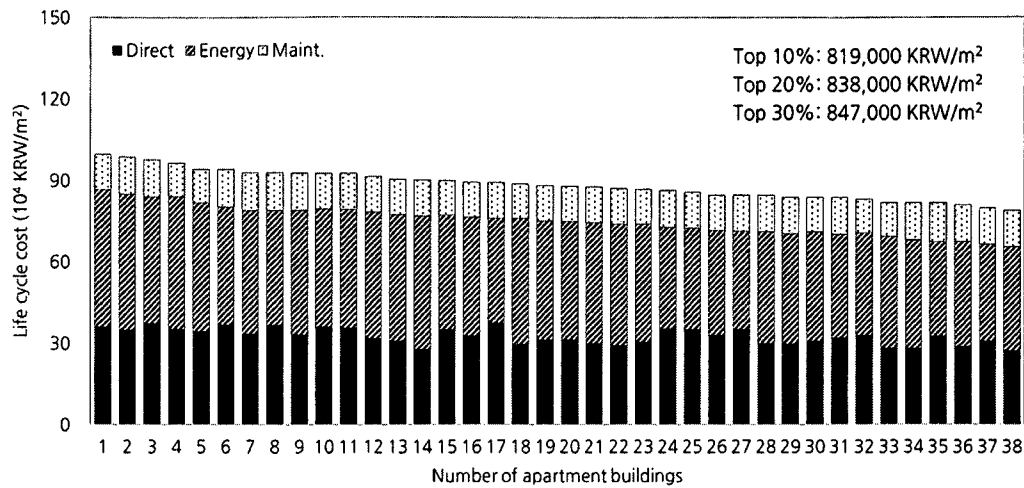
[도5]



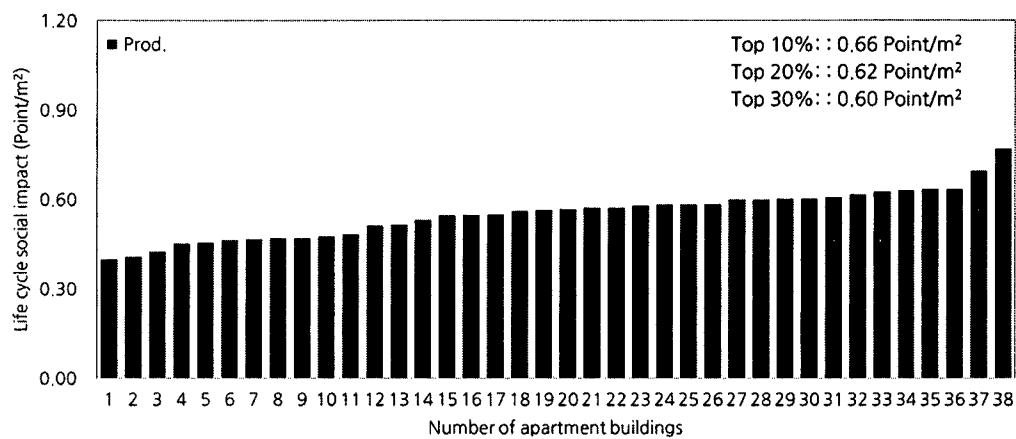
[도6]



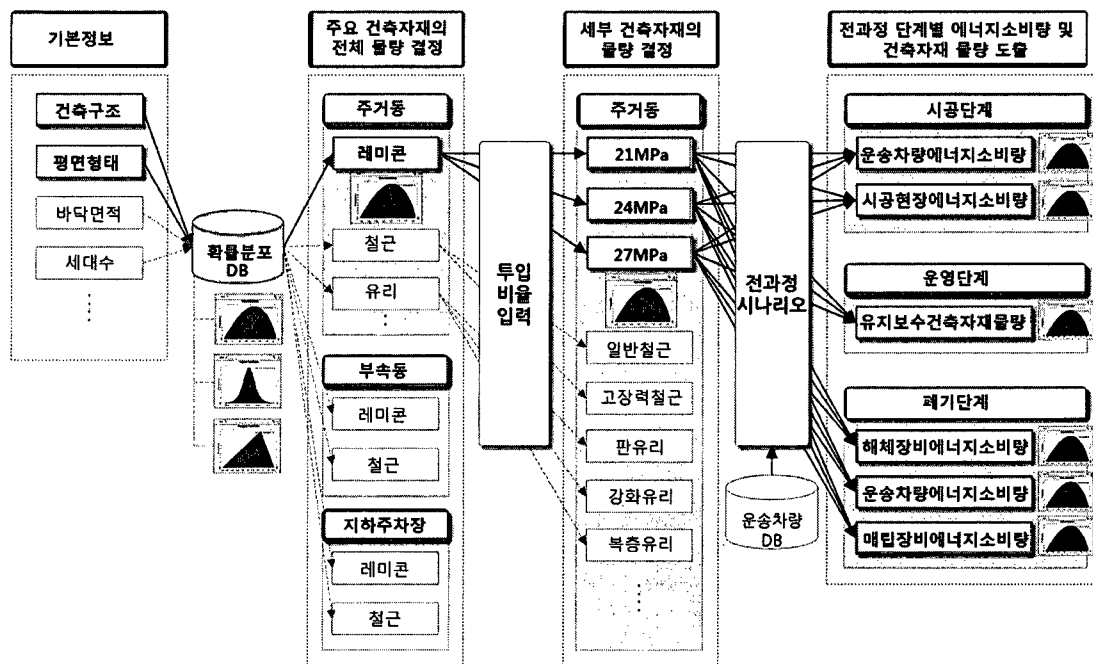
[도7]



[도8]



[도9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2017/000344

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06Q 50/08(2012.01)i, G06Q 10/06(2012.01)i, G06F 17/50(2006.01)i, G06F 17/18(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06Q 50/08; G06N 3/12; G06F 19/00; G06F 17/50; G06Q 50/06; G06Q 10/06; G06F 17/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: life-cycle assessment, building, environment impact, Monte Carlo simulation

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-1472461 B1 (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY ERICA CAMPUS) 15 December 2014 See paragraphs [0037], [0052], [0056] and claim 1.	1-9
A	KR 10-1414282 B1 (RESEARCH & BUSINESS FOUNDATION SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY) 01 July 2014 See claim 1 and figure 2.	1-9
A	KR 10-1390237 B1 (INDUSTRY-UNIVERSITY COOPERATION FOUNDATION HANYANG UNIVERSITY ERICA CAMPUS) 30 April 2014 See claims 1-2 and figures 4-5.	1-9
A	KR 10-1642225 B1 (RESEARCH & BUSINESS FOUNDATION SUNGKYUNKWAN UNIVERSITY) 01 August 2016 See claims 1, 6, 8 and figure 7.	1-9
A	HONG, Tae-Hun et al., "Environmental Impact Assessment of Buildings Based on Life Cycle Assessment (LCA) Methodology", 30 September 2012, Korean Journal of Construction Engineering and Management, vol. 13, no. 5, pages 84-93. See pages 86-89.	1-9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 SEPTEMBER 2017 (29.09.2017)

Date of mailing of the international search report

29 SEPTEMBER 2017 (29.09.2017)

Name and mailing address of the ISA/KR



Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Sconsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2017/000344

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-1472461 B1	15/12/2014	KR 10-2014-0093484 A	28/07/2014
KR 10-1414282 B1	01/07/2014	KR 10-2014-0043640 A	10/04/2014
KR 10-1390237 B1	30/04/2014	WO 2015-012499 A1	29/01/2015
KR 10-1642225 B1	01/08/2016	NONE	

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G06Q 50/08(2012.01)i, G06Q 10/06(2012.01)i, G06F 17/50(2006.01)i, G06F 17/18(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

G06Q 50/08; G06N 3/12; G06F 19/00; G06F 17/50; G06Q 50/06; G06Q 10/06; G06F 17/18

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 전과정 평가, 건축물, 환경영향, 몬테카를로 시뮬레이션

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-1472461 B1 (한양대학교 에리카산학협력단) 2014.12.15 단락 [0037], [0052], [0056] 및 청구항 1 참조.	1-9
A	KR 10-1414282 B1 (성균관대학교산학협력단) 2014.07.01 청구항 1 및 도면 2 참조.	1-9
A	KR 10-1390237 B1 (한양대학교 에리카산학협력단) 2014.04.30 청구항 1-2 및 도면 4-5 참조.	1-9
A	KR 10-1642225 B1 (성균관대학교산학협력단) 2016.08.01 청구항 1, 6, 8 및 도면 7 참조.	1-9
A	홍태훈 등, '전과정평가(LCA) 방법을 이용한 건축물에 대한 환경영향 평가 방법', 2012.09.30, 한국건설관리학회 논문집, 제13권, 제5호, 페이지 84-93. 페이지 86-89 참조.	1-9

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

“A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

“T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

“E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

“X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

“L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

“Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

“O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

“&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

“P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

국제조사의 실제 완료일

2017년 09월 29일 (29.09.2017)

국제조사보고서 발송일

2017년 09월 29일 (29.09.2017)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소



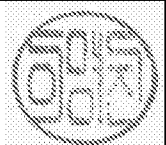
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)

팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관

이명진

전화번호 +82-42-481-8474



국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1472461 B1	2014/12/15	KR 10-2014-0093484 A	2014/07/28
KR 10-1414282 B1	2014/07/01	KR 10-2014-0043640 A	2014/04/10
KR 10-1390237 B1	2014/04/30	WO 2015-012499 A1	2015/01/29
KR 10-1642225 B1	2016/08/01	없음	