



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

주택모델의 벽체단열형식별

온실가스 전과정평가



2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

건 축 공 학 과

오 근 숙

공 학 석 사 학 위 논 문

주택모델의 벽체단열형식별
온실가스 전과정평가

지도교수 임 영 빈

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

건 축 공 학 과

오 근 숙

오근숙의 공학석사 학위논문을 인준함

2007년 12월 22일



주 심 공학박사 이 수 용 (인)

위 원 공학박사 박 천 석 (인)

위 원 공학박사 임 영 빈 (인)

목 차

1. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	3
2. 이론적 고찰	5
2.1 전과정평가	5
2.1.1 정의	5
2.1.2 전과정평가 방법론	7
2.1.3 건축분야에서의 적용현황	9
2.2 온실가스 추산 이론	14
2.2.1 온실가스	14
2.2.2 IPCC 온실가스 추계방법	16
2.3 내재에너지(Embodied Energy)	18
2.4 에너지 해석	22
2.4.1 에너지 해석의 종류	22
2.4.2 에너지플러스(EnergyPlus)	24
2.4.3 단위 환산 고찰	27

3. 에너지 해석	28
3.1 모델 건물의 설정	28
3.2 에너지 해석의 조건	31
3.3 예비 해석 및 검증	35
4. 온실가스 전과정평가	36
4.1 내재에너지	36
4.1.1 산정기준 및 결과	36
4.1.2 내재에너지에 의한 온실가스	38
4.2 운영단계	40
4.2.1 운영에너지 산출	40
4.2.2 운영에너지에 의한 온실가스	44
4.3 전과정평가	46
5. 결 론	49
참 고 문 헌	51
<i>Abstract</i>	53
감사의 글	54

표 목 차

표 2.1 지구온난화지수	14
표 2.2 에너지원별 탄소배출계수	17
표 2.3 단열재의 종류별 내재에너지	19
표 2.4 에너지 해석 방식의 종류	22
표 2.5 단위 환산표	27
표 3.1 모델 건물의 개요	30
표 3.2 에너지 해석의 입력 조건	32
표 3.3 비교 대상 벽체의 단열형식 및 열관류율	34
표 3.4 예비 에너지 해석 출력 검토	35
표 4.1 단열재의 두께별 내재에너지 산정결과	37
표 4.2 단열재의 두께별 내재에너지에 의한 온실가스 배출량	39
표 4.3 기간 난방용 도시가스 소모량	41
표 4.4 도시가스 소모량과 열관류율	42
표 4.5 기간 난방소요 도시가스에 따른 온실가스배출량	45
표 4.6 벽체의 단열형식별 전과정 온실가스 배출량	47

그 림 목 차

그림 1.1 연구의 흐름도	4
그림 2.1 전과정평가 과정	6
그림 2.2 1인당 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 비교	15
그림 2.3 내재에너지(Embodied Energy)의 구성도	18
그림 2.4 EnergyPlus 구성도	25
그림 3.1 모델 건물의 1층 평면도	29
그림 3.2 모델 건물의 입면도	29
그림 4.1 단열재의 두께별 내재에너지 산정결과	37
그림 4.2 단열재의 두께별 내재에너지에 의한 온실가스 배출량	39
그림 4.3 난방용 도시가스 소모량과 열관류율	43
그림 4.4 벽체의 단열형식별 전과정평가	48

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

기후변화협약 체결 등 지구 온난화 저감에 대한 전 지구적 노력이 심화되고 있는 가운데, 건축분야에서도 지속가능건축(Sustainable Architecture) 운동을 통하여 빌딩의 환경성능¹⁾을 향상시키려는 노력이 가속화 되고 있다.

선진 38개국은 1997년 12월 국가별 온실가스 배출량을 규정한 ‘교토의정서’를 채택하여 지구온난화 저감운동에 앞장서고 있다. 우리나라는 1990년 대비 평균 5.2%의 온실가스를 감축하도록 규정된 의무대상국에 포함되어 있지는 않지만 OECD 가입국을 의무대상국에 포함시키고자 하는 국제적 압력이 높아지고 있는 실정이다. 이러한 시대적 흐름에 따라 건물부문의 에너지절약 및 온실가스저감 노력은 매우 중요하다고 할 수 있다.

건물은 라이프사이클에 걸쳐 많은 에너지를 소모하게 되는데 OECD의 보고서²⁾에 따르면, 세계 GDP의 10~15%가 빌딩의 건설과정(시공 및 폐기를 포함한)에 소비되고, 이 과정에서 평균적으로 세계 총 수자원 소비량의 1/6, 전체 폐기물량의 20~30%가 발생되고 있다. 또한 건물의 운영단계와 자재생산 과정에서 투입된 에너지를 포함할 경우, 빌딩은 총 에너지소비 및 온실가스 방출의 30~40% 정도를 차지하고 있는 것으로 나타난다.

건물의 운영단계 에너지 손실의 원인인 열손실 및 열취득은 주로 거실 또

1) 김병선, 국내외 친환경 인증제도의 발전과정 및 사례 비교 분석, 대한건축학회 친환경건축인증 워크샵, 2005.2, “건물의 환경성능(Environment Performance)이란 건물의 설계와 시공, 운영 및 유지관리 그리고 폐기에 이르기까지 라이프사이클 기간을 통해서 환경에 대한 피해에 대응하기 위해 에너지 및 자원 절약, 환경오염의 최소화, 자연환경의 보존, 지역특성화, 실내의 쾌적성 향상 등 환경적 목적 등에 대한 건물의 충족정도를 나타낸다.”

2) <http://www.oecd.org/env/efficiency/construction.htm>, 2001.7

는 거실 외 공간을 둘러싸고 있는 벽·지붕·바닥·창 및 문 등으로서 외기에 직접 면하는 건물외피에 의해 발생하게 되는데, 난방 시 벽체를 통한 열손실은 건물전체 에너지 손실량의 34%를 차지하므로³⁾ 운영에너지 측면에서 벽체를 통한 에너지의 손실 비중이 매우 크다고 할 수 있다. 특히, 단독주택의 경우 1세대를 기준으로 했을 때, 인접세대와 접하는 면적이 비교적 많은 공동주택과 달리, 네 면이 모두 외기에 접해 있으므로 주택유형간 표면적의 차이에 따라 벽체를 통한 에너지 손실이 공동주택보다 클 것으로 사료된다. 이에 따라 단독주택은 벽체의 단열형식을 변화시킴으로써 열성능을 향상시킬 수 있으며 운영에너지에 의한 온실가스의 배출저감에 많은 효과를 얻을 수 있을 것이다.

그런데 국내외 문헌을 살펴보면, 벽체단열재는 일반적인 건축자재들에 비해 높은 내재에너지(Embodied Energy)를 지니고 있음을 알 수 있다. 그러므로 단열자재의 제조단계 온실가스 배출량이 높을 수밖에 없으므로 환경성능의 운영에너지와 내재에너지를 고려한 전과정평가(LCA ;Life Cycle Assessment)가 필요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 주택건물 벽체 단열형식별 운영에너지 및 단열재 내재에너지에 의한 온실가스 전과정평가 비교분석을 수행하고, 이를 통하여 주택건물 외벽체 설계시 건축환경적(Passive Method) 환경부하⁴⁾ 저감방법의 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

3) 조동우 외 8명, 금강종합건설, 건축물의 단열설계 및 시공시스템 개발 연구, 1997.4.

4) 이강희, 건축 활동에 따른 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 추정, 대한건축학회논문집, 제 12권 제7호, 1996.7, “환경부하란 건물의 라이프사이클을 통해서 지구환경에 영향을 미치는 인자(온실가스, 오존층파괴가스, 산성비원인가스, 유해폐기물 등)들에 대한 지구환경부담정도를 정량화한 것이다. 또한 건축의 라이프사이클 각 단계에서 환경부하량을 산정함으로써, 건축 활동에 직·간접적으로 관계된 사람들에 대해 지구환경보전을 위해서 무엇을 할 수 있는지에 대한 구체적인 지침을 주는 환경영향평가를 가능하게 하는 지수이다.”

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 운영단계에서 소모된 에너지와 단열재의 제조단계에서 소모된 에너지에 의한 온실가스 배출량만을 전과정평가의 범위로 설정한다. 또한 실제 건물의 단열형식을 변화시키면서 전과정평가의 비교 연구를 수행하는 것은 현실적으로 어려운 것으로 판단되므로, 동적 에너지 해석을 이용하여 연구를 수행하고자 한다.

벽체단열형식에 따라 건물에서 발생하는 운영에너지에 의한 온실가스 배출량의 산정을 위하여 개별식 냉난방기가 적용되며, 도심에 위치하고 있는 가상의 2층 단독주택을 모델 건물로 설정하고자 한다. 벽체에 단열재를 적용하는 위치에 따라 내단열, 중단열, 외단열로 구분하고, 각 위치별로 단열재의 두께를 50mm 단위로 변화시켜 0mm부터 500mm까지의 비교 대상 30종에 대한 동적 에너지 해석을 수행하고자 한다. 에너지 해석은 일반적인 난방기간을 설정하여 실내온도를 고정한 후 24시간으로 해석하며, 국내 벽체단열재 생산량 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 polystyrene 단열재를 연구에 적용하고자 한다.

국내·외 문헌 조사를 통하여 단열재의 제조단계 단위 내재에너지를 제시하고 적용된 단열재의 두께 변화에 따른 내재에너지를 산정한 다음, 앞서 산정된 운영단계 온실가스 배출량과 합산하여 전과정평가를 수행한다.

연간 온실가스 배출량 산정을 위한 건물의 수명주기는 법정 내용연수⁵⁾인 50년을 적용하며, 에너지 소모에 의한 온실가스 배출량은 IPCC(정부간기후변화패널;Intergovernment Panel on Climate Change)의 ‘온실가스 추계방법’⁶⁾에 의한 직접 연소법에 의해 산정한다.

5) 법인세법 시행규칙 [별표 5] 건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위표(제15조제3항관련), 2006

6) 정부간기후변화패널(IPCC:Inter-government Panel on Climate Change)

다음의 그림 1.1은 본 연구의 흐름도를 나타낸다.

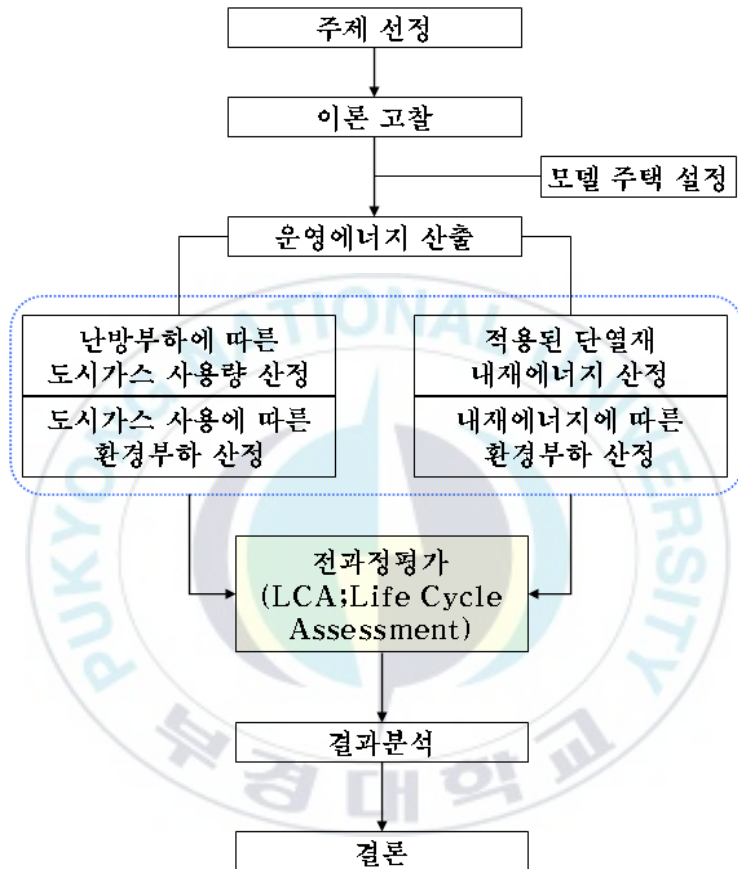


그림 1.1 연구의 흐름도

2. 이론적 고찰

2.1 전과정평가

2.1.1 정의

전과정평가(LCA:Life Cycle Assessment)는 1960년대 포장 재료의 에너지 소비량을 비교하기 위한 연구로 시작되어 원료의 획득에서부터 제조, 사용 및 처리에 이르기까지의 제품의 라이프사이클에 관련된 환경측면 및 잠재적 환경영향을 제품이나 시스템과 관련된 투입물과 산출물의 목록화 및 영향평가, 그 결과의 해석 등을 통하여 파악하는 일련의 과정으로 목적 및 범위의 설정 (Goal & Scope Definition), 목록분석 (Inventory Analysis), 영향평가 (Impact Assessment) 및 결과해석 (Interpretation)의 4단계로 구성된다.⁷⁾ 전과정평가의 진행 과정은 그림 2.1과 같다.

목적 및 범위설정은 연구의 전체적인 방향을 설정하는 단계로서 전과정평가가 시작되기 전에 평가의 실시이유, 보고대상자, 결과의 응용, 대상의 정의, 기능단위, 경계설정의 전제조건을 제시하게 된다. 이 단계에서의 설정에 따라 전체 연구결과에도 큰 차이를 가져올 수 있기 때문에 신중하게 수행해야 한다. 전과정평가의 범위는 가능한 많은 과정들을 검토범위로 하는 것이 가장 바람직하지만, 소요시간, 제품의 특성, 비용, 실제 데이터 수집 등을 고려하여 설정하여야 한다. 최근 들어 전과정평가와 관련하여 유선화 (streamlining)⁸⁾하는 방식에 관심이 모아지고 있는데, 이는 몇 가지의 미리 설정된 방식에 의하여 전과정목록과 전과정평가를 단순화 하는 것을 의미한

7) <http://www.uneptie.org/pc/pc/tools/lca.htm>

8) 황용우 외, 환경전과정평가(Environmental Life Cycle Assessment), 시그마프레스, 1998

다. 그러나 편의를 위해 무조건 단순화하는 것은 의미가 없으며, 생략된 단계에 대한 타당한 이유를 제시하는 것이 바람직하다. 목록분석은 전과정평가의 가장 핵심적인 단계로 대상에 대한 투입과 산출물의 정의, 환경부하에 대한 입·출력의 목록표를 작성하게 된다. 목록분석 결과를 이용하여 환경영향분석 및 평가를 실시하게 되는데, 환경적 측면을 중심으로 평가하게 된다.

예를 들어 자원·에너지 소비량, 지구온난화, 오존층 고갈, 산성비, 대기·수질 오염, 위해성 폐기물, 해양오염, 산림파괴, 사막화, 야생생물의 감소, 인체 건강, 토지의 이용 등에 관한 영향을 평가하게 된다. 마지막으로 목록분석, 영향평가의 결과를 해석하여 환경개선 계획시 이 결과를 기초로 하게 된다.

이러한 전과정평가는 최근 모든 산업분야에서 적용을 시도하고 있을 뿐 아니라 건축분야에서도 객관적인 환경성능평가를 수행하기 위해서 이를 적용하고 있는 실정이다.

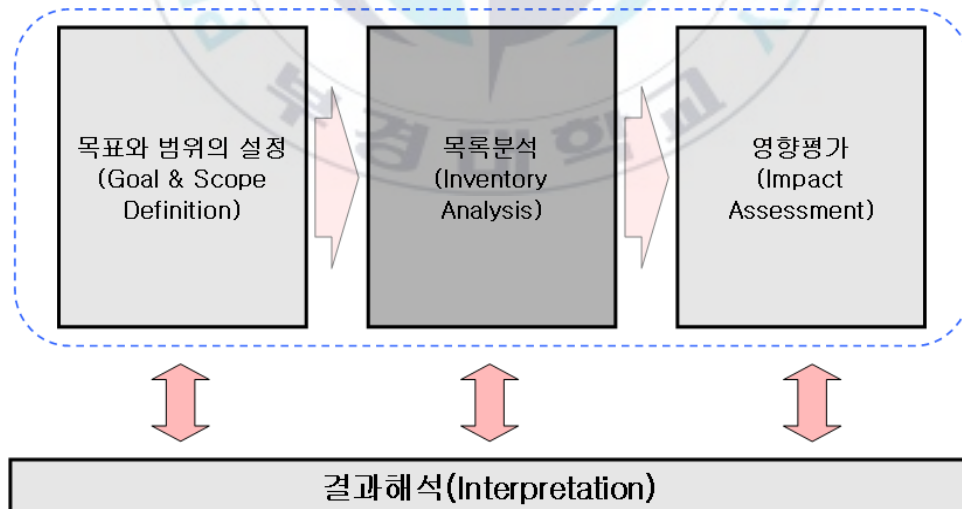


그림 2.1 전과정평가 과정

2.1.2 전과정평가 방법론

전과정평가의 방법론은 원료의 채굴, 생산, 운반, 저장, 소비 등의 모든 과정에서 데이터베이스를 구축하는 작업인 목록분석의 방법에 따라 크게 세 가지로 구분하게 된다. 이 작업은 방대한 인력과 시간이 소요되는 범국가적 작업으로써 유럽 및 북미의 각국에서는 이러한 목록분석 데이터베이스의 구축이 실용화되어 이용되고 있는데 반해, 현재 국내에서는 실제로 이용할 수 있는 데이터베이스가 빈약한 실정이다.

제품의 에너지(Input)와 이산화탄소(Output)를 추정하는 목록분석의 방법론으로는 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 생산 공정을 직접 추적 조사하는 방법인 개별적산법(Process Analysis)과 산업연관표(Input-Output Table)를 이용하여 간접적으로 분석하는 산업연관법(Input-Output Analysis), 이 두 가지를 절충하여 적용하는 혼합법(Hybrid method)으로 나눌 수 있다.

개별적산법은 한 제품이 생산시 투입되는 모든 물질의 종류, 양, 투입되는 물질에 따라 배출되는 환경부하와 부산물 등을 일련의 공정도를 추정하여 목록분석을 행하는 방법으로써 미국의 환경독성화학회(SETAC : Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서 주로 이용되는 방식이므로 SETAC방식 이라고 불리기도 한다. 데이터수집 및 처리를 위한 시간과 비용, 인력의 소모가 많고, 수집된 데이터에 주관적인 요소가 내포한다는 단점이 있지만 프로세스별 환경부하의 산정이 가능하고, 개선방법의 검토가 용이하며, 전과정평가 대상 제품생산의 기술적인 특성의 효과적 반영이 가능하다.

산업연관법은 산업 간의 거래 기록표인 산업연관표를 이용하여 목록분석의 데이터 값을 추정하여 각 산업 또는 제품에 대해 투입산출분석을 행함으로써 에너지소비량 및 환경오염 발생량을 구하는 방식으로, 다양한 산업과 관련

하여 발전해온 건축분야의 특성을 활용하여 건축물의 부하를 찾아내는 간접적인 목록분석 기법이다. 이 기법은 기존에 작성되어 있는 산업연관표를 이용하기 때문에 산업연관표상에 나타나 있지 않은 신기술이나 재활용 등의 항목은 분석할 수 없고, 그렇기 때문에 산업구조와 생산 활동의 단순화, 평균화가 우려되지만, 제품의 직·간접적인 목록(inventory)을 이론적으로 산출할 수 있으며, 추계결과가 객관적이고, 분석시간을 단축시킬 수 있으므로 개별적산법의 결점을 보완할 수 있다. 우리나라에서는 1958년에 처음으로 한국은행에서 산업연관표를 조사·작성하였으며 5년 간격으로 작성하고, 그 사이에는 연장표를 작성하여 발표하고 있다.

앞에서 제시한 두 방법을 적절히 혼용하여 분석하는 방식인 혼합법은 개별적산법에 기초한 조합방법과 산업연관법에 기초한 조합방법이 있는데 주로 개별적산법에 기초한 조합방법을 사용한다. 전통적인 전과정평가 기법과 같이 각각 제품의 물질데이터를 모은 후, 환경 자료는 산업연관표의 자료를 이용하여 평가하는 방법으로 많은 선행 연구가 진행 되었다.

국내에서 진행되고 있는 전과정평가를 위한 목록분석에 관한연구는 대부분 내재에너지소모 및 온실가스배출의 원단위 추산에 관한 연구⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾로서 산업연관분석에 의한 연구결과가 대부분으로 제시되고 있다. 이를 외국의 보고사례와 비교해본 결과 차이가 많은 것으로 조사되었는데, 이는 외국의 자료가 직접추산방식인 개별적산법을 이용한 방식이기 때문에 결과 값에 차이가 나기도 하지만, 그보다는 금전적 환산 등의 문제점에 따른 것으로 보인다.

9) 김종엽, 김성완, 손장열, 건축물 LCA를 위한 건설자재의 환경부하 원단위 산출 연구, 건축학회 논문집(계획계) 20권 7호, 2004.07

10) 조균형, 최두성, 건축산업의 에너지 및 환경부하 산출방법론에 관한 비교연구, 건축학회논문집(계획계) 19권 6호, 2003.06

11) 이강희, 채창우, 산업연관분석법을 이용한 공공건축물의 에너지 소비량과 이산화탄소 배출량 산출연구, 건축학회논문집(계획계) 18권 5호, 2002.05

12) 한국건설기술연구원, 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발연구, 2002

2.1.3 건축분야에서의 적용현황

일반 산업 분야에서 전과정평가의 응용분야로는 제품 및 공정의 환경적 영향을 파악하여 기존 제품 및 공정을 개선하는 것, 특정한 제품군과 관련한 환경기준을 정의하는 Ecolabel의 적용, 환경 요인을 고려한 제품의 친환경적 설계(DEF:Design for Environment) 등을 들 수 있지만, 일반적으로 기존의 제품에 적용되었던 전과정평가의 응용분야를 건축이라는 거대 제품에 적용하는 것은 타 제품에 비해 시간과 노력이 더 필요함에 따라 국가적 차원에서 철저한 준비가 필요하다. 이러한 이유로 북유럽이나 미국에서는 건축 분야의 전과정평가를 위해 오래전부터 데이터베이스 구축을 위한 국가 차원의 연구가 진행되어 왔으며, 전과정평가를 도입한 친환경 평가기법을 개발하고 있다. 국내의 경우에도 2001년 한국건설기술연구원과 대한주택공사에서 건축물의 전과정평가를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발 연구를 시작으로 다양한 연구가 수행되고 있으므로 머지않아 전과정평가를 통한 건물의 친환경성평가가 전세계적으로 보편화 될 것은 분명하다. 현재 진행되고 있는 국외의 건축 분야의 전과정평가 개발 동향을 살펴보면 다음과 같다.

1) 일본

일본에서 건축분야에 대한 전과정평가 연구는 1980년대 중반부터 본격적으로 학계를 중심으로 주로 산업연관분석을 이용하여 수행되기 시작했다. 이는 민간차원의 연구로, 이어 정부 차원에서는 1990년대 초반부터 지속적으로 추진하고 있다. 현재는 독립행정법인으로 전환되었지만, 건축연구소에서는 1997년 전과정평가 프로그램을 공포하였고, 건설성 관방관청 영선부에서는 1998년 3월에 책정한 환경배려형 관청시설(그린청사)계획지침을 포

함하여 신청사의 LCCO₂ 30% 저감을 달성하기 위한 그린화기술 선정 시트, 그린청사 체크 시트, 청사판 LCCO₂ 계산법 등의 프로그램을 1999년 8월에 공포한 바 있다. 특히, 일본에서 가장 주도적으로 연구 활동을 진행한 곳은 일본건축학회로서 1990년 “건축과 지구환경특별연구위원회”를 설치하여 1992년 3월에 “건축이 지구환경에 미치는 영향”이라는 제목의 보고서를 발행한 이후, 1995년부터는 “지구환경위원회”로 연구가 이어지고 있다. 또한, 공기조화·위생공학회 등 관련 학회에서도 위원회 활동 등으로 체계적인 연구를 수행하고 있으며, 특히 건축설비분야 및 각종 장비에 대한 환경부하 원단위를 작성하고 있다. 대형 민간건설회사에서도 전과정평가 기법을 독자적으로 추진하고 있는 실정이다.

현재 일본에서는 건물의 설계, 자재의 제조·유통, 시공, 운영·유지관리, 개·보수, 폐기에 이르는 생애주기의 각 단계별로 전체 산업에서 다양한 제품과 서비스가 투입되기 때문에 이것을 전부 포괄할 수 있는 전과정평가를 단기간에 실용적으로 수행하는 것은 매우 어렵다는 판단을 내렸다. 그에 따라 대체수단으로 모든 산업간의 경제적 관계를 망라하는 산업연관표를 응용한 데이터베이스 구축에 주력하고 있다. 따라서 2000년초를 기준으로 에너지소비에서 유발되는 CO₂, SO_x, NO_x 배출량의 원단위 데이터베이스가 산업연관분석법에 의하여 정비되어 있으며, 개별 적산법에 의한 원단위 데이터베이스 구축작업이 병행될 것으로 전망되고 있다.

2) 미국

미국은 1978년에 이미 건축 분야에 대한 산업연관분석법을 통한 에너지량 산출을 행하였으며, 개별 적산 및 누적 방식에 의해서도 종이, 선철, 동, 합판 등 건축 분야의 자재에 대해 조사를 수행했다.

ASTM(American Society for Testing and Material)에서는 건축재료, 자

재의 전과정평가와 주거용 그린빌딩 디자인, 사양, 건설과 운용에 대한 지침을 제시하고 있다. 미국의 환경독성화학회(SETAC; Society of Environmental Toxicology and Chemistry)에서는 건축자재의 전과정평가의 수정을 행하고 있으며, 그 밖에 미국그린빌딩협의회(USGBC;U.S Green Building Council), 환경보호청(EPA;Environmental Protection Agency) 및 미국 건축가협회(AIA;American Institute of Architects) 에서도 건축자재에 대한 전과정평가를 행하고 있다.

3) 캐나다

캐나다에서는 1998년에 GBC(Green Building Council) 98을 개최하였으며, 이미 영국, 일본, 호주, 노르웨이, 핀란드, 독일을 포함한 19개국 이 대회에 참여하여 각 국의 지구환경 보전 정책 및 방향을 지시하고 있는데 이를 주도하고 있는 곳이 바로 캐나다이다.

4) 네덜란드

The Ministry of Housing, Spatial planning and the Environment 등 건축 분야와 관련되어 있는 4개의 주요 조직에 의하여 1994년부터 건축 분야의 전과정평가 프로그램 개발이 시작되었다. 암스테르담 대학의 IVAM Environmental Research에서 개발된 건축 분야 전과정평가 프로그램인 Eco-Quantum은, 건물의 라이프사이클에 걸친 에너지소비에 따른 영향과 사용단계에서의 유지보수, 건물 수명에 영향을 미치는 건설 관련 부품의 내구성차이, 선택, 해체, 재생 및 재활용까지 고려하고 있으며, 주거용이나 상업용 건축물에 모두 적용될 수 있도록 설계된 컴퓨터 기반 프로그램이다. 이를 위해 네덜란드 환경성능규격(EP)과 독립적 네덜란드 전과정평가 프로그램인 SimaPro로부터 데이터가 제공된다. 100개 이상의 건자재 및

관련 공정에 대한 환경 데이터와 60여 가지의 건물 구성요소에 대한 1000 가지 이상의 대안이 구성요소 데이터베이스로 제공되고 있다.

5) 국제에너지기구(IEA;International Energy Agency)

1974년 설립된 IEA는 건물의 환경성능평가를 위하여 MCDM(Multi Criteria Decision Making)라는 프로그램을 진행하고 있다. 이는 IEA의 이행협정의 하나인 SHC(Solar Heating Cooling programme)에서 Task23 "Optimization of Solar Energy Use In Large Buildings Completed"의 리더인 미국 Dr. J. Douglas Balcomb의 주도로 개발된 종합 설계평가 비교 프로그램으로서, 현재 MCDM-23 프로그램이 Visual Basic으로 공개되어 있다.

평가 항목으로는 생애주기비용요소(Life-Cycle cost criteria), 자원부하요소(Resource use criteria), 환경부하요소(Environmental loading criteria), 건축미학요소(Architectural quality criteria), 실내질요소(Indoor quality criteria), 기능요소(Functionality criteria) 등 6가지로 구성되며, 제반 환경 요인에 의한 영향을 수치 또는 그림으로 통합 비교할 수 있는 도구로서 워크시트로 정량화시킨 값을 근거로 스타다이어그램 형식으로 기준 건물에 대한 대안 건물의 전과정평가를 할 수 있다.

이미 타 산업분야는 전과정평가 기법을 이용한 제품의 환경성능 평가가 상당 수준으로 진행되고 있으나 건축 분야는 아직 추진단계에 있다. 그러므로 제도·운영체계의 구축, 방법론의 표준화 및 데이터베이스 개발, 전문연구기관의 육성 및 네트워크 구성을 통하여 건축 활동에 대한 합리적인 환경관리를 통하여 각 단계별 활동에서 발생하는 환경부하의 절감이 가능하고, 환경부하별 우선순위를 고려한 개선 및 재설계가 가능하고, 또한 초기 계획단계에서의 환경영향을 사전에 파악하여 각 단계별로 발생하는 환

경영향에 능동적으로 대처함으로써 환경영향을 사전에 저감하기 위한 방법으로 적용 가능할 것이다. 더불어 전과정평가를 적용한 결과물을 건축구조물의 기획·제안 시에 발주자에게 제시함으로써 보다 환경부하가 적고 친환경적인 대상물을 제안할 수 있을 것으로 사료된다.¹³⁾



13) 유호천, 건축산업에서의 전과정평가(LCA)의 적용, Journal of the KGBC 3권 3호

2.2 온실가스 추산 이론

2.2.1 온실가스

대기를 구성하는 여러 가지 기체들 가운데 온실효과를 일으키는 기체를 ‘온실가스’라 하며, 제3차 당사국총회(COP; Conference of the Parties)에서는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화유황(SF₆)을 6대 온실가스로 지정하고 있다.

이들 온실가스들이 지구온난화에 기여하는 정도는 IPCC가 제시한 지구온난화지수(GWP; Global Warming Potential)를 통해 알 수 있으며, 표 2.1과 같다.

표 2.1 지구온난화지수

GHG	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
지구 온난화지수	1	21	310	1,300	7,000	23,900

이산화탄소의 경우 지구 온난화지수는 낮지만, 다른 온실가스들은 대기 중의 농도가 비교적 낮으므로, 규제 가능한 가스(Controllable Gas)로서 지구온난화를 논할 때 핵심 이슈가 되는 것은 이산화탄소이다. 이산화탄소는 인위적으로 배출되는 전체 온실가스 양의 약 60%¹⁴⁾를 차지하며, 대부분이 에너지의 이용 결과로 발생되므로 온실가스 배출 저감을 위해 에너지 이용의 저감은 중요한 요소가 된다.

다음 그림 2.2¹⁵⁾는 에너지와 이산화탄소 배출량과의 관계를 보여준다.

14) UNEP & WHO, Common Questions About Climate Change

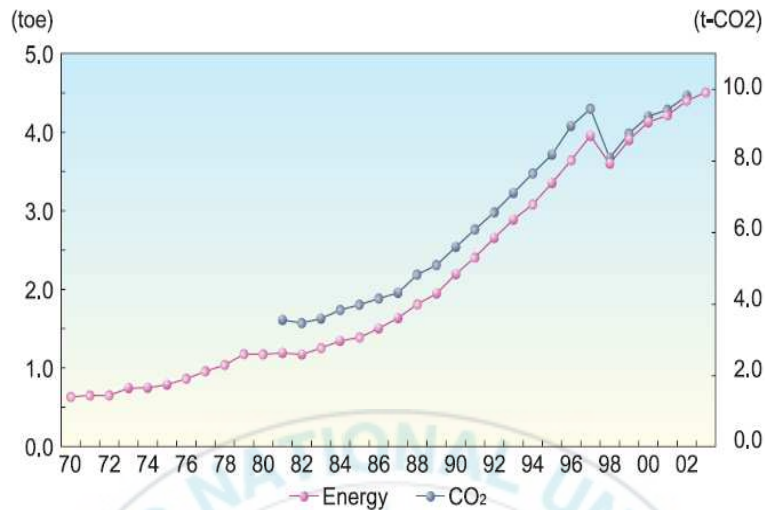


그림 2.2 1인당 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량 비교

기후변화에 관한 IPCC의 이산화탄소에 관한 예측에 의하면 2100년에 세계 인구가 2배가 되고 경제 성장률이 연평균 2~3 %를 유지하는 조건하에서, 1990년 70억 톤에 달하는 총 이산화탄소 배출량이 2100년에는 200억 톤으로 증가하고, 대기 중의 농도는 2030년에 산업혁명 이전보다 2배, 2100년에는 3배로 증가할 것이라고 한다.

또한 1990년 수준으로 이산화탄소 배출량을 동결할 경우에 대기 중 이산화탄소 농도가 2배가 되는 시기를 2030년에서 2100년으로 연기시킬 수는 있으나 대기 중의 농도는 향후 2세기 동안은 계속해서 증가할 것이라고 보고하고 있다. 이와 같은 전망에 비추어 볼 때 이산화탄소 감축을 위한 에너지 절약 노력을 지속적으로 추진하고 여타 온실가스 감축노력도 강화해 나갈 필요가 있다.

15) 정창봉, Energy Info. Korea, 2004

2.2.2 IPCC 온실가스 추계방법

에너지원에 따른 온실가스 배출량의 산정을 위해서는, 먼저 분석의 편의를 위하여 하나의 단위로 통일을 시켜야 하며, 어느 배출계수를 기준으로 할 것인가를 결정하여야 한다. 즉, 화석연료별로 탄소함유량이 상이하므로 에너지원별 탄소배출계수를 결정하여야 한다. 그러나 각 에너지원별 이산화탄소 배출계수는 발표기관별로 차이를 보이고 있으므로 적용하는 자료에 따라 배출량의 산정 결과에 차가 발생할 가능성이 높다.

국내에서는 탄소배출계수가 실사된 바가 없기 때문에 일반적으로 에너지이용합리화법 시행령에서 제시하고 있는 석유환산표를 근거로 하여 GJ당 kg 탄소량과 toe당 Ton 탄소량을 제시하고 있는 IPCC 탄소배출계수 (CEF; CARBON EMISSION FACTOR)를 이용하고자 한다. 다음의 표 2.2는 에너지원별 탄소배출계수를 나타낸다.

IPCC의 온실가스 추계방법은 화석연료의 종류별 에너지단위(GJ, Ton)당 탄소계수를 제시하면서 탄소(C)와 이산화탄소(CO₂)의 몰(Mole)당 분자량 비율(12/44)을 대입하여 이산화탄소(CO₂)량을 추산하도록 하고 있으며, 메탄(CH₄)과 질소산화물(NO_x, N₂O) 등은 연료 종류별 에너지소모 단위당 발생량을 제시하고 있다. 이산화탄소 배출량의 계산식은 다음과 같다.

$$\text{이산화탄소(CO}_2\text{) 배출량} = \text{탄소(C)배출계수} \times (44/12)$$

표 2.2 에너지원별 탄소배출계수

구분		탄소배출계수		이산화탄소 배출계수
		(kg C/GJ)	(Ton C/toe)	(kg CO ₂ /GJ)
액체화석 연료	원유(kg)	20.00	0.829	73.33
	천연액화가스(ℓ)	117.20	0.630	429.73
	휘발유(ℓ)	18.90	0.783	69.30
	등유(ℓ)	19.60	0.812	71.87
	제트유(ℓ)	19.50	0.808	71.50
	경유(ℓ)	20.20	0.837	74.07
	중유(ℓ)	21.10	0.875	77.37
	LPG(kg)	17.20	0.713	63.07
고체화석 연료	무연탄(kg)	26.80	1.100	98.27
	유연탄(kg)	25.80	1.059	94.60
	갈탄(kg)	27.60	1.132	101.20
기체화석 연료	도시가스(Nm ³)	15.30	0.637	56.10

2.3 내재에너지(Embodied Energy)

내재에너지는 건물과 관련된 모든 과정에서 소모되는 에너지 즉, 원료를 생산하고 제품을 제조하며 사용하기 위해 운반하고 사용수명이 다한 후 처리과정에서 소모되는 에너지를 말한다.

건물의 내재에너지는 초기 내재에너지와 순환 내재에너지로 나누어지는데, 초기 내재에너지는 원재료를 획득하고, 그것들을 가공, 제조하고 현장으로 수송하고 건설하는데 사용되는 재생 불가능한 에너지를 말하며, 직접적 에너지와 간접 에너지로 구분된다. 순환 내재에너지는 건물에서 생애동안 구성요소 또는 시스템, 재료의 유지, 수리, 복구에 소모되는 재생 불가능한 에너지를 말한다.

그림 2.3은 내재에너지(Embodied Energy)의 구성도를 나타낸다.

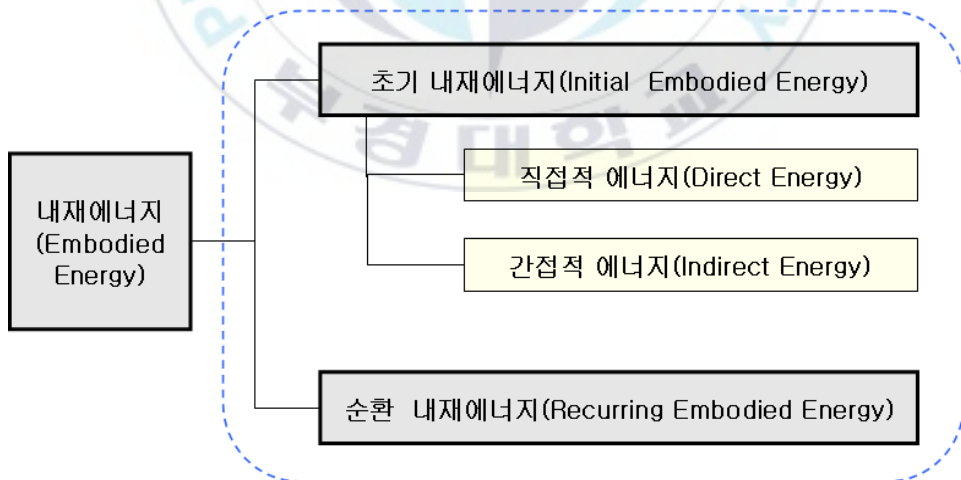


그림 2.3 내재에너지(Embodied Energy)의 구성도

건물은 높은 에너지 소비자로서 환경에 중대한 영향을 미치게 되므로 내재 에너지에 관한 연구는 얼마나 많은 에너지가 건물의 어느 부분에, 어떻게 사용되는지를 이해하는데 반드시 필요하다고 할 수 있다. 또한 건물은 보다 더 에너지 효율적이길 요구되므로 생애동안 소비되는 내재에너지의 비율은 지속적으로 증가하고 있다. 특히 “제로에너지(zero-energy)”, “자립(autonomous)”을 주장하는 건물들에 관한 관심의 증가로 인해 내재에너지의 중요성이 부각되고 있다.

건물에 사용되는 재료의 종류에 따라 단위내재에너지는 다양한 값을 나타낸다. 콘크리트 약 1.09 MJ/kg¹⁶⁾, 알루미늄 약 206 MJ/kg¹⁷⁾ 등으로 매우 다양하게 나타나며, 그 값의 차가 200배 이상 나타난다. 이는 각 재료별로 수명이 다르고, 동일한 효과를 내는데 필요한 양이 다르며, 다양한 디자인이 요구되기 때문이다.

단열재 또한 종류에 따라 다양한 단위내재에너지가 나타나는데, 표 2.3은 Centre for Building Performance Research¹⁸⁾의 분석 자료에 의한 단열재의 종류별 단위내재에너지를 나타낸다.

표 2.3 단열재의 종류별 내재에너지

단열재의 종류	내재에너지(MJ/kg)	source of basic data
polystyrene	117.0	sheltair scientkfic Ltda(1991)
cellulose	3.3	manufacturer(1995)
fiberglass	30.3	AIA ERG(1991)
polyester	53.7	(1991)
wool(recycled)	14.6	manufacturer(1995)

16) 콘크리트(8종)의 내재에너지 산술평균값

17) 알루미늄(6종)의 내재에너지 산술평균값

18) Alcon, J. A. Embodied Energy Coefficients If Building Materials, Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington. <http://www.vu.w.ac.nz/cbpr/resources /index.aspx>, 1996

본 연구에 적용된 polystyrene 단열재의 내재에너지는 다른 단열재에 비하여 높은 내재에너지를 지니고 있음을 볼 수 있는데, cellulose에 비해서는 무려 35배 가량 높은 내재에너지를 지니고 있는 것으로 나타난다. 이로써 환경성능의 전과정평가시 단열재의 종류에 따라서 결과에 큰 차이를 보일 것이라는 예측이 가능하다.

국내에서도 전과정평가 데이터베이스로써 단위내재에너지에 관한 연구 각 산업분야에서 활발히 시행되고 있으나 아직까지 국가 주요 산업물에 대해 제한적으로 제시되고 있으며 아직까지 건물에 활용될 수 있는 국내 데이터베이스는 없는 실정이다. 국내에서 시행된 재료의 단위내재에너지에 관한 연구¹⁹⁾는 산업연관표를 기초로 산정된 자료로써, 산업연관표 자체에 건축 재료의 범위에 한계가 존재하고, 사용 에너지를 기본으로 구축됨에 따라 수질오염물질이나 산업폐기물 등 제조공정상에서 발생하는 환경부하를 다루지 못하고 있다. 향후 각 산업별 환경부하 원단위가 적산법 등에 의해 구체적으로 제시될 경우 국내 데이터베이스의 확보가 가능할 것이며, 보다 발전된 연구의 진행이 예상된다.

건물의 내재에너지는 이산화탄소 배출과도 깊은 관련이 있다. 보통, 내재에너지는 GJ당 0.098 ton의 이산화탄소 발생시킨다고 한다. 호주의 경우 현존하는 건물들의 내재에너지는 호주 국내에서 10년 동안 소모되는 전체 에너지량과 동등하다고 조사된 바 있다.²⁰⁾ 이는 건물의 에너지적 측면에서 내재에너지가 차지하는 비율이 높으며, 그로 인해 발생하는 온실가스도 무시할 수 없다는 것을 시사한다.

그런데, 내재에너지를 고려하는 측면에서 건물의 재료선택, 설계의 대안들을 선택할 때, 초기에 사용되는 내재에너지 뿐만 아니라 건물이 유지되는 동안의

19) 한국건설기술연구원, 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발연구, 2002

20) CSIRO MMT Brochures-Technologies Embodied Energy, <http://www.cmmt.csiro.au/rochures/tech/embodied/>, 2006

운영에너지도 고려해야 할 필요가 있다. 왜냐하면 건물은 운영하는데 지속적인 에너지의 사용이 요구되고, 초기 내재에너지는 건설초기 투입된 후 전 생애 동안 동일한 수준을 유지하기 때문이다.



2.4 에너지 해석

2.4.1 에너지 해석의 종류

건물의 1년간 또는 일정 기간에 걸쳐 필요한 에너지소비량 또는 에너지 요구량을 계산하는 방법을 일반적으로 건물의 에너지 해석이라고 한다. 에너지 해석 기법에는 동적 해석 방법인 상세 시뮬레이션과 정적 해석 방법인 도일법, 확장도일법 등이 있다. 이러한 건물의 에너지 해석을 위하여 다양한 방법들이 연구되어 실용화되어 있다. 대표적인 몇 가지 방법을 제시하면 아래의 표 2.4와 같다.²¹⁾

표 2.4 에너지 해석 방식의 종류

구분		종류	
정적 해석 방식	단일 척도 방식	Degree-Day Method	
		Modified Degree-Day Method	
		Variable Base Degree-Day Method	
	다중 척도 방식	Expanded Degree-Day Method	
		BIN Method	ASEAM
		Modified BIN Method	TRAKLOAD MIRAE-98, LOLADSYS
동적 해석 방식	상세 시뮬레이션 방식	Response Factor, Weighting Factor 방식	DOE, HASP, BRIMAP
		전달함수 방식	TRNSYS, E20-II, K-LOAD, KAREN-2
		수치해석적 방식 (FEM, FDM, FVM)	BLAST, NBSLD, ESP-r, EnergyPlus

21) 한국건설기술연구원, 한국에너지기술연구원, 총량베이스 건축물 에너지절약 관리기법 개발 연구보고서(1차년도 중간), 2004. 8

국내에서 연구 목적으로 사용되고 있는 대표적인 동적 해석 프로그램으로는 기간부하추산이 가능한 미국의 에너지플러스(Energy Plus), BLAST, TRANSYS, DOE-2, 일본의 HASP 등이 있으며, 영국의 ESP-r이 일부 기관에서 사용되고 있다.

국내의 경우 국내실정에 맞는 건물 에너지 평가용 해석 프로그램을 개발하고 있으나 현재 비공개 상태라 활용이 전무하다. 이와 같은 동적 에너지 해석 프로그램은 수많은 데이터베이스가 필요할 뿐 아니라 그 이용방법과 절차가 복잡하여 전문가라 하더라도 장시간 노력이 필요하므로 운영 보편화가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그에 비해 절차가 간단하여 운영 보편화가 가능한 정적 해석법의 일종인 도일법·확장도일법이 사용되고 있으나, 동적 에너지 해석 프로그램에 비하여 추산오차의 범위가 넓고, 전력에너지의 산출이 결여된 단점을 지니고 있다.

2.4.2 에너지플러스(EnergyPlus)

동적 해석 방식의 일종인 EnergyPlus는 개발초기부터 건물 에너지 해석 프로그램 부문에서 대표적 프로그램인 DOE-2와 BLAST의 장점만을 취사선택한다는 점과 다른 건물 에너지 해석 프로그램과 달리 건물 에너지 시뮬레이션 기술이 어느 정도 확립된 후에 개발이 진행되었다는 측면에서 세계적인 관심을 받아왔다. 수년간의 베타테스트를 완료하고 2001년 4월에 공식버전을 발표하였다.

BLAST(Building Loads Analysis and System Thermodynamics)는 미국의 국방성의 지원을 받아 일리노이 대학에서 개발해왔던 것으로서 건물 부하계산에 지금까지 보편적으로 사용해왔던 전달함수법이 아니고 수치해석방식을 적용한 에너지 밸런스 알고리즘을 적용한 프로그램이다. DOE(the United States Department of Energy)에서는 새로운 환경에 부응할 수 있는 건물 에너지 성능평가 도구의 개발을 위해 1996년부터 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)과 일리노이대학, 오클라호마 대학 및 미군 시공 엔지니어링 연구소 주관으로 기존 DOE-2와 BLAST의 장점을 병합한 EnergyPlus의 개발을 추진하였다. 현재(2006.10월 기준) Ver. 1.4.0이 발표되었으며 2007년 4월 Ver. 1.5.0을 발표할 예정이다. 당초 계획은 두 프로그램을 수정하여 병합하는 것이었으나 병합과정에서 많은 문제점이 발생하여 완전히 새로운 코드를 작성하는 것으로 계획이 수정 진행되었다.

EnergyPlus는 기본적으로 Heat&mass Balance Simulation 모듈과 Building Systems Simulation 모듈 및 해석 전체 과정을 총괄하는 Simulation Manager 모듈의 3가지로 구성된다. 이론적인 측면에서 살펴보면 부하부분의 경우 BLAST의 알고리즘을 기반으로 하고, 시스템 해석부분의 경우 DOE-2의 알고리즘의 영향을 받은 것으로 판단된다.

다음 그림 2.4는 EnergyPlus의 기본 구성도²²⁾를 나타낸다.

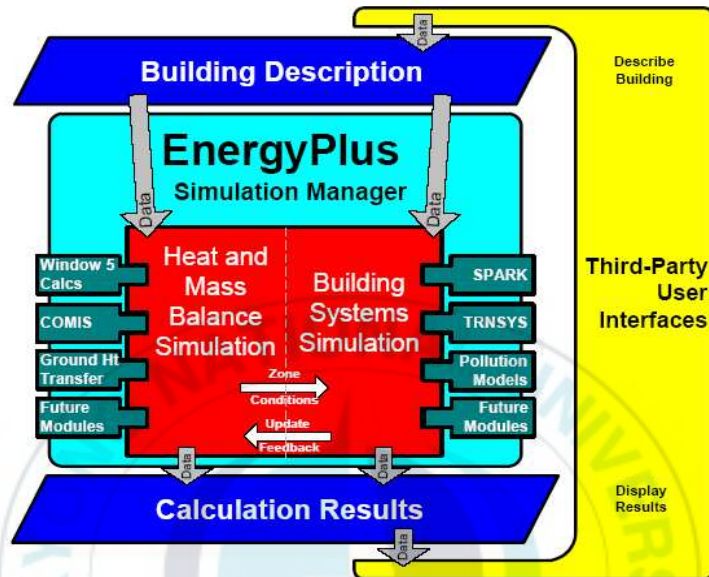


그림 2.4 EnergyPlus 구성도

본 연구에서 사용한 EnergyPlus Ver. 1.2.2를 기준으로 프로그램의 특징 몇 가지를 살펴보면 다음과 같다.

먼저 해석의 시간 간격 설정이 자유로우며, 모듈형 구조를 가지므로 사용자의 임의로 시스템을 구성할 수 있고, 통합된 열 및 매스 밸런스에 기준한 존의 해석이 가능하며, 다중 존 간의 유동해석, 오염물질 전달과정의 해석, 습기전달문제, 태양광발전과 같은 대체에너지 시스템의 해석이 가능하다.

또한 핵심 해석 엔진만을 개발해놓고 사용자 인터페이스는 관련 기업들에서 개발하는 형태를 취하고 있기 때문에 다양한 분야의 사용자들이 서로 다른 목적과 용도로 사용할 수 있다.

22) EnergyPlus Manual Ver. 1.2.2, Documentation April 2005.4

한편 EnergyPlus는 모듈형 구조 및 에너지 밸런스에 기준한 해석 알고리즘을 채택하고 있기 때문에 기존의 다른 프로그램과 연계한 해석이 가능하다. 예를 들어 COMIS와 연계하여 존 간의 유동문제를 세부적으로 해석할 수 있고, TRNSYS와 연계하여 태양열 집열기와 같은 특수 설비시스템의 상세한 해석이 가능하다.

에너지 해석 프로그램의 경우 프로그램의 개발 단계에서 프로그램 해석 결과의 신뢰성 검증 작업이 필수적인데, EnergyPlus의 경우 ASHRAE Standard 140-2001 및 IEA의 BESTEST의 과정에 따라 신뢰성이 검증되었다. 현재까지 기존 에너지 해석 프로그램들과 큰 차이 없이 신뢰성이 인정되고 있다. 또한 완벽한 형태의 건물 에너지 해석 프로그램으로 자리 잡기 위해 지속적으로 최신기술과의 접목을 시도하고 있다.

2.4.3 단위 환산 고찰

현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 열량의 기본단위는 칼로리(cal)로써 이들은 공학단위계(MKS)로 불린다. 그러나 세계표준단위계 즉, SI(Standard Index)에서는 열량의 단위를 줄(J;Joule)로 표기하도록 하고 있으며, 국제적으로 단위의 단일화가 요구되고 있는 실정이므로 본 연구에서는 이러한 단위계의 상호 환산을 위하여 다음과 같이 단위환산계수를 고찰하여 제시하고자 한다.

다음 표 2.5는 국내에서 사용되고 있는 열량 단위의 세계표준단위계로의 환산관계²³⁾를 나타낸다.

표 2.5 단위 환산표

공학단위계(MKS)	SI단위계(Standard Index)
1 cal	4.1868 J
1 kwh	3.6 MJ

23) 일본태양에너지학회, Solar Energy Utilization Handbook, 1985

3. 에너지 해석

3.1 모델 건물의 설정

에너지 해석을 통한 단열형식에 따른 운영단계 환경부하의 산정을 위해 대상건물의 선정이 무엇보다 중요하다. 본 연구에서 적용한 모델 건물은 도심 주거용 건물로 조적조, 지상 2층, 연면적 135.45m², 건축면적 64.8m²이다. ‘2005 Census 인구주택총조사’ 가구·주택부문 전수집계결과에서 연건평을 기준으로 주택의 분포를 살펴보면 ‘19~29평 미만’이 38.8%(354,731호)로 높은 비중을 나타낸다.²⁴⁾ 이는 국민주택 규모인 25.7평이 속하는 주택 범위로써 본 연구에서 설정한 모델의 규모가 이에 속함을 알 수 있다.

모델 건물에서 단열재가 적용되지 않은 기준이 되는 외벽은 두께 200 mm로 설정하고, 모든 내벽은 두께 150mm으로 설정하며, 주거용 건물이므로 창문의 개방정도를 높게 설정하였다.

모델 건물의 개요는 표 3.1과 같으며, 그림 3.1은 모델 건물의 1층 평면도이고, 그림 3.2는 모델 건물의 입면도를 나타낸다.

24) 2005 Census 인구주택총조사 전수집계결과 (가구 · 주택부문), 2006.8

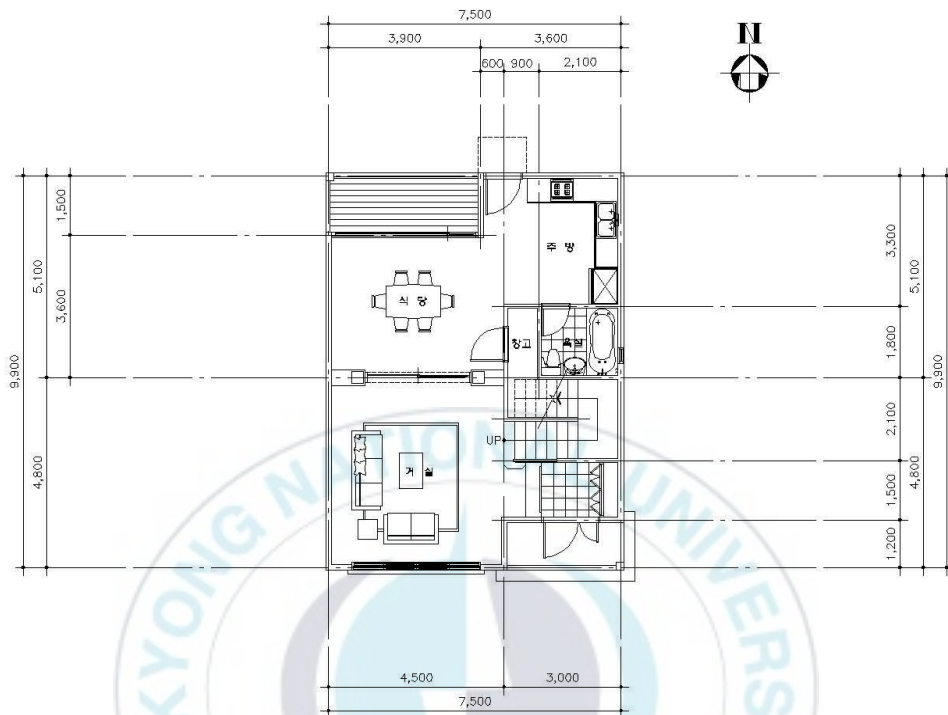


그림 3.1 모델 건물의 1층 평면도

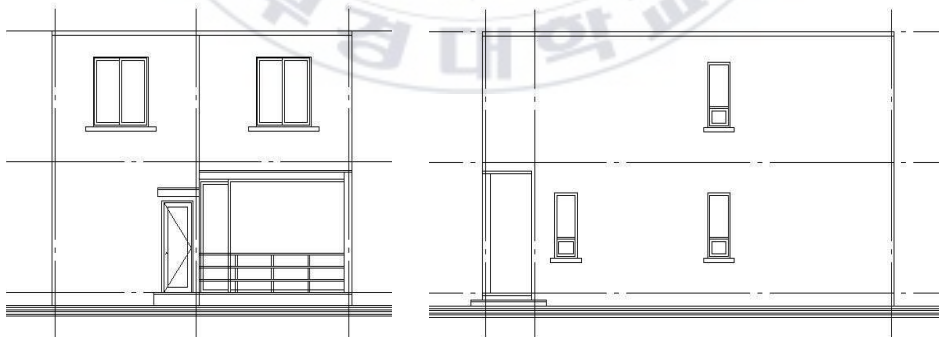
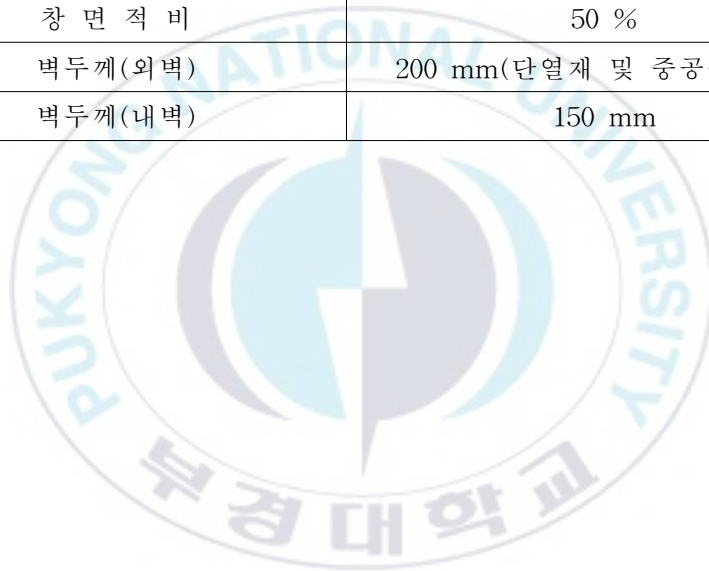


그림 3.2 모델 건물의 입면도

표 3.1 모델 건물의 개요

건 물 위 치	인천 도심
위 도	37°48 '
경 도	126°55 '
해 발 높 이	10.0 m
건 축 면 적	64.8 m ²
연 면 적	135.45 m ²
층 수	2층
창 면 적 비	50 %
벽두께(외벽)	200 mm(단열재 및 중공층 제외)
벽두께(내벽)	150 mm



3.2 에너지 해석의 조건

본 연구에서는 벽체의 축열 현상까지 고려되어 있고, 단열재의 위치 및 두께 변화에 따른 상세한 에너지 해석이 가능한 EnergyPlus(V.1.2.2)²⁵⁾ 프로그램을 이용하였다. 에너지 해석에서 기상데이터는 높은 비중을 차지하지만, 국내의 경우 아직 각 지역별·시각별 표준기상데이터가 완벽하게 정립되지 못한 실정이다.

현재 제시되어 있는 기상데이터 자료로는 김두천(서울, 1984), 손장열(서울, 1985), 조민관(서울 외 6개 지역, 1986), 김효경(서울 외 5개 지역, 1987), 김두천(서울 외 8개 지역, 1992), 김동완(부산, 1992) 등의 연구 자료가 있으나, 모두 통계처리를 통한 대표 년의 선정에 의한 방식인 일본의 HASP/ACLD형식이기 때문에 EnergyPlus에 적용하기는 어렵다.²⁶⁾

대한설비공학회에서도 1994년부터 국내 13개 지역에 대해 표준기상데이터를 작성하고자 연구를 수행한 바 있으나, 아직까지 대외적으로 공개하지 못하고 있는 실정이다. 이러한 사정으로 인해 본 연구에서는 DOE에서 제공하고 있는 국내 4개 지역 기상데이터 중에서 인천의 기상데이터를 사용하였다.

설비의 용량계산을 위한 설계기준일은 국내의 공조설비 설계기준에 의하여 입력하였으며, 그 외에 입력된 자료는 기존 주택에 대한 현황 조사 및 건축물 에너지 절약 설계기준을 참고하여 작성하였다. 에너지 해석기간은 11월 15일에서 4월 15일까지로 설정하고, 일간 24시간으로 해석하였다. 개별패키지냉방기(PAC) 및 가스보일러를 적용하고, 거주인원은 5명, 냉장고 1대, TV 2대, 컴퓨터 1대, 인공조명밀도 25 W/m²로 설정하였다.

Energy Plus(V.1.2.2) 프로그램에 입력된 조건은 표 3.2와 같다.

25) US Department of energy, EnergyPlus V1-2-2, <http://www.eere.energy.gov/>, 2006.02

26) EnergyPlus에서는 E/E (EnergyPlus/ESP-r) 형식의 기상데이터를 사용할 수 있다.

표 3.2 에너지 해석의 입력 조건

입력 항목	데이터
건물의 방위	정남향
단열재의 열전도율	0.036 W/mK(0.031 kcal/m·h·℃)
단열재의 밀도	20~30 kg/m ³
단열재의 사용온도범위	70 ℃
기상데이터	인천, 2006
면체 입력방법	데카르트기하학
거주인원	5 명
인공조명밀도	25 W/m ²
환기량	0.00944 m ³ /sec·person
난방조건	22℃/RH 45%
시뮬레이션 난방기간	11.15~4.15
시뮬레이션 일간시간	24 hr
냉방기	PAC 3.0 USRT/unit
가스보일러	23,256 kWh/unit
전기기구	냉장고(1대) 1kw, TV(2대) 0.5kw, 컴퓨터(1대) 0.2kw

한편 벽체 단열재의 두께 변화에 따른 단순 열성능 비교를 위하여 열관류율을 산정하였다. 열관류율은 열이 벽과 같은 고체를 통하여 공기층에서 공기층으로 열이 전하여 지는 것을 말하며, 건물의 효율적인 에너지 관리를 위한 에너지절약설계기준에서는 열관류율을 다음과 같이 정의하고 있다.²⁷⁾

“열관류율이란 실내외 온도차가 1 ℃ 발생할 때, 1 m² 면적에서 1 시간당 흐르는 열량을 의미하는 것으로 건축 부위의 단열성능을 표시하는 값이다. 열관

27) 에너지관리공단, 에너지절약설계기준해설서, 2005

류율은 수치가 클수록 단열능력이 나쁘며 반대로 수치가 작을수록 단열능력이 좋은 것을 의미한다. 열관류율은 벽체, 지붕, 바닥 등을 구성하는 각 재료의 열저항 및 실외 및 실내측 표면열전달저항의 합의 역수를 나타낸다.”

열관류율은 다음의 계산식(식-1, 식-2, 식-3)에 의해 구해진다.

$$\text{열관류율}(K) = \frac{1}{\text{열저항}(R)} = \frac{\text{열전도율}(\lambda)}{\text{두께}(t)} \dots\dots\dots(\text{식-1})$$

$$\text{열전도율}(\lambda) = \frac{\text{두께}(t)}{\text{열저항}(R)} \dots\dots\dots(\text{식-2})$$

$$\text{열저항}(R) = R_i + \frac{t_1}{\lambda_1} + \frac{t_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{t_n}{\lambda_n} + R_o \dots\dots\dots(\text{식-3})$$

여기서, R_i = 실내표면 열전달 저항($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)

R_o = 실외표면 열전달 저항($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)

λ = 재료의 열전도율($\text{kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)

t = 재료의 두께(m)

열관류율의 단위는 $\text{kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 또는 $\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$ 로 나타내고, 식에서 적용되는 실내표면열전달저항 및 실외표면열전달저항, 중공층 및 공기층의 열저항은 에너지절약설계기준의 별표로 상세히 제시되어 있다.

모델 건물의 비교 대상(30종) 벽체의 단열형식 및 열관류율은 표 3.3과 같다.

표 3.3 비교 대상 벽체의 단열형식 및 열관류율

구분	연구 사용기호	외벽 구조 (Xt: X는 단열재의 두께, A: 두께 5mm 중공층, 1B: 0.5B 시멘트벽돌, 경량콘크리트, 2B: 1.0B 시멘트벽돌)	열관류율 (kcal/m ² h℃)
기준	N(0)	2B	0.92
내 단 열	IN(50)	2B+A+50t	0.43
	IN(100)	2B+A+100t	0.28
	IN(150)	2B+A+150t	0.21
	IN(200)	2B+A+200t	0.16
	IN(250)	2B+A+250t	0.14
	IN(300)	2B+A+300t	0.12
	IN(350)	2B+A+350t	0.10
	IN(400)	2B+A+400t	0.09
	IN(450)	2B+A+450t	0.08
	IN(500)	2B+A+500t	0.07
중 단 열	CEN(50)	1B+A+50t+1B	0.43
	CEN(100)	1B+A+100t+1B	0.28
	CEN(150)	1B+A+150t+1B	0.21
	CEN(200)	1B+A+200t+1B	0.16
	CEN(250)	1B+A+250t+1B	0.14
	CEN(300)	1B+A+300t+1B	0.12
	CEN(350)	1B+A+350t+1B	0.10
	CEN(400)	1B+A+400t+1B	0.09
	CEN(450)	1B+A+450t+1B	0.08
	CEN(500)	1B+A+500t+1B	0.07
외 단 열	OUT(50)	50t+A+2B	0.43
	OUT(100)	100t+A+2B	0.28
	OUT(150)	150t+A+2B	0.21
	OUT(200)	200t+A+2B	0.16
	OUT(250)	250t+A+2B	0.14
	OUT(300)	300t+A+2B	0.12
	OUT(350)	350t+A+2B	0.10
	OUT(400)	400t+A+2B	0.09
	OUT(450)	450t+A+2B	0.08
	OUT(500)	500t+A+2B	0.07

3.3 예비 해석 및 검증

모델 건물의 입력조건의 타당성을 검증하기 위해 예비 에너지 해석을 수행하였다. 예비 에너지 해석의 대상은 30종의 에너지 해석 비교 대상 중에서 건축법이 규정하고 있는 건축물 단열기준에 적합한 외기에 직접 면하는 거실의 외벽 허용두께인 (라)등급을 만족하는 OUT(100)으로 선정하였다.

에너지 해석의 결과, 난방용 도시가스의 소모량은 $1,993.8 \text{ Nm}^3/\text{yr}$ 로 출력되었으며, 이는 문헌자료를 통해 조사된 일반적인 단독주택의 동절기 가정용 도시가스 사용량²⁸⁾과 4%의 편차를 보이는 것으로 나타났다. 이를 토대로 검토한 결과, 에너지 해석의 입력조건은 연구 수행에 문제가 없을 것으로 판단된다. 표 3.4는 예비 에너지 해석의 출력 검토 결과이다.

표 3.4 예비 에너지 해석 출력 검토

난방용 도시가스 소비량(Nm^3/yr)		편차
모델 건물의 예비 에너지 해석	문헌자료	4 %
1,993.8	1,910.0	

28) 한국에너지경제연구원, 동절기 가정용 도시가스 표준 난방비 조사 연구, 2005

4. 온실가스 전과정평가

4.1 내재에너지

4.1.1 산정기준 및 결과

연구에 적용된 단열재의 두께 증가에 따른 제조단계에서 발생하는 내재에너지와 그에 따른 온실가스량을 산정하였다. 모델 건물에 적용된 일반부재의 단위 내재에너지는 동일부재를 사용한다는 조건하에 내재에너지 산정에서 제외시켰으며, 적용된 단열재의 내재에너지만을 고려하여 산정하였다.

모델 건물에 적용된 단열재는 단열성이 우수하며 증기 및 물에 대한 우수한 차단성과 값이 싸고 시공이 간편한 경제성을 동시에 지니고 있는 발포폴리스티렌폼(스치로폴)으로, 단열재의 단위내재에너지는 Centre for Building Performance Research²⁹⁾의 분석 자료를 사용하였으며 표 2.3에 제시되어 있다.

내재에너지는 조사된 단열재의 단위 내재에너지와 적용된 단열재의 중량의 곱으로 계산하였고, 단열재의 중량은 사용체적에 단열재의 밀도인 20kg/m^3 를 곱하여 환산하였다. 단열재의 두께 증가율에 비례하여 내재에너지가 증가함을 알 수 있다. 단열재의 두께별 내재에너지의 산정 결과는 표 4.1, 그림 4.1과 같다.

29) Alcon, J. A. Embodied Energy Coefficients of Building Materials, Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington. <http://www.vuw.ac.nz/cbpr/resources/index.aspx>, 1996

표 4.1 단열재의 두께별 내재에너지 산정결과

대상	단열재 두께 (m)	면적 합산 (m ²)	단열재 체적 (m ³)	밀도 (kg/m ³)	중량 (kg)	단위 내재 에너지 (GJ/kg)	내재 에너지 (GJ)
산식	A	B	C=A×B	D	E=C×D	F	G=E×F
N(0)	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.117	0.00
50t	0.05	182.96	9.15	20.00	182.96	0.117	21.41
100t	0.10	182.96	18.30	20.00	365.92	0.117	42.81
150t	0.15	182.96	27.44	20.00	548.88	0.117	64.22
200t	0.20	182.96	36.59	20.00	731.84	0.117	85.63
250t	0.25	182.96	45.74	20.00	914.80	0.117	107.03
300t	0.30	182.96	54.89	20.00	1,097.76	0.117	128.44
350t	0.35	182.96	64.04	20.00	1,280.72	0.117	149.84
400t	0.40	182.96	73.18	20.00	1,463.68	0.117	171.25
450t	0.45	182.96	82.33	20.00	1,646.64	0.117	192.66
500t	0.50	182.96	91.48	20.00	1,829.60	0.117	214.06

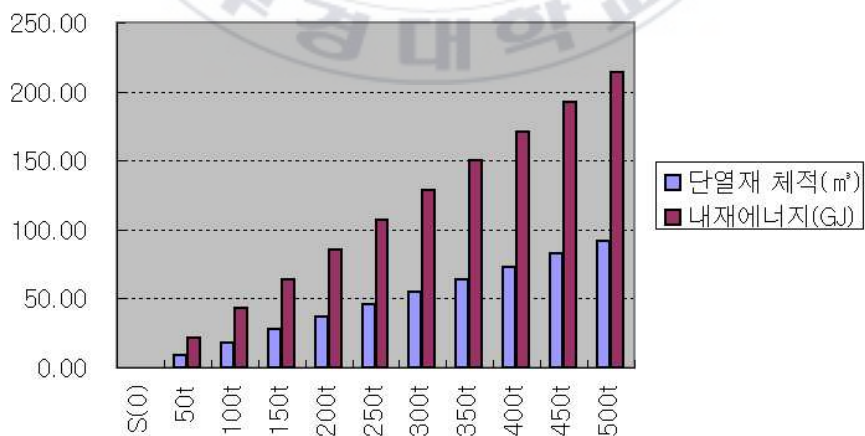


그림 4.1 단열재의 두께별 내재에너지 산정결과

4.1.2 내재에너지에 의한 온실가스

내재에너지에 의한 온실가스 배출량은 IPCC의 탄소배출계수³⁰⁾에서 제시하고 있는 경유의 탄소배출계수를 이산화탄소로 환산한 값을 적용하여 산정하였다. 에너지경제연구원에서 조사한 센서스 총에너지 소비 국내 고유단위에서 산업부문(건설업) 원별 소비(2001년)/원별구성비(%)를 살펴보면, 경유가 62.3/70.63를 차지하는 것으로 나타나는데, 이로써 내재에너지에 의한 온실가스 배출량 산정시 경유의 탄소배출계수를 이용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

건물의 수명은 준공시점부터 본래의 목적으로 사용할 수 없게 될 때까지 경과한 년 수인 내용연수로 정의할 수 있으며, 건물뿐만 아니라 건축설비, 재료, 부품 등에도 적용 되는데, 내용연수는 물리적, 기능적, 사회적, 경제적, 법정 내용연수로 구분할 수 있다.

일반적으로 건물의 장수명화를 기대하는 경우에는 층고, 바닥하중, 골조 등에 여유를 두어 건물의 수명을 50~100년으로 설정할 수 있다. 이러한 설정은 실제적인 건물의 수명을 보장하는 것은 아니며, 어디까지나 환경부하저감 효과를 기대하는 목표치적인 의미이다. 그러한 의미에서 본 연구는 건물의 수명을 50년으로 설정하였는데, 이는 법정 내용연수³¹⁾와 동일하다. 표 4.2와 그림 4.2는 벽체 단열재의 두께별 내재에너지에 의한 온실가스 배출량 산정 결과이다

30) 한국에너지경제연구원, IPCC 온실가스(GHG) 추계방법론, [http:// www.keei.re.kr/](http://www.keei.re.kr/), 2003.12

31) 법인세법 시행규칙 별표 5 [개정 2004.3.5, 2006.3.14]

표 4.2 단열재의 두께별 내재에너지에 의한 온실가스 배출량

대상	내재에너지 (GJ)	단위온실가 스량(kg/GJ)	온실가스량 (kg)	추정수명 (yr)	연간온실가 스량(kg/yr)
산식	A	B	$C=A \times B$	D	$E=C/D$
S(0)	0.00	74.06	0.00	50.00	0.000
50t	21.41	74.06	1,585.35	50.00	31.707
100t	42.81	74.06	3,170.70	50.00	63.414
150t	64.22	74.06	4,756.06	50.00	95.121
200t	85.63	74.06	6,341.41	50.00	126.828
250t	107.03	74.06	7,926.76	50.00	158.535
300t	128.44	74.06	9,512.11	50.00	190.242
350t	149.84	74.06	11,097.46	50.00	221.949
400t	171.25	74.06	12,682.82	50.00	253.656
450t	192.66	74.06	14,268.17	50.00	285.363
500t	214.06	74.06	15,853.52	50.00	317.070

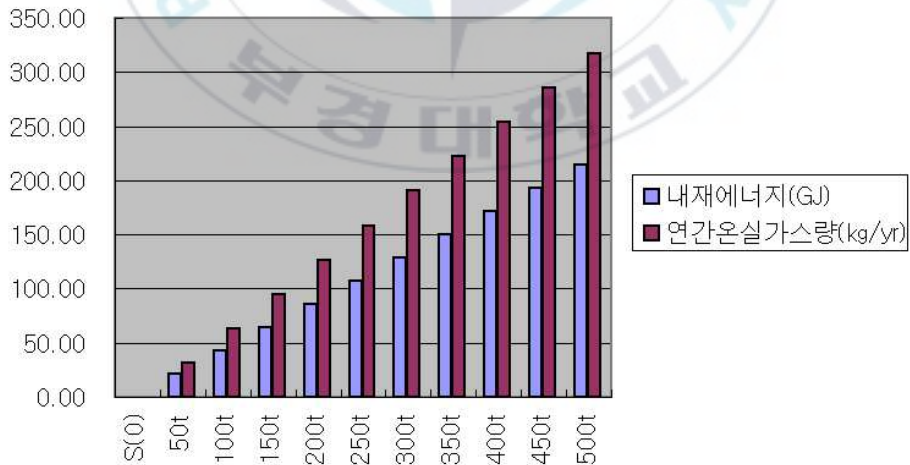


그림 4.2 단열재의 두께별 내재에너지에 의한 온실가스 배출량

4.2 운영단계

4.2.1 운영에너지 산출

연구 문헌을 통한 우리나라의 주거용 건물의 용도별 에너지사용량 비율은 난방용 38%, 냉방용 3%, 급탕용 36%, 취사용 10%, 조명용 13%³²⁾로 조사되었다. 이와 같이 건물의 운영과정에서 소모되는 에너지 중 가장 많은 사용 비율을 보이는 난방용으로 소모되는 에너지를 본 연구의 대상으로 선정하고 있다. 우리나라에서 일반적인 난방기간으로 볼 수 있는 11월 15일부터 4월 15일까지의 기간 동안 모델 건물에서 소모되는 난방용 에너지를 단열형식의 비교 대상별로 에너지 해석을 수행하고, 산출된 에너지 값을 열량 단위 환산³³⁾을 통하여 연간 난방용 도시가스 소모량으로 산정하였다.

모델 건물의 단열형식별 난방용 도시가스 소모량을 비교한 결과, 단열재가 적용되지 않은 N(0)를 기준(100%)으로 했을 때, 단열재의 위치별 외단열, 중단열, 내단열 순으로 난방부하의 저감 효과가 높은 것으로 나타났다. 단열재의 위치별로 두께의 최대 설정치인 500mm에서 내단열 96.38%, 중단열 89.85%, 외단열 87.61%로 가장 높은 부하 저감 효과를 보였다. 이와 같이 벽체의 단열형식별 비교 대상 중에서 외단열, 두께 500mm에서 저감 효과가 가장 높은 것으로 나타났으나, 각 단열재 위치별로 단열재 두께 400mm 이상부터는 부하 저감 비율의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.

비교 대상별 모델 건물의 난방용 도시가스 소모량은 표 4.3과 같다

32) 차재호 외13명, 에너지총설(상), (하), 한국에너지정보센터, 2003.11

33) 열량단위환산 ; $1\text{kW} = 0.86\text{Mcal}$, 도시가스열량 ; $10\text{Mcal}/\text{m}^3$

표 4.3 기간 난방용 도시가스 소모량

비교 대상	순난방부하 (W/yr)	보일러부하 (Mcal/yr)	도시가스량 (Nm ³ /yr)	비율 (%)
N(0)	16,068,074	22,455	2,245.5	100.00
IN(50)	15,640,975	21,858	2,185.8	97.34
IN(100)	15,580,368	21,774	2,177.4	96.96
IN(150)	15,559,725	21,745	2,174.5	96.84
IN(200)	15,541,359	21,719	2,171.9	96.72
IN(250)	15,531,158	21,705	2,170.5	96.66
IN(300)	15,519,236	21,688	2,168.8	96.58
IN(350)	15,506,789	21,671	2,167.1	96.51
IN(400)	15,499,192	21,660	2,166.0	96.46
IN(450)	15,492,469	21,651	2,165.1	96.42
IN(500)	15,486,726	21,643	2,164.3	96.38
CEN(50)	14,840,873	20,740	2,074.0	92.36
CEN(100)	14,718,211	20,569	2,056.9	91.60
CEN(150)	14,656,757	20,483	2,048.3	91.22
CEN(200)	14,620,647	20,432	2,043.2	90.99
CEN(250)	14,580,653	20,376	2,037.6	90.74
CEN(300)	14,471,155	20,223	2,022.3	90.06
CEN(350)	14,460,289	20,208	2,020.8	89.99
CEN(400)	14,449,985	20,194	2,019.4	89.93
CEN(450)	14,442,736	20,184	2,018.4	89.88
CEN(500)	14,437,304	20,176	2,017.6	89.85
OUT(50)	14,293,021	19,974	1,997.4	88.95
OUT(100)	14,266,729	19,938	1,993.8	88.79
OUT(150)	14,211,485	19,861	1,986.1	88.45
OUT(200)	14,177,668	19,813	1,981.3	88.24
OUT(250)	14,128,200	19,744	1,974.4	87.93
OUT(300)	14,112,841	19,723	1,972.3	87.83
OUT(350)	14,101,205	19,706	1,970.6	87.76
OUT(400)	14,092,201	19,694	1,969.4	87.70
OUT(450)	14,085,423	19,684	1,968.4	87.66
OUT(500)	14,077,323	19,673	1,967.3	87.61

벽체의 열성능을 평가하는 기준이 되는 열관류율과 난방용 도시가스 소모량을 단순 비교한 결과는 표 4.4, 그림 4.3과 같다.

벽체의 열관류율은 단열재의 위치와 무관하게 두께에 따라 $0.43\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 에서 $0.07\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ 까지 위치별로 동일한 열관류율이 나타났으나, 실제 에너지 해석을 통해 산출된 난방용 도시가스 소모량은 비교 대상 중 외단열, 두께 500mm에서 87.61%로 저감 효과가 가장 높은 것으로 나타났다.

표 4.4 도시가스 소모량과 열관류율

비교 대상	도시가스량 (Nm ³ /yr)	열관류율 (kcal/m ² h [°] C)	비교 대상	도시가스량 (Nm ³ /yr)	열관류율 (kcal/m ² h [°] C)
N(0)	2,245.5	0.92			
IN(50)	2,185.8	0.43	CEN(300)	2,022.3	0.12
IN(100)	2,177.4	0.28	CEN(350)	2,020.8	0.10
IN(150)	2,174.5	0.21	CEN(400)	2,019.4	0.09
IN(200)	2,171.9	0.16	CEN(450)	2,018.4	0.08
IN(250)	2,170.5	0.14	CEN(500)	2,017.6	0.07
IN(300)	2,168.8	0.12	OUT(50)	1,997.4	0.43
IN(350)	2,167.1	0.10	OUT(100)	1,993.8	0.28
IN(400)	2,166.0	0.09	OUT(150)	1,986.1	0.21
IN(450)	2,165.1	0.08	OUT(200)	1,981.3	0.16
IN(500)	2,164.3	0.07	OUT(250)	1,974.4	0.14
CEN(50)	2,074.0	0.43	OUT(300)	1,972.3	0.12
CEN(100)	2,056.9	0.28	OUT(350)	1,970.6	0.10
CEN(150)	2,048.3	0.21	OUT(400)	1,969.4	0.09
CEN(200)	2,043.2	0.16	OUT(450)	1,968.4	0.08
CEN(250)	2,037.6	0.14	OUT(500)	1,967.3	0.07

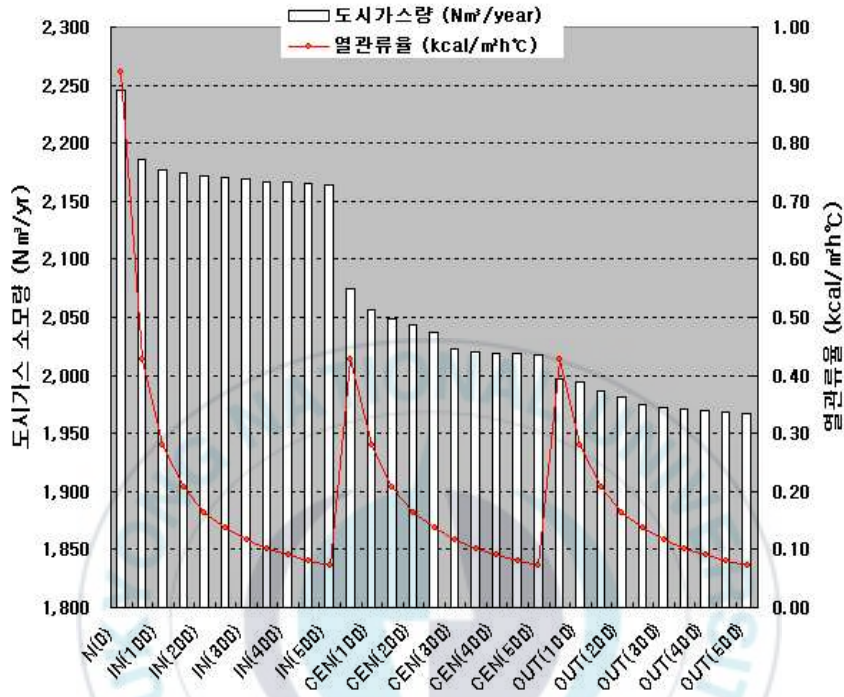


그림 4.3 난방용 도시가스 소모량과 열관류율

그림 8은 벽체의 단열형식별 난방용 도시가스 소모량과 열관류율을 그래프로 나타낸 것이다. 두 그래프를 비교해본 결과, 난방용 도시가스 소모량 그래프의 경우에는 열관류율 그래프보다 완만한 기울기를 보여주며, 단열재 두께 400mm 부터는 그래프 기울기의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

이는 운영에너지 측면에서 봤을 때, 단열재 두께 400mm가 단열재의 적정두께가 될 수 있으며, 벽체의 단열재를 외단열, 두께 400mm 이상으로 주거건물에 적용할 경우 약 12% 이상 에너지 저감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2.2 운영에너지에 의한 온실가스

벽체의 단열형식별 난방용 도시가스 소모량에 따른 온실가스 배출량은 IPCC에서 제시하고 있는 온실가스 추계방법론³⁴⁾에 의해 단위 온실가스 배출량을 연산하였으며, 도시가스의 단위 온실가스 배출량은 55.82kg/GJ로 산정하였다.

벽체의 단열형식별 운영에너지에 따른 온실가스 배출량을 비교한 결과, N(0)를 기준(100%)으로 했을 때, 적용된 단열재의 위치에 따라 외단열 500mm일 때 87.61%, 중단열 500mm일 때 89.85%, 내단열 500mm일 때 96.38% 순으로 온실가스 배출량 저감 효과가 높은 것으로 나타났다. 단열재의 설치 위치에 관계없이 적용된 단열재의 두께 500mm에서 가장 높은 온실가스 배출량 저감 효과를 보이는 것으로 나타났으며, 벽체의 단열형식별 비교 대상 30종 중에서 외단열, 두께 500mm가 87.61%로 가장 높은 이산화탄소 저감 효과를 보였다.

표 4.5는 벽체의 단열형식별 난방용 도시가스 소모에 따른 온실가스 배출량을 나타내고 있다.

34) 한국에너지경제연구원, IPCC 온실가스(GHG) 추계방법론, [http:// www.keei.re.kr/](http://www.keei.re.kr/), 2003.12

표 4.5 기간 난방소요 도시가스에 따른 온실가스배출량

비교 대상	보일러 부하 (Mcal /yr)	에너지 환산 (GJ/yr)	도시가스 단위CO ₂ 배출량 (kg/GJ)	연간CO ₂ 배출량 (kg/yr)	면적당CO ₂ 배출량 (kg/m ² yr)	비율 (%)
N(0)	22,455	94.02	55.82	5,247.93	38.74	100.00
IN(50)	21,858	91.52	55.82	5,108.43	37.71	97.34
IN(100)	21,774	91.16	55.82	5,088.64	37.57	96.96
IN(150)	21,745	91.04	55.82	5,081.90	37.52	96.84
IN(200)	21,719	90.93	55.82	5,075.90	37.47	96.72
IN(250)	21,705	90.87	55.82	5,072.57	37.45	96.66
IN(300)	21,688	90.80	55.82	5,068.67	37.42	96.58
IN(350)	21,671	90.73	55.82	5,064.61	37.39	96.51
IN(400)	21,660	90.69	55.82	5,062.13	37.37	96.46
IN(450)	21,651	90.65	55.82	5,059.93	37.36	96.42
IN(500)	21,643	90.61	55.82	5,058.05	37.34	96.38
CEN(50)	20,740	86.83	55.82	4,847.11	35.79	92.36
CEN(100)	20,569	86.12	55.82	4,807.05	35.49	91.60
CEN(150)	20,483	85.76	55.82	4,786.98	35.34	91.22
CEN(200)	20,432	85.55	55.82	4,775.19	35.25	90.99
CEN(250)	20,376	85.31	55.82	4,762.13	35.16	90.74
CEN(300)	20,223	84.67	55.82	4,726.36	34.89	90.06
CEN(350)	20,208	84.61	55.82	4,722.81	34.87	89.99
CEN(400)	20,194	84.55	55.82	4,719.45	34.84	89.93
CEN(450)	20,184	84.51	55.82	4,717.08	34.83	89.88
CEN(500)	20,176	84.47	55.82	4,715.31	34.81	89.85
OUT(50)	19,974	83.63	55.82	4,668.18	34.46	88.95
OUT(100)	19,938	83.48	55.82	4,659.60	34.40	88.79
OUT(150)	19,861	83.15	55.82	4,641.55	34.27	88.45
OUT(200)	19,813	82.95	55.82	4,630.51	34.19	88.24
OUT(250)	19,744	82.66	55.82	4,614.35	34.07	87.93
OUT(300)	19,723	82.57	55.82	4,609.34	34.03	87.83
OUT(350)	19,706	82.51	55.82	4,605.54	34.00	87.76
OUT(400)	19,694	82.45	55.82	4,602.59	33.98	87.70
OUT(450)	19,684	82.41	55.82	4,600.38	33.96	87.66
OUT(500)	19,673	82.37	55.82	4,597.73	33.94	87.61

4.3 전과정평가

연구에 적용된 벽체 단열재의 두께별 제조단계에서 발생하는 온실가스량과 단열형식별 운영단계에서 소모되는 난방용 도시가스량에 따른 온실가스량을 합산하여 전과정평가를 수행하였다.

전과정평가를 통한 비교 대상별 온실가스 배출량을 살펴 본 결과, 벽체에 단열재를 적용하지 않은 N(0)을 기준(100%)으로 했을 때, 내단열이며 두께 50mm인 IN(50)에서 97.95%, 중단열이며 두께 100mm인 CEN(100)에서 92.81%, 외단열이며 두께 50mm인 OUT(50)에서 89.56%와 같이 저감 효과가 높은 것으로 나타났다. 그 중에서 외단열이며 두께 50mm에서 가장 높은 저감 효과를 보였다.

그러나 벽체단열재의 설치 위치에 관계없이 최대 저감 효과를 보이는 지점을 지난 후, 단열재의 두께가 더 두꺼워질수록 저감 효과가 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 연구에 적용된 단열재의 높은 내재에너지에 의해 나타나는 현상으로 사료된다.

표 4.6과 그림 4.4는 벽체에 적용된 단열형식별 온실가스 전과정평가의 결과를 나타낸다.

표 4.6 벽체의 단열형식별 전과정 온실가스 배출량

대상	내재에너지 온실가스량 (kg/yr)	운영에너지 온실가스량 (kg/yr)	합계 (kg/yr)	비율 (%)
산식	A	B	C=A+B	
N(0)	0.00	5,247.93	5,247.93	100.00
IN(50)	31.707	5,108.43	5,140.14	97.95
IN(100)	63.414	5,088.64	5,152.05	98.17
IN(150)	95.121	5,081.90	5,177.02	98.65
IN(200)	126.828	5,075.90	5,202.73	99.14
IN(250)	158.535	5,072.57	5,231.10	99.68
IN(300)	190.242	5,068.67	5,258.91	100.21
IN(350)	221.949	5,064.61	5,286.56	100.74
IN(400)	253.656	5,062.13	5,315.78	101.29
IN(450)	285.363	5,059.93	5,345.29	101.86
IN(500)	317.070	5,058.05	5,375.12	102.42
CEN(50)	31.707	4,847.11	4,878.82	92.97
CEN(100)	63.414	4,807.05	4,870.47	92.81
CEN(150)	95.121	4,786.98	4,882.10	93.03
CEN(200)	126.828	4,775.19	4,902.02	93.41
CEN(250)	158.535	4,762.13	4,920.66	93.76
CEN(300)	190.242	4,726.36	4,916.60	93.69
CEN(350)	221.949	4,722.81	4,944.76	94.22
CEN(400)	253.656	4,719.45	4,973.11	94.76
CEN(450)	285.363	4,717.08	5,002.44	95.32
CEN(500)	317.070	4,715.31	5,032.38	95.89
OUT(50)	31.707	4,668.18	4,699.89	89.56
OUT(100)	63.414	4,659.60	4,723.01	90.00
OUT(150)	95.121	4,641.55	4,736.67	90.26
OUT(200)	126.828	4,630.51	4,757.34	90.65
OUT(250)	158.535	4,614.35	4,772.89	90.95
OUT(300)	190.242	4,609.34	4,799.58	91.46
OUT(350)	221.949	4,605.54	4,827.48	91.99
OUT(400)	253.656	4,602.59	4,856.25	92.54
OUT(450)	285.363	4,600.38	4,885.74	93.10
OUT(500)	317.070	4,597.73	4,914.81	93.65

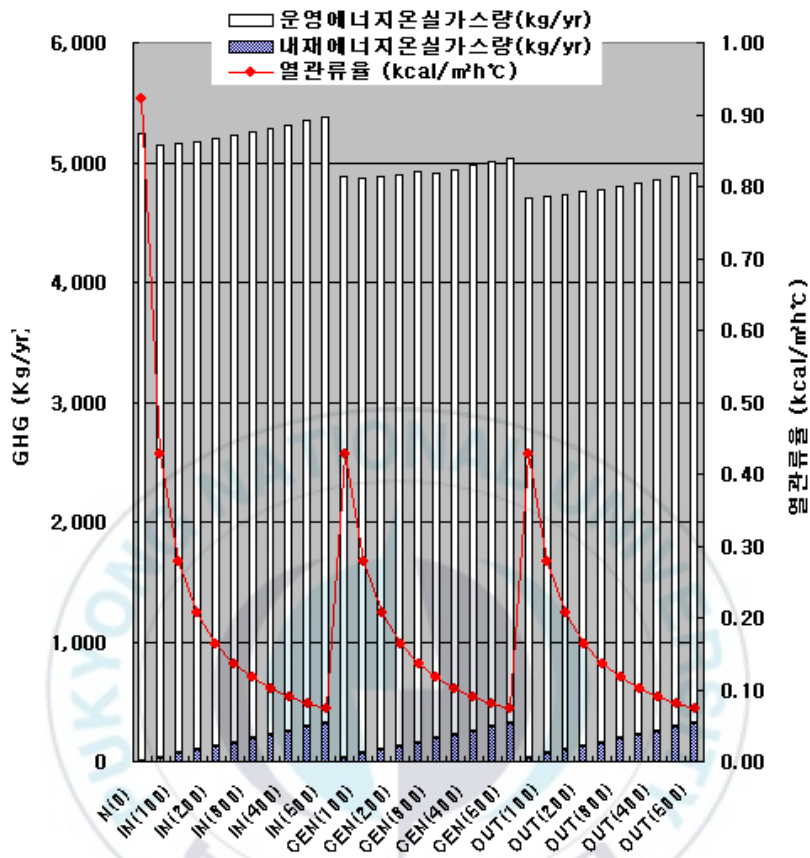


그림 4.4 벽체의 단열형식별 전과정평가

5. 결 론

건물의 환경부하를 저감시키기 위한 방안의 기초 자료 제시를 위하여 단독주택의 건축환경적(Passive Method) 제어요소 중 하나인 벽체단열형식에 따른 비교 대상 30종의 운영에너지 및 단열재의 내재에너지에 의한 온실가스 전과정평가를 수행한 결과는 다음과 같다.

(1) 내재에너지 소모에 의한 온실가스 배출량은 IPCC에서 제시하고 있는 경유의 탄소배출계수, 건물 수명 50년을 적용하여 산정한 결과, 내재에너지 소모에 의한 온실가스 배출량은 단열재의 두께 증가에 따른 체적 증가에 비례하며, 0.0kg/yr에서 317.07kg/yr까지 증가하는 것으로 나타났다.

(2) 벽체의 단열형식별 운영에너지에 따른 이산화탄소 배출량을 비교한 결과, N(0)을 기준(100%)으로 했을 때, 외단열 500mm에서 87.61%로 이산화탄소배출 저감 효과가 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 단열재의 두께별 온실가스 배출량 그래프는 열관류율 그래프보다 완만한 기울기를 보이며, 단열재의 위치에 관계없이 단열재의 두께 400mm 이상부터는 변화가 미미한 것으로 나타났다.

(3) 반면, 온실가스 전과정평가를 통해 살펴본 결과, N(0)을 기준으로 단열재 위치별 IN(50), CEN(100), OUT(50)에서 97.95%, 92.81%, 89.56%의 높은 저감 효과를 나타내다가 단열재 두께가 두꺼워질수록 다시 저감 효과가 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 연구 적용 단열재의 높은 내재에너지에 의해 나타나는 현상으로 사료되며, 건축물의 환경성능 평가시 전과정평가의 필요성을

시사한다.

본 연구를 통해, 벽체단열형식의 변화에 따라 건물의 환경부하를 최대 12%까지 절감할 수 있을 것으로 판단되며, 건물의 환경성능평가지 단열재의 높은 내재에너지와 운영에너지를 고려한 전과정평가가 필요한 것으로 판단된다.

이상은 벽체 단열재 중에서 한 종류의 단열재만을 적용한 모델 건물의 에너지 해석에 의한 결과이므로 실제와 다소의 오차가 있을 수 있다. 향후 다양한 종류의 단열재를 적용한 비교연구와 실건물에 적용한 사례연구가 필요할 것으로 사료된다.



참 고 문 헌

1. 정근주, 김동완, 임영빈, 네트워크다이아그램기법을 이용한 프로토타입 그린 빌딩 환경성능 평가프로그램 구축 연구, 대한건축학회 논문집 20권 11호, 2004.11
2. 홍성희, 장문석, 박효순, 양관섭, 공동주택의 에너지소비원단위 설정 연구, 대한건축학회 논문집 17권 12호, 2001.12
3. 황용우, LCA의 국내외 동향 및 향후 추세, 대한환경공학회 전과정평가 전문위원회 정기세미나 논문집, 2000
4. 김병선, 국내외 친환경 인증제도의 발전과정 및 사례 비교 분석, 대한건축학회 친환경건축인증 워크샵, 2005.2
5. 유호천, 건축산업에서의 전과정평가(LCA)의 적용, Journal of the KGBC 3권 3호, 2002.9
6. 김종엽, LCA에 의한 건축물의 환경성능평가 동향 및 과제, 주택도시 76호, 2003
7. 조동우 외 8명, 금강종합건설, 건축물의 단열설계 및 시공시스템 개발 연구, 1997.4
8. 한국건설기술연구원, 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램개발연구, 2002
9. 황용우 외, 환경전과정평가(Environmental Life Cycle Assessment), 시그마프레스, 1998
10. 박창섭, 박민용, 임영빈, 최정민, 이경희, 김종민, 건축환경계획, 보성각, 2005.3

11. Hiroshi Yoshino, Yasuko Yoshino, Qingyuan Zhang, Akashi Mochida, Nianping Li, Zhenhai Li and Hiroyuki Miyasaka, Indoor thermal environment and energy saving for urban residential buildings in China, *Energy and Buildings*, Volume 38, Issue 11, 2006.11
12. Randall Thomas, *Environmental Design*, 2nd ed, E&FN Spon, 1996
13. Alcon, J. A. Embodied Energy Coefficients If Building Materials, Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington. 1996
14. Building Environmental Science &Technology [www. greenbuilder. com/sourcebook/Insulation.html](http://www.greenbuilder.com/sourcebook/Insulation.html), 2006.6
15. US Department of energy, EnergyPlus V1-2-2, [http://www.eere. energy.gov/](http://www.eere.energy.gov/), 2005.2
16. SAREK, 1996.05, Handbook of HVAC-II, <http://www.sarek.or.kr/>, p. II -45
17. Canadian architect, http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives_sustainability/measures_of_sustainability/measures_of_sustainability_embodied.htm, 2006
18. EPA, The Use of Life Cycle Assessment in Environmental Labelling, 1993
19. ISO 14040, Environmental management-Life Cycle Assessment -Principles and framework, 1997

The Green House Gases Life Cycle Assessment on the Wall Insulation Type of Housing Model

by Geun-Sug Oh

Department of Architectural Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

Buildings are high consumers of energy and therefore have a significant impact on the global environment. The aim of this study is to determine ways to reduce the Green House Gases(GHG) given off by the heating energies of model building and the embodied energy of Insulation within walls. Compared with the apartment and a housing, because a housing surrounded 4 side of air, energy loss of the housing is more than the apartment's. The tool of this study is EnergyPlus program and IPCC's Life Cycle Assessment(LCA) method. According to this study, an GHG emissions of the Exterior Insulation-THK 400mm Type is showed approximately 12% reduction in GHG for heating in this housing model lower than the type of non Insulation within walls. But when the Embodied energy is included, The Exterior Insulation-THK 50mm Type's GHG emissions is approximately 10% lower than non insulation structure in the LCA including Embodied energies. Finally, this paper presented a method of comprehensive environmental load which is related to the passive design.

감 사 의 글

오늘의 결실을 맺도록 관심과 격려로서 저를 학문의 길로 인도하여 주신 임영빈 지도교수님께 진심으로 감사드립니다.

논문의 보다 높은 완성도를 위해 부족한 점을 꼼꼼히 살펴 주시고, 지도·심사하여 주신 이수용 교수님과 박천석 교수님, 김영찬 교수님, 이재용 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 건축공학도이기에 부족한 건축학적 지식을 학문에 관한 열정으로 채워주신 류종우 교수님, 조홍정 교수님, 신용재 교수님, 김기환 교수님, 조영행 교수님, 오장환 교수님, 홍성민 교수님, 노지화 교수님께 존경과 감사를 드립니다.

이 논문이 완성되기까지 논문의 마지막장까지 살펴주시며, 지도와 격려를 아끼지 않으신 김동완 박사님, 정근주 박사님, 조성우 박사님께 감사드리며, 건축환경·설비연구회 선·후배, 동기님들께 깊은 감사를 드립니다.

안쌤, 전쌤을 비롯한 10공학과 5층에 계신 여러분, 덕분에 정말 행복했습니다. 깊은 감사를 전합니다. 어디에 있더라도 여러분 행복하세요.

매번 바쁘다는 핑계로 소홀히 했지만, 때마다 나의 안부를 챙겨준 나의 소중한 친구들아, 고맙다.

마지막으로, 저를 사랑과 헌신으로 보살펴주신 할머니와 부모님, 편안하게 학업에 열중할 수 있도록 항상 뒤에서 부족한 점을 채워주신 사랑하는 나의 형제·자매들과 형부에게 고마움을 전합니다.

좁은 지면이라 감사하는 모든 분들께 일일이 감사의 마음을 전하지는 못하지만 2년여 동안 저를 도와주신 많은 고마운 분들이 계셨다는 것을 항상 가슴 깊이 새기겠습니다. 진심으로 감사드립니다.

2006년 11월

오 근 숙