공동주택 단열설계기준의 변천

단열설계 개념의 도입부터 제로에너지 시대까지

글 박철용 / 건축기술팀 차장 **전화** 02-3433-7741 **E-mail** cypark@ssyenc.com

01. 머리말

1970년대부터 이어져온 환경론자와 개발론자들 사이의 갈등은 1992년 리우데자네이루에서 '지속가능한 개발'에 대한 세계 각국의 논의와 선언으로 건축에도 그 영향을 미치게 되었다. 이에 각국은 '생태환경', '지속가능한 건축', '환경친화 건축' 등 다양한 친환경 건축에 대한 연구를 시도하기에 이르렀다. 초기의 친환경 건축은 건축의 활동 자체가 환경을 파괴하는 행위이므로 건축 활동을 최소화시켜야 한다는 소극적 친환경 건축과 건축의 환경에 대한 부하를 인정하되 건축활동을 수행함과 동시에 그로 인해 파괴된 환경의 복원을 함께 하는 적극적 친환경 건축의 두가지 서로 다른 개념이 대립하는 양상이었으나 점차 지속가능한 건축이라는 통합적 개념으로 발전하게 되었다.

지속가능한 건축이란 건축물의 생산에 있어서 자재의 원료 추출과 생산, 건물의 시공과 사용 및 폐기 단계까지 전생애기간 동안 에너지와 자원을 절약하고, 수명이 다한 건물의 재사용 또는 부품의 재활용을 통하여 자원절약과 환경오염 방지를 할 수 있는 건축을 말하며, 이 과정에서 건축물을 생태계의 일부로 만들어 물, 공기, 토양 등 자연의 순환체계를 거스르지 않는 것은 물론 지역의 문화와 장소성을 보전하고 보다 쾌적한 실내환경을 유지하도록 하는 것까지 포함한다. 더 나아가 이러한 건축개념을 토대로 1990년 영국 'BREEAM'을 시작으로 1998년 미국 'LEED', 2002년 국내 '친환경건축물 인증제도(2013년 녹색건축 인증제도:G-SEED로 개정), 2006년 싱가포르 'Green Mark' 등 건축물의 환경성능에 대한 평가기준이 마련되어 각국의 실정에 맞게 시행되고 있다.

특히 UN IPCC 제5차 기후변화평가보고서(2014년)에 따르면 21세기 말까지 산업화 이전에 대비해 지구의 평균기온 상승을 2℃ 이내로 억제하기 위해서는 전세계 온실가스 배출량을 2050년까지 2010년 대비 최대 70%까지 감축해야 하는 것으로 나타났고, 이와 같이 기후변화로 위협받는 지구와 인류의 지속가능성을 확보하기 위해 세계 각국이 '기후변화협약'(1994년)을 비준하였으며, 각 나라마다 온실가스 배출량 감축목표를 설정하고 이를 이행하는 조치를 시행하고 있다. 이에 대한 건축물 분야의 대책으로 제로에너지 건축물이 주요 정책으로 대두되고 있다.

이에 본 원고에서는 제로에너지 공동주택을 구현함에 있어 가장 기본이라 할 수 있는 단열설계기준의 변천과정을 살펴보고, 단열설계기준의 변천이 건축물 에너지절약설계 및 제로에너지 공동주택 구현에 미치는 영향 등을 살펴보았다.

02. 단열설계기준의 변천

2.1 건축법 시행규칙, 1979.9.5.

국내 단열설계기준은 1979년 9월 5일 건축법 시행규칙 제25조(건축물의 열손실 방지를 위한 조치) 개정을 통하여 최초로 신설되었다. 이 규정에서는 별표에서 정하는 두께 이상의 단열재를 사용하거나 또는 주거용 건축물의 외벽은 열관류율 0.9 kcal/㎡h℃ 이하, 주거용 건축물 이외의 건축물의 외벽은 열관류율 1.8 kcal/㎡h℃ 이하, 최상층의 반자는 열관류율 0.9 kcal/㎡h℃ 이하, 난방을 필요로 하는 최하층의 바닥은 열관류율 1.5 kcal/㎡h℃ 이하가 되는 구조로 규정하였으며, 주거용 건축물의 경우에는 외기에 면하는 창은 이중창 또는 복층유리로 시공하도록 규정하였다.

2.2 건축법 시행규칙, 1980.12.22.

1980년 12월 22일 개정을 통하여 주거/비주거 구분을 없애고 부위별 기준으로 통일하고 기준값을 상향하는 방향으로 강화하였다. 거실의 외벽과 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕은 열관류율 0.5 kcal/㎡h℃ 이하 또는 별표 두께, 최하층에 있는 거실의 바닥은 열관류율 1.0 kcal/㎡h℃ 이하 또는 별표 두께의 1/2 이상, 거실의 외기에 면하는 창은 이중창 또는 복층유리 그리고 열관류율 3.0 kcal/㎡h℃ 이하를 신설하였다.

2.3 건축법 시행규칙, 1982.10.30.

1982년 10월 30일 전면 개정을 통하여 제19조로 변경되었으며, 건축물의 열손실방지조치 완화구역을 설정하여 연면적 1,000㎡ 미만은 적용 제외하였으며, 거실의 외기에 면하는 창, 출입문 및 공동주택의 세대별 출입문은 기밀성능을 확보하도록 하였다.

2.4 건축법 시행규칙, 1984.3.28.

1984년 3월 17일 제19조의 전면 개정을 통하여 완화구역을 제주도로 한정하였으며, 열관류율 기준과 두께 기준을 구분하여 별표로 규정하였고, 온수온돌로 난방을 하는 공동주택에서 세대별 온수보일러를 설치하는 경우에는 거실의 바닥은 열관류율 1.0 kcal/㎡h℃ 이하 또는 단열재 20㎜를 시공하도록 규정하였다.

[표 1] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(1984.3.28.) (단위 : kcal/㎡h℃)

부위별 \ 지역별	제주도 이외	제주도
거실의 외벽 최상층 거실의 반자 또는 지붕 최하층 거실의 바닥	0.5 이하	1.0 이하
공동주택의 측벽	0.4 이하	0.8 이하

2.5 건축법 시행규칙, 1987.7.21.

1987년 7월 21일 개정을 통하여 지역 구분을 중부, 남부, 제주도로 3개 지역으로 틀을 갖추었으며, 외기에 면하는 창의 열관류율 기준 또한 3개 지역을 다르게 규정하였을 뿐 아니라 연면적 5,000㎡ 이상인 비주거 건축물의 창 및 출입문에 대한 기밀성능을 신설하였고, 에너지절약계획서 서식을 최초로 규정하였다.

[표 2] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(1987.7.21.) (단위 : kcal/㎡h℃)

부위별 \ 지역별	중부	남부	제주도
거실의 외벽 최하층 거실의 바닥	0.50 이하	0.65 이하	1.00 이하
최상층 거실의 반자 또는 지붕	0.35 이하	0.45 이하	0.65 이하
공동주택의 측벽	0.40 이하	0.60 이하	0.70 이하
거실의 외기에 면하는 창	2.90 이하	3.10 이하	5.00 이하

2.6 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 1992.6.1.

1982년 6월 1일 건축설비의 설치에 관한 기술적 기준과 건축물의 열손실 방지 및 에너지의 합리적인 이용 등에 관한 사항을 규정하고자 본 규칙이 제정되었으며, 건축물의 열손실방지에 대한 규정은 제21조(건축물의 열손실방지)로 전체 이관되었다.

2.7 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2001.1.17.

외기 직접 및 외기 간접, 바닥난방인 경우와 바닥난방이 아닌 경우 등과 같이 현재와 같은 틀을 갖추었을 뿐 아니라 ISO 단위로 통일한 시기이다. 더불어 열관류율표만 남기고 용도별 8종의 에너지절약설계기준을 "건축물의 에너지절약설계기준"으로 통합하고 단열재 등급 구분에 따라 두께 기준을 신설하는 등 체계를 갖추게 되었다.

[표 3] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(2001.1.17.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별			중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접		0.47 이하	0.58 이하	0.76 이하
	외기 간접		0.64 이하	0.81 이하	1.10 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접		0.29 이하	0.35 이하	0.41 이하
	외기 간접		0.41 이하	0.52 이하	0.58 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	바닥난방	0.35 이하	0.41 이하	0.47 이하
		그 외	0.41 이하	0.47 이하	0.52 이하
	외기 간접	바닥난방	0.52 이하	0.58 이하	0.64 이하
		그 외	0.58 이하	0.64 이하	0.76 이하
공동주택의 측벽			0.35 이하	0.47 이하	0.58 이하
공동주택 층간바닥	바닥난방		0.81 이하		
	그 외		1.16 이하		
창 및 문	외기 직접		3.84 이하	4.19 이하	5.23 이하
	외기 간접		5.47 이하	6.05 이하	7.56 이하

2.8 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2008.7.10.

큰 변화없이 창 및 문의 열관류율을 공동주택과 공동주택 외로 구분하였으며, 상대적으로 낮게 설정되어 있던 열관류율 기준을 강화하였다.

[표 4] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(2008.7.10.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별			중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접		0.47 이하	0.58 이하	0.76 이하
	외기 간접		0.64 이하	0.81 이하	1.10 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접		0.29 이하	0.35 이하	0.41 이하
	외기 간접		0.41 이하	0.52 이하	0.58 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	바닥난방	0.35 이하	0.41 이하	0.47 이하
		그 외	0.41 이하	0.47 이하	0.52 이하
	외기 간접	바닥난방	0.52 이하	0.58 이하	0.64 이하
		그 외	0.58 이하	0.64 이하	0.76 이하
공동주택의 측벽			0.35 이하	0.47 이하	0.58 이하
공동주택 층간바닥	바닥난방		0.81 이하		
	그 외		1.16 이하		
창 및 문	외기 직접	공동주택	3.00 이하	3.30 이하	4.20 이하
		그 외	3.40 이하	3.80 이하	4.40 이하
	외기 간접	공동주택	4.30 이하	4.70 이하	6.00 이하
		그 외	4.60 이하	5.30 이하	6.30 이하

2.9 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2009.10.20.

사업계획승인을 받아야 하는 공동주택을 대상으로 기존 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 및 건축물의 에너지절약설계기준과는 별도로 본 고시를 제정하였으며, 전용면적 60㎡ 초과하는 경우 단위세대의 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량을 15% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 다음 조건을 충족하도록 하였다. 다만, 최상층, 최하층 및 층간바닥에 대한 요구조건이 없어 기존 법규를 따르는 이중적인 형태로 운영되었다.

[표 5] 친주 열관류율표(2009.10.20.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		혹한지역 중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.36 이하	0.45 이하	0.58 이하
	외기 간접	0.49 이하	0.63 이하	0.85 이하
공동주택의 측벽		0.27 이하	0.36 이하	0.45 이하
창	외기 직접	1.80 이하	2.10 이하	2.80 이하
	외기 간접	2.80 이하	3.10 이하	3.70 이하

2.10 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2010.10.1.

2010년 6월 30일 개정을 통하여 전용면적 60㎡ 초과하는 경우 단위세대의 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량을 20% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 다음 조건을 충족하도록 강화되었다. 다만, 여전히 최상층, 최하층 및 층간바닥에 대한 요구조건이 없어 기존 법규를 따르는 이중적인 형태로 시행되었다.

[표 6] 친주 열관류율표(2010.10.1.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		혹한지역 중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.30 이하	0.37 이하	0.55 이하
	외기 간접	0.40 이하	0.55 이하	0.70 이하
공동주택의 측벽		0.22 이하	0.30 이하	0.37 이하
창	외기 직접	1.40 이하	1.60 이하	2.00 이하
	외기 간접	2.80 이하	3.00 이하	3.30 이하

2.11 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2012.11.1.

2012년 9월 27일 개정을 통하여 전용면적 60㎡ 초과하는 경우 단위세대의 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량을 30% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 다음 조건을 충족하도록 강화되었으며, 세대 현관문 및 세대 내 방화문에 대한 기준을 신설하였다. 다만, 여전히 최상층, 최하층 및 층간바닥에 대한 요구조건이 없어 기존 법규를 따르는 이중적인 형태로 시행되었다.

[표 7] 친주 열관류율표(2012.11.1.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		혹한지역 중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.25 이하	0.32 이하	0.50 이하
	외기 간접	0.32 이하	0.47 이하	0.62 이하
공동주택의 측벽		0.20 이하	0.28 이하	0.35 이하
창	외기 직접	1.20 이하	1.50 이하	1.80 이하
	외기 간접	2.10 이하	2.30 이하	2.80 이하
세대 현관문 세대내 방화문	외기 직접	1.40 이하		
	외기 간접	1.80 이하		

2.12 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2015.3.31.

2014년 12월 30일 개정을 통하여 전용면적 60㎡ 초과하는 경우 단위세대의 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량을 40% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단

열설계는 최상층 및 최하층까지 포함하여 다음 조건을 충족하도록 강화되었는데, 아직까지 층간바닥에 대한 기준은 생략되었다.

[표 8] 친주 열관류율표(2015.3.31.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별			중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접		0.21 이하	0.28 이하	0.46 이하
	외기 간접		0.28 이하	0.43 이하	0.58 이하
공동주택의 측벽			0.17 이하	0.25 이하	0.32 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접		0.18 이하	0.22 이하	0.28 이하
	외기 간접		0.26 이하	0.31 이하	0.40 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	바닥난방	0.23 이하	0.28 이하	0.33 이하
		그 외	0.29 이하	0.33 이하	0.39 이하
	외기 간접	바닥난방	0.35 이하	0.40 이하	0.47 이하
		그 외	0.41 이하	0.47 이하	0.55 이하
창	외기 직접		1.00 이하	1.20 이하	1.60 이하
	외기 간접		1.90 이하	2.10 이하	2.50 이하
세대 현관문 세대내 방화문	외기 직접		1.40 이하		
	외기 간접		1.80 이하		

2.13 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2017.12.15.

2017년 6월 15일 개정을 통하여 평균전용면적 70㎡ 초과하는 경우 단지 내 단위면적당 1차에너지소요량 또는 이산화탄소 배출량을 60% 이상, 60~70㎡인 경우 55% 이상, 60㎡ 이하인 경우 50% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 층간바닥까지 포함하여 다음 조건을 충족하도록 강화되었다.

[표 9] 친주 열관류율표(2017.12.15.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		중부1	중부2	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.29 이하
	외기 간접	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.41 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접	0.15이하		0.18 이하	0.25 이하
	외기 간접	0.21 이하		0.26 이하	0.35 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.29 이하
	외기 간접	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.41 이하
바닥난방인 층간바닥		0.81 이하			
창	외기 직접	0.90 이하	1.00 이하	1.20 이하	1.60 이하
	외기 간접	1.30 이하	1.50 이하	1.70 이하	2.00 이하
세대 강재문	외기 직접	1.40 이하			
	외기 간접	1.80 이하			

2.14 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2018.9.3.

2018년 9월 3일 개정을 통하여 거실 내 방화문을 외기에 직접 면하는 세대 현관문과 같은 열관류율(1.4 이하)로 규정하였다.

2.15 에너지절약형 친환경 주택의 건설기준, 2019.7.1.

2018년 12월 26일 개정을 통하여 고시명을 개정하였으며, 평균전용면적에 따라 절감률을 다르게 규정하고 있던 것을 전용면적에 관계없이 60% 절감하도록 통일하였으며, 창의 열관류율 및 제주도 기준을 강화하였다.

[표 10] 친주 열관류율표(2019.7.1.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		중부1	중부2	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.25 이하
	외기 간접	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.35 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접	0.15이하		0.18 이하	0.25 이하
	외기 간접	0.21 이하		0.26 이하	0.35 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.29 이하
	외기 간접	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.41 이하
바닥난방인 층간바닥		0.81 이하			
창	외기 직접	0.90 이하		1.00 이하	1.50 이하
	외기 간접	1.20 이하	1.50 이하	1.70 이하	
세대 현관문	외기 직접	1.40 이하			
	외기 간접	1.80 이하			
거실 내 방화문		1.40 이하			

2.16 에너지절약형 친환경 주택의 건설기준, 2021.7.1.

2021년 6월 3일 개정을 통하여 단지 내 1차에너지소요량을 건축물 에너지효율등급 1+등급 이상(120 kWh/㎡·yr 미만)으로 규정하였다.

2.17 제로에너지 건축물 인증기준, 2017.1.20.

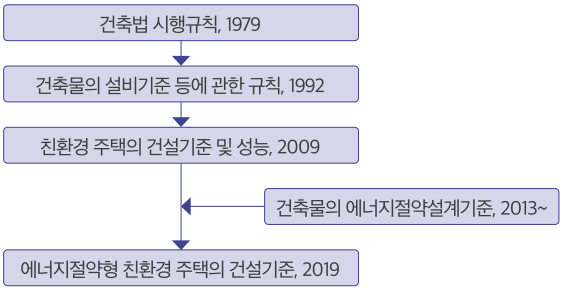
2017년 1월 20일 제정된 제로에너지 건축물 인증기준에 따르면, 건축물 에너지효율등급 1++등급 이상을 만족하고, 건물에너지관리시스템(BEMS) 또는 원격검침전자식계량기 등 에너지 모니터링 시스템이 설치된 건축물에 대해 신재생에너지를 통한 에너지 자립률을 기준으로 5개 등급으로 평가하고 있다.

[표 11] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(1984.3.28.)

등급	에너지 자립률
1	100% 이상
2	80% 이상
3	60% 이상
4	40% 이상
5	20% 이상

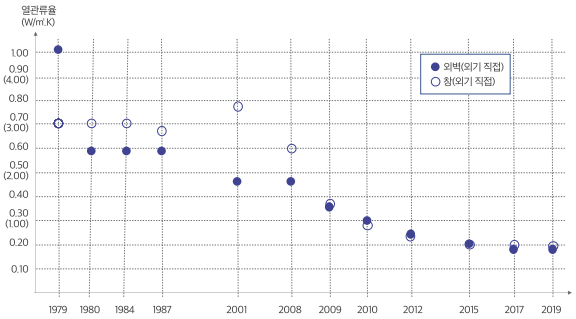
이상과 같이 공동주택의 단열설계기준은 [그림 1]에 나타나 있듯이 건축법 시행규칙의 조항으로 최초 규정된 이래 에너지 절약형 친환경 주택의 건설기준으로 온전한 고시로 시행되기에 이르렀다.

[그림 1] 단열설계기준의 변천사



이러한 과정에서 주요 부위라 할 수 있는 외벽(외기 직접)과 창(외기 직접)만을 대상으로 시기적으로 열관류율의 변화를 정리하면 [그림 2]와 같이 2001년 개정을 통하여 외벽의 열관류율은 대폭 강화되었지만 창호의 열관류율은 완화된 것으로 나타났으며, 2008년 개정을 통하여 창호의 열관류율이 강화되는 방향으로 조정되었고, 2012년 개정을 통하여 큰 폭으로 강화된 이후 경미하게 강화되는 경향을 보이면서 현재에 이르고 있다.

[그림 2] 연도별 열관류율 변화



03. 시기별 국내 기준 분석

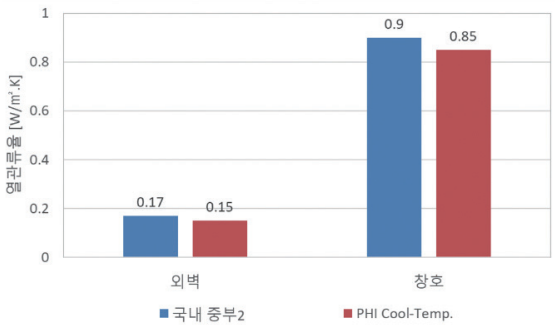
3.1 패시브하우스 기준과의 비교

국내의 단열설계기준은 앞에서 살펴본 바와 같이 최초에는 외벽의 열관류율만을 규정하고 창은 시방기준으로 제시하였는데, 창(외기 직접)의 열관류율은 3.5 W/m².K 이하로 규정된 이래 계속 강화되어 0.9 W/m².K 이하까지 낮춰졌으며, 외벽(외기 직접)의 열관류율 또한 1.04 W/m².K 이하로 규정된 이래 0.17 W/m².K 이하(중부2)까지 강화되었다. 이러한 최근 개정 기준을 [표 12]에 나타나 있는 독일의 패시브하우스 기준과 비교할 경우 외벽과 창호 열관류율은 [그림 3]과 같이 모두 약간 높은 수준임을 알 수 있다. 다만, 패시브하우스 기준에서는 창틀과 유리에 대한 기준(0.8 W/m².K 이하) 을 각각 요구하고 있을 뿐 아니라 태양열 차폐계수(SHGC)를 요구하고 있는데, 국내 기준에서는 별도로 요구하고 있지 않음이 차이가 있다.

[표 12] 독일 패시브하우스 기준(2016)

Climate zone according to PHPP	Opaque envelope1 against…				Windows (including exterior doors)					Ventilation	
	…ground	…ambient air			Overall[4]			Glazing[5]	Solar load[6]		
	Insu-lation	Exterior insulation	Interior in sulation[2]	Exterior paint[3]	Max. heat transfer coefficient ($U_{D(w,rstated)}$)			Solar heat gain coefficient (g-value)	Max. specific solar load during cooling period	Min. heat recovery rate[7]	Min. humidity recovery rate[8]
	Max. heat transfer coefficient (U-value)			Cool colours							
	[W/(m²K)]			-	[W/(m²K)]			-	[kWh/m²a]	%	
Arctic	Deter-mined in PHPP from project specific heating and cooling degree days against ground.	0.09	0.25	-	0.45	0.50	0.60	Ug-g*0.7≤0	100	80%	-
Cold		0.12	0.30	-	0.65	0.70	0.80	Ug-g*1.0≤0		80%	-
Cool-temperate		0.15	0.35	-	0.85	1.00	1.10	Ug-g*1.6≤0		75%	-
Warm-temperate		0.30	0.50	-	1.05	1.10	1.20	Ug-g*0.28 ≤-1		75%	-
Warm		0.50	0.75	-	1.25	1.30	1.40	-		-	-
Hot		0.50	0.75	Yes	1.25	1.30	1.40	-		-	60 % (humid climate)
Very hot		0.25	0.45	Yes	1.05	1.10	1.20	-		-	60 % (humid climate)

[그림 3] 국내 기준과 패시브하우스 기준 비교



3.2 1개동 단위 평균 열관류율 변화

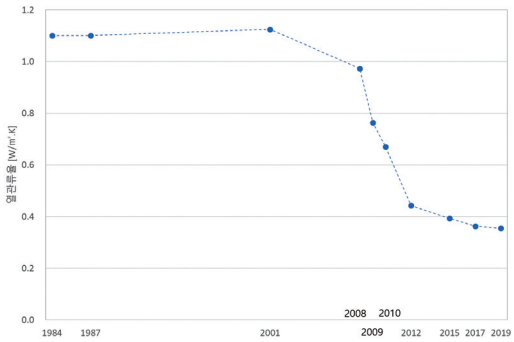
다음 그림과 같은 프로젝트에서 1개층 4호 세대 25층으로 계획된 1개동을 선정하여 외벽(창 포함), 최상층, 최하층을 아우르는 전체 외피의 평균 열관류율을 시기별 국내 단열설계기준을 적용하여 계산한 결과를 분석해 보았다.

[그림 4] 분석 대상 공동주택 개요

세대수 : 727세대
대지면적 :41,066.50m²
건축면적 : 6,775.10m²
연면적 : 100,977.34m²
주거부분 전용면적 : 59,249.11m²
규모 : 지상 18~21층(9개동)

분석결과 [그림 5]와 같이 단열설계기준이 어느 정도 틀을 갖춰진 것으로 평가할 수 있는 1984년에는 1.101 W/m².K 수준이었다가, 현재와 같은 단열설계기준의 시초라 할 수 있는 2001년에는 1.125 W/m².K 수준으로 약간 높아지는 기현상이 발생하였다. 그 이후 저탄소 녹색성장이 국가비전으로 제시되면서 친환경 건축물 이슈가 강하게 대두되었고 더불어 건축물 에너지절약설계의 중요성이 높아져 큰 폭의 개정이 연단위로 이루어졌고, 2012년 정점을 찍었다고 볼 수 있다. 그 이후 2년마다 개정을 통하여 경미한 강화가 이루어져 현재 0.354 W/m².K 수준이며, 1984년과 비교하여 32% 수준으로 낮아졌다.

[그림 5] 연도별 건축물 평균 열관류율 변화



04. 제로에너지 공동주택을 향하여…

국내 제로에너지 건축물 인증은 한국에너지공단에서 수행하고 있으며, 2021년 1월 기준으로 684개 프로젝트가 인증을 받은 것으로 확인되었다.[2] 이 중 약 4%에 해당하는 27개 프로젝트가 준공 후 본인증까지 받았으며, 등급별 프로젝트 개수는 다음 표와 같고, 완전한 제로에너지 건축물에 해당하는 1등급은 19개 프로젝트가 있다. 건축물의 용도별로 구분해 보면, 주거용이 21건이고 비주거용이 663건이며, 주거용은 단독주택, 공동주택, 임대주택 등이고, 비주거용은 업무시설, 수련시설, 근린생활시설, 교육연구시설, 문화 및 집회시설, 공장, 운동시설 등으로 다양하다.

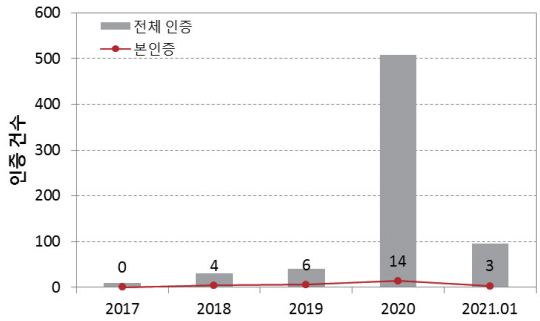
[표 13] 제로에너지 건축물 인증 개수

등급	프로젝트 개수	비율, %
ZEB 1	19 (4)	2.8
ZEB 2	14 (4)	2.0
ZEB 3	40 (5)	5.8
ZEB 4	129 (3)	18.9
ZEB 5	482 (11)	70.5

※ 괄호 안은 본인증 건수임.

상기 684개 인증 프로젝트를 연도별로 정리하면 다음 그림과 같이 2017년 10건으로 시작해서 2018년 30건, 2019년 41건으로 거의 정체되어 있다가 2020년 연면적 1,000m² 이상의 공공건축물이 의무적으로 인증을 받기 시작하면서 508건으로 급증하였으며, 2021년 1월 작년의 20% 해당하는 95건이 인증을 받았다.

[그림 6] Number of ZEB Project by Year



본인증 현황은 2018년 4건, 2019년 6건, 2020년 14건, 2021년 3건 등으로 상대적으로 저조한 실적을 보이고 있는데, 이것은 제도적 미비점으로 설계단계에서 예비인증을 받는 것은 의무이지만, 준공단계에서 본인증을 받는 것은 의무가 아닌 것으로 인식되고 있음을 의미한다고 볼 수 있으며, 따라서 앞 절에서 살펴본 외국 인증제도처럼 해석결과가 아닌 1년 사용량을 기준으로 인증을 부여하는 방법을 고려할 필요가 있다.

다만, 외국 인증제도가 정부 정책이 아닌 부가적인 인증제도로 운영되고 있는 것과 달리 국내 인증제도는 정부 정책으로 활용되고 있으므로 예비인증과 1년 사용량을 기준으로 인증해 주는 본인증이 혼용될 수 있는 적절한 방법론이 개발되어야 할 것이다.

주거용 건축물인 세종시 4-2 생활권 내에 위치하고 있는 공동주택을 대상으로 제로에너지 건축물 인증을 구현하기 위한 방법론을 살펴본 자료[3]에 따르면, 먼저 다음 그림과 같은 기본 모델을 대상으로 에너지절약형 친환경 주택 건설기준을 따를 경우 1차에너지 소요량은 122.7 kWh/(㎡.a)로 평가되어 에효 1등급 수준으로 나타났다.

[그림 7] Overview of Reference Model

Master plan	Outline
	Location: Sejong-si 4-2block Lot area: 32,026㎡ Gross area: 84,670㎡ -Underground: 28,634㎡ -Ground: 56,035㎡ Basement 2story, ground 29story Number of household: 9 buildings 612 units (60㎡이상) Parking: 782 cars Basic Design Performance Flat-type 6 buildings Tower-type 2 buildings percentage of sunshine: 88.23% window areas rate 20%

여기에, 추가 투입비용을 1차에너지 소요량 절감수치로 나눈 비용효율지수(CEI, Cost Efficiency Index)라는 개념을 도입하여 우선순위를 산출한 결과는 다음 표와 같다. 이로부터 제로에너지 건축물을 구현하기 위한 기술적 접근은 LED 조명기기 등을 사용하여 조명밀도를 낮추는 것이 최우선이며, 그 다음으로 신재생에너지 적용으로 나타났고, 패시브 기술에 해당하는 고성능 단열재와 고단열 창세트 등은 비용효율지수가 낮은 것으로 나타났다.

이러한 기술적 접근의 우선순위 분석결과를 이용하여 제로에너지 건축물(ZEB) 인증을 받기 위한 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음 표와 같다. 조명밀도 5 W/㎡ 이하 및 태양광 발전용량을 조명전력의 100% (372 kW)까지 고려한 CASE 5가 ZEB 인증 5등급(20% 이상)을 만족하는 것으로 나타났고, ZEB 인증 4등급(40% 이상)을 획득하기 위해서는 조명밀도 5 W/㎡ 이하를 유지한채 단열 기준을 중부2 기준인 0.17 W/(㎡.K) 이하에서 중부1 기준인 0.15 W/(㎡.K) 이하로 하고, 태양광 발전용량을 지붕 전체에 적용(580 kW)해야 할 뿐 아니라 추가로 BIPV 265 kW 를 설치해야 하는 것으로 나타났다.

[표 14] Proioritization by CEI

Contents			application standard		variable	cost-efficiency index	additional cost	priority
Passive	A	Insulation	1st deal	insul. standard (0.15)	A-1	1.44	2.45 eak	6
			2nd deal	insul. standard (0.13)	A-2	2.01	2.41 eak	9
			3rd deal	insul. standard (0.11)	A-3	2.70	3.51 eak	10
	B	Window & Glass	1st deal	K-value(0.9)	B-1	1.89	2.64 eak	8
			2nd deal	K-value(0.8)	B-2	7.50	9.75 eak	11
			3rd deal	K-value(0.7)	B-3	9.65	13.51 eak	12
Active	C	Lighting Density (LD)	1st deal	LD (below 8)	C-1	0.15	1.39 eak	1
			2nd deal	LD (below 5)	C-2	0.17	2.25 eak	2
Renewable	D	Sunlight Capacity	1st deal	50% of LD	D-1	0.57	3.90 eak	3
			2nd deal	100% of LD	D-2	0.57	6.40 eak	4
			3rd deal	PV 580kWp (maximum rooftop area)	D-3	0.57	5.70 eak	5
			4th deal	PV 580kWp + BIPV 880kWp	D-4	1.70	51.85 eak	7

※ K-value : coefficient of over-all heat transmission
eak : one hundred million won

[표 15] Result of Case Studies

Items	Combination Review	Energy Demand Quantity	Energy Efficiency Rating	Self-reliance ratio
	Basic Model	122.7kWh/㎡	1 Grade	3.59%
CASE1	C-1,2	102.4kWh/㎡	1+ Grade	2.21%
CASE2	C-1,2/D-1 (sunlight 101kW)	99.0kWh/㎡	1 + Grade	5.44%
CASE3	C-1,2/D-1,2 (sunlight 202kW)	93.3kWh/㎡	1+ Grade	10.83%
CASE4	C-1,2/D-1,2 sunlight 260kW	90.0kWh/㎡	1++ Grade	14.00%
CASE5	C-1,2/D-1,2 sunlight 372kW	83.7kWh/㎡	1++ Grade	20.01%
CASE6	C-1,2/D-1,2,3 sunlight 580kW	72.0kWh/㎡	1++ Grade	31.25%
CASE7	C-1,2/D-1,2,3/A-1 sunlight 580kW	70.3kWh/㎡	1++ Grade	31.77%
CASE8	C-1,2/D-1,2,3/A-1/+BIPV 265kW	62.8kWh/㎡	1++ Grade	40.01%
CASE9	C-1,2/D-1,2,3/A-1/+BIPV 270kW	59.58kWh/㎡	1+++ Grade	41.42%
CASE10	C-1,2/D-1,2,3/A- /+BIPV 820kW	40.4kWh/㎡	1+++ Grade	60.20%
CASE11	C-1,2/D-1,2,3/A-1/ D-4 (BIPV 880kW)	38.4kWh/㎡	1+++ Grade	62.25%
CASE12	C-1,2/D-1,2,3,4/A-1,2,3/B-1,2,3	33.7kWh/㎡	1+++ Grade	65.65%

05. 결론 및 제언

이상에서 살펴본 바와 같이 국내 단열설계기준은 제로에너지 공동주택을 목표로 꾸준히 강화되어 왔으며, 특히 '제로에너지 공동주택'은 더이상 이룰 수 없는 기술적 한계가 아닌 갈 수 있는 목표이며, 무조건 가야 할 길임은 자명하다. 다만, 제로에너지 공동주택을 실현하기 위한 우선순위를 고려함에 있어 단열설계기준은 거의 종착역에 다다랐기에 그 중요도가 낮아지고 있고, LED 조명기기, 열원설비의 고효율화, 신재생에너지 설비 설치를 통한 자립률 향상 등이 주요 기술요소로 대두되고 있음을 주지해야 할 것이다.

특히, 제로에너지 공동주택은 중고층임에도 대지면적이 좁아 신재생에너지를 충분히 설치할 수 없음을 감안하더라도 실현이 쉽지 않은 것은 ① 정의의 불명확성, ② 경제성 문제, ③ 유지관리 문제 등을 들 수 있다.

제로에너지 건축물 정의의 불명확성이란 앞에서 살펴본 바와 같이 다양한 의미로 정의되고 있는데, 특히 국내의 경우 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명 이상 5개 용도별 1차에너지 소요량 합계를 이용하여 신재생에너지를 이용한 에너지 자립률 20% 이상일 경우로 정의된다고 볼 수 있는데, 이는 현재 선진국에서 플러그 부하 및 프로세스 에너지 등을 감안한 Net ZEB, 온실가스 배출을 제로로 한다는 Zero emission, 에너지 비용 제로까지 고려한 Cost Zero와 같은 개념까지 논의되고 있는 것과 비교하면 갈 길이 멀어 보인다.

이러한 정의와 연계하여 경제성 문제는 크게 2가지로 볼 수 있는데, 첫째는 시장에서는 Cost Zero를 생각하고 에너지 비용을 지불하지 않을 것으로 생각하고 있는데, 기술 수준이 그것에 미치지 못하는 문제와 둘째는 Cost Zero가 되지 못하는데 어느 정도까지 초기 비용을 추가로 지불할 수 있을지에 대한 문제이다.

마지막으로 유지관리 문제는 제로에너지 건축물을 구현하기 위한 요소기술들이 최근 개발되기 시작했기 때문에 장기간 사용에 따른 적정 효율의 유지가 언제까지 가능하며, 그에 따른 기술적 유지관리가 어떻게 이루어져야 하는지에 대한 부분과 기존 건축물과 달리 제로에너지 건축물이기 때문에 필요 불가결하게 실시해야 하는 유지관리 사항은 없는지 등에 대한 내용이 명확하게 규정되어 있지 않다는 것이다. 이에 대한 대책으로 단순하게 준공단계에 장비의 효율 확인에 그치는 TAB가 아니라 제로에너지 건축물의 기획단계부터 설계단계, 시공단계 전체 프로세스에 관여할 뿐 아니라 최소 1년 단위의 모니터링을 통한 최적화 사용 스케줄까지 고려하는 커미셔닝 개념이 중요해지고 있다.

국내 단열설계기준의 변천이 건축물의 열손실방지를 통한 에너지절약설계에 기여해 왔으며, 향후 패시브하우스 설계기준과의 부합성을 통한 제로에너지 공동주택을 실현하고자 함에 있어 이러한 문제들에 직면해 있음에도 지속 가능한 공동주택 단지를 조성하기 위해서 단지와 세대 내부에 다양한 제로에너지 건축기술을 적용하려고 부단히 시도할 뿐 아니라 향후 입주자의 생활 패턴을 분석해 시간과 상황에 따라 에너지 손실을 최소화하는 등 최적의 주거환경을 제공하기 위한 기술까지 개발하기 위해 노력하여야 할 것이다.

※ 참고문헌

01. 국가법령정보센터, https://www.law.go.kr
02. 제로에너지 건축물 인증시스템, https://zeb.energy.or.kr
03. 사용기, 한찬훈 (2019), 공동주택 제로에너지빌딩 인증을 위한 적정가산비 산정에 관한 연구, 한국건설관리학회 논문집, pp.21-30