



우즈베키스탄 농촌주택 에너지효율화를 위한 대안 분석 및 표준모델 제안

Alternative Analysis and the Model House Suggestion for Energy Efficiency of Rural Houses in Uzbekistan

조경주* · 조동우** · 정영선***

Cho, Kyung-Joo* · Cho, Dong-Woo** · Jeong, Young-Sun***

* Corresponding author, Building & Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(kyungjoocho@kict.re.kr)

** Coauthor, Building & Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(dwcho@kict.re.kr)

*** Building & Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(sunj74@kict.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: The energy consumption in Uzbekistan buildings accounts for more than half of the total energy consumption in Uzbekistan. In particular, Uzbekistan is estimated to produce 100 million tons of carbon dioxide per year only through the use of building energy. In particular, residential buildings have caused the largest energy consumption in Uzbekistan. For this reason, this study analyzed the standard rural housing plans of Uzbekistan and suggested energy saving alternatives by improving the insulation performance. **Method:** This research was conducted in four stages. For the first step, preliminary investigations were carried out such as climate analysis of Uzbekistan and prior studies on Uzbekistan buildings' energy consumption. For the second step, the Uzbekistan building regulations were analyzed in order to improve the standard rural housing in Uzbekistan and confirm the direction of the alternatives. For the third step, the analysis of the rural housing plans were conducted to optimize the design of the AOP system to be installed in Tashkent. Finally, simulation results of energy efficient alternatives were compared with the result of existing standard rural housing and the model house constructed in Tashkent. **Result:** Energy efficient alternatives were calculated to consume 64%~76% less heating energy than the existing standard rural housing.

KEYWORD

농촌주택 에너지 효율
난방에너지
우즈베키스탄
표준도서

Rural Housing
Heating Energy
Uzbekistan
Standard Design Book

ACCEPTANCE INFO

Received Dec 22, 2017
Final revision received Feb 27, 2018
Accepted Mar 2, 2018

© 2018 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

우즈베키스탄은 1991년 소련으로부터의 독립 후 사회주의에서 자본주의 시장경제체제로의 전환을 시작한 국가로서 한국과 다양한 분야에서 협력을 확대해나가고 있는 국가이다. 연평균 약 7% 이상의 경제성장을 보이고 있으며 인구 역시 빠르게 증가하여 주택 수요가 최근 급증하였다 [1]. 급증한 주택수요에 발맞추어 우즈베키스탄 정부는 2009~2015년까지 전국에 약 57,000호의 주택을 건설하였다. 특히, 농촌 지역 내의 주택 공급은 특히 부족한 상황인데 주택 수요가 공급 물량을 4배 이상 상회한다고 보고된 바 있다[2]. 부족한 주택을 단시일에 공급하기 위해 우즈베키스탄 관련 전문가들은 표준주택을 설계하였다. 특히, 2014년 우즈베키스탄 정부는 'Energy efficiency in buildings: Reserves for Uzbekistan sustainable development'을 발표하여

기존 및 신축주택의 에너지절약에 대한 국가적 노력을 시작하였다 [3].

우즈베키스탄은 건물에너지 사용으로만 연간 1억 톤의 이산화탄소를 배출하는 것으로 조사되었으며, 특히 주거용 건물은 우즈베키스탄 내에서 가장 큰 에너지 소비를 야기하는 분야이다 [3]. 그럼에도 불구하고 최근까지 유지되어온 건축규정은 건물 에너지 사용에 대한 효율성이나 에너지 절약적 관점보다는 건물의 원가절감에 초점이 맞추어져있다 [2]. 이런 이유로 우즈베키스탄 주거용 건물의 외피성능개선의 필요성은 기존 연구에서도 강조되어왔다[2-4]. 이 외피성능개선의 우선 대상으로 우즈베키스탄 농촌주택이 주로 거론되는데 그 이유의 하나로 우즈베키스탄 농촌지역의 주택 부족은 매우 심각한 상황이라 정책적 관심이 집중되고 있는 것을 들 수 있다. 그 증거로 2010~2014년 우즈베키스탄에서 건설된 주거용 건물의 63%가 농촌에 신축되었다. 국가 프로그램 실행 첫해인 2009년에는 농촌주택 건축을 시작한 초기에 해결해야 했던 기술적·재정적·조직적 문제 때문에 520개 주택이 건설되었지만 2010년에는 건축 호수가 두 배로 늘었다. 또한, 2011년, 2012년, 2013년에는 건축 호수가 급증했다. 그럼

에도 그 부족분을 해결할 수 없어 2016년 우즈베키스탄 정부는 '농촌주택 건설정책'을 신설하고 표준주택을 위한 도서를 제작하여 연간 3만세대의 주택을 최대한 신속히 공급할 계획이라고 공표했다[2].

이에 본 연구에서는 마감재와 단열재 등이 일체화 되어 공기를 줄인 외단열 시스템 패널(All in One Panel(AOP))을 최적화하여 현재의 농촌주택 표준도서에 적용하는 방안을 제시하였다. 이 시스템에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 에너지절감효과를 분석하고 타슈켄트(Tashkent) 현장에 시범주택을 건립하였다. 또한, 우즈베키스탄 현지 건축관련 규정분석을 통해 현지에서 요구하는 성능을 확보하는 대안 3가지를 제시하였다. 이 결과는 우즈베키스탄 정책 현안인 '에너지절약형 농촌주택 개발사업' 참여의 기반을 위한 기초자료로 삼고자 하며, 동시에 향후 국내기업에서 보유한 기후관련 기술 해외진출의 계기로 삼고자 한다.

1.2. 연구의 방법

본 연구에서는 우즈베키스탄 표준 농촌주택(이하 기존 표준 농촌주택) 도서를 분석하고 그 단열성능을 개선하여 에너지절감 및 온실가스 저감 데이터를 정량화하였다. 또한, 이를 통해 현재 우즈베키스탄 정책 현안인 '에너지절약형 농촌주택 개발사업' 참여의 기반을 구축하기 위한 기초자료 작성을 목표로 한다.

이를 위해, 본 연구는 아래의 4단계에 걸쳐 진행되었다.

1단계로 UNDP(United Nations Development Programme)에서 수행한 우즈베키스탄 건축물의 리트로핏관련 연구결과 분석 및 모델주택 시공 대상지 기후 분석 등의 사전조사를 실시하였다.

2단계로 기존 표준농촌주택의 개선을 위해 현재 우즈베키스탄 건설부문 건축규정에 대한 분석을 수행하여 대안의 방향을 확인하였다.

3단계로 기존 표준농촌주택 도서의 분석을 수행하고, 모델주택 실제 시공 현장인 타슈켄트로 운송될 AOP 시스템의 설계를 진행하여 최적화하였다.

마지막으로 현장에 시공된 모델주택의 난방에너지사용량을 시뮬레이션하여 기존 표준농촌주택의 경우와 비교하였다. 더하여, 우즈베키스탄 건축규정에 의한 Level 1,2,3 주택의 대안을 제시한 후 모델주택 및 기존 표준농촌주택의 난방에너지사용량과 비교하였다.

2. 기존연구에 대한 고찰

2.1. 우즈베키스탄 농촌주택 에너지성능 개선

UNDP의 연구결과에 따르면, 우즈베키스탄 농촌주택의 70% 이상이 15년 이상 된 건물이다. 예전에는 에너지 가격이 낮았기 때문에 건물에 대한 에너지효율화 조치를 고려하지 않았었고 이는 관련 규정의 부재로까지 이어져왔다. 결국, 현재 68%의 농촌주택에는 단열성능이 현저히 떨어지는 나무창호의 단창이 설치되어 있으며, 가구당 월평균 천연가스 소비량은 $8.3 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 로, 에너지효율이 높은 주택 ($5.5 \text{ m}^3/\text{m}^2$)에 비해 33% 높다. 특히 55%의 보일러가 효율이 50%에 불과한 제품이며 99%의 보일러에

자동온도조절기가 달려있지 않아 에너지사용량을 더욱 증가시키는 원인이 되고 있다 [2]. 일반적으로 보일러가 집밖에 있어 배관을 통한 열손실이 큰 편이고 방열기에는 조절장치가 없다. UNDP는 벽과 바닥을 단열하고 방열기에 조절장치를 설치하면 천연가스 소비량을 약 24.7% 줄일 수 있을 것이라고 분석했다.

CENEf(Center for Energy Efficiency)에서 발표한 우즈베키스탄 주거용 건물의 연간 평균 에너지소비량은 $423 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ($52 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$)로 한국 주거건물의 $154\sim 219 \text{ kWh}/\text{m}^2$ 와 비교했을 때 2배가 넘는다[3]. 특히 연평균 난방에너지 소비량은 $290 \text{ kWh}/\text{m}^2$ 으로 건물 분야 에너지 소비량의 약 70%를 차지하여 외피의 단열을 통한 난방에너지 절감가능성이 매우 높은 것으로 판단된다. 이 가능성을 확인하기 위해 UNDP는 2009년부터 2013년까지 우즈베키스탄 기존 건축물을 대상으로 8개의 리트로핏 시범사업을 실시하고 그 에너지사용량을 모니터링하였다. 그 결과 단열개선을 하는 경우 에너지사용량이 리트로핏 전과 비교하여 38~65%로 절감될 수 있다는 연구결과를 발표하였다 [4]. 이 연구 결과는 우즈베키스탄 현지 상황에 적절한 자재 및 공법을 뒷받침할 수 있다면, 상당한 양의 온실가스 저감이 가능하다는 것을 보여준다.

2.2. 우즈베키스탄의 기후

우즈베키스탄은 북쪽으로 카자흐스탄과 남쪽으로 아프가니스탄에 면해있으며 동경 $164^\circ 00'$, 북위 $41^\circ 00'$ 에 위치하고 있다. 면적은 한반도의 두 배 정도인데 국토의 북서지역과 중앙지역에 초원지대가 펼쳐져 있고 대부분이 평활한 지대로 이루어져 있는 국가이다. 대부분이 대륙성 기후지대로 연간 강수량이 적고 연교차가 심하며, 강수량이 증발량보다 적은 건조기후지역이다. 여름이 긴 편이며 7월 평균 북부는 26°C , 남부는 30°C 로 기록된다. 북부와 남부의 기후에 차이가 있어 남동부는 1월 평균기온이 3°C 정도인 반면 북부의 경우 -8°C 까지 내려간다. 특히 북부의 경우 최저기온이 -38°C 까지 기록되는 날도 있다[6].

샘플주택 시공지인 타슈켄트의 경우 우즈베키스탄의 수도로 우즈베키스탄의 동쪽 중간부 즈메에 위치하고 있다. 위도 상으로는 한국보다 높게 위치해 있지만 평균기온은 약간 더 높은 편이다.

Fig. 1은 수도인 타슈켄트의 평균온도자료를 그래프로 나타낸 것이다. 기록으로 확인되는 최대기온과 최저기온은 평균온도와 차이가 상당히 큰 편인데 이는 대륙성 기후에서 기인한 것으로 분석된다.

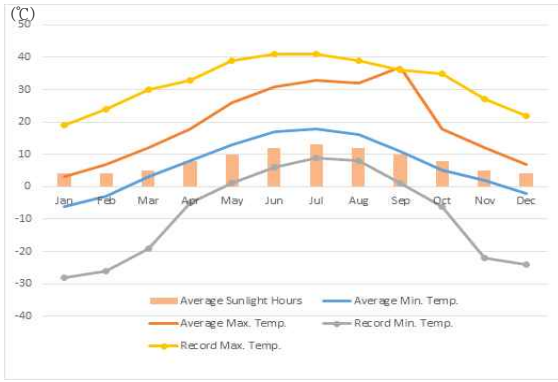


Fig. 1. Average Weather Conditions of Tashkent [7]

이는 타슈켄트에 위치한 건축물은 동계와 하계 동시에 대응할 수 있는 성능을 보유할 필요가 있다. 외피의 단열성능을 향상시켜 동계의 추위에 대응하고, 태양열 취득을 조절할 수 있는 기능성 창을 적용하여 하계의 과열에도 대비하는 것이 바람직하다. 다만, 이번 연구의 범위는 기존 연구에서 확인된 바와 같이 기존 건물 에너지사용량의 70% 이상을 차지하고 있는 난방에너지사용량 저감에 초점을 맞추었다.

2.3. 우즈베키스탄 건물에너지절약 관련규정

우즈베키스탄의 건물부문 규정은 국가 표준화 시스템으로 구성되어 있다. 특히 건물에너지절약 관련 규정으로 1996년 이후 우즈베키스탄은 건물의 단열효과를 높이는 건축기준인 KMK 2.01.04-97과 난방에너지 사용규정 KMK 2.01.04-2000이 신설되었으며 2011년 개정된 바 있다[8].

위의 KMK 2.01.04-97에 따라 건축 시에 발주자의 경제적 능력에 따라 적용할 수 있는 외피의 성능을 열저항으로 제시하고 있는데 건물의 용도별, 난방도일별, 열저항 단계별로 구분하여 명시하고 있다.

- 1) 1단계 : 건물 내에 기본 위생 조건을 유지하는 것과 내부벽에 결로가 생기지 않는 수준. 주택, 공공건물 등의 건물에 적용
- 2) 2단계 : 1단계보다 외피단열성능이 1.4~1.8배 높은 수준
국가 예산이나 지방자치단체 예산 등으로 행해지는 건축 사업인 경우가 해당되며, 주택, 병원이나 유치원, 학교 등의 교육연구 시설에 적용되는 단계임.
- 3) 3단계 : 에너지 사용 효율성이 가장 높은 수준으로 1단계보다 외피단열성능이 2.5~3배 높은 수준

Table 1. Required thermal resistances for Uzbekistan residential housing according to the level in Tashkent[8] (m²·K/W)

	Roof	External Wall	Window	Bottom
Level 1	1.6	0.94	0.39	2.4
Level 2	3.2	2.2	0.42	2.8
Level 3	4.2	3.0	0.53	3.6

Table 1은 KMK 2.01.04-97의 난방도일이 3000 이상인 타슈켄트 지방의 주거용 건물에 적용되는 열저항 기준 값을 정리한

것이다.

KMK 2.01.04-97에 따라 신축 공사 뿐 아니라 기존 건물의 성능 개선에도 위의 단계가 적용이 될 수 있지만 강제성이 없어서 대다수의 주택은 위의 기준을 준수하지 않고 있다. 또한, 에너지 절약적 설계와 같은 가치를 고려하지 않고 공사비를 최대한 낮추는 것이 일반적이라 단열재 시공비와 재료비는 공사비에 보통 포함하지 않는다. 이런 분위기는 설비의 에너지효율을 측정하는 장비 및 관련 기준의 부재를 야기해왔으며, 에너지관련 법규 적용 등을 확인하는 감리 행위도 부실하게 이루어지는 형편이다.

3. 농촌주택 표준모델의 개선

3.1. 우즈베키스탄 표준 농촌주택 현황

우즈베키스탄 정부가 농촌주택의 대량생산을 위해 설계한 표준농촌주택은 ‘국가농촌주택 프로그램’에 따라 2009년부터 건설되었다. 여러가지 타입이 존재하나 일반적으로 방이 3-5개 있고, 평균면적은 150 m²이다.

이 표준농촌주택(Fig. 2,3)은 기존 농촌주택에 비해 단열에 대한 고려가 되어있는 편이다. 가령, 표준농촌주택 창호에 사용된 유리는 복층유리로 이전 농촌주택의 단창보다는 단열성능이 우수하다.



Fig.2. Standard Rural Housing

하지만 이 표준농촌주택 역시 에너지 절약 및 온실가스 배출량 감소를 위해 활용할 수 있는 소위 ‘일반적인’ 기술들이 충분히 사용되지 않은 편이다. 예를 들어, 벽은 별도의 단열재를 설치하지 않은 400mm 조적벽체이며, 바닥 천정은 20mm 정도의 단열재만 설치한다. 특히 이 조적벽체의 시공방법은 시간이 많이 소요되는 재래식 방법일 뿐 아니라 단열성능이 현저히 떨어진다.

이는 주거용 단독주택에 벽체 145mm이상, 지붕 170mm이상, 바닥 135mm이상(건축물의 에너지절약설계기준 [5], 중부지방, 나등급 단열재 기준)을 사용하는 국내의 기준과 비교할 때 단열성능에서 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다.

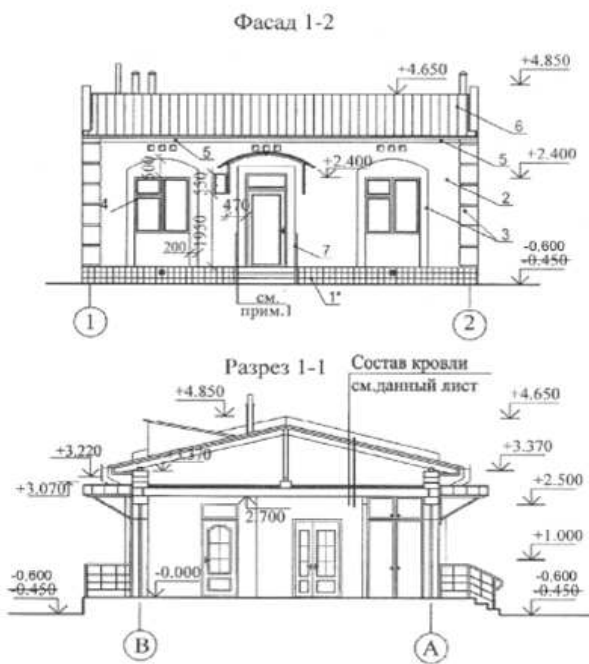
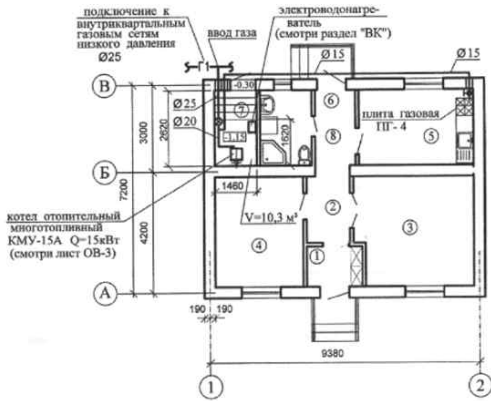


Fig.3. A Type of Rural Housing in the Standard Design Book

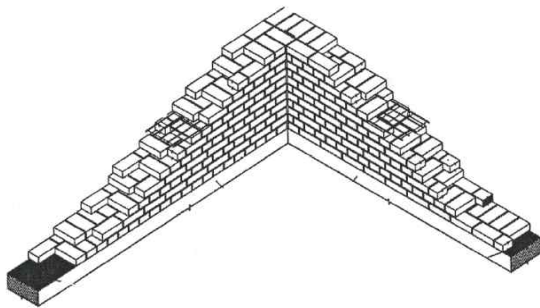


Fig.4. A Wall structure of standard rural housing in Uzbekistan

조적공사만의 장점이 있지만 단시간에 많은 주택을 생산해내야 하는 현 상황에 맞지 않는 공법으로 개선될 필요가 있다. 또한 표준도서를 보면 벽체를 위한 단열재가 부재하고 천정과 바닥 역시 20mm 단열재만 포함되어있는 것도 개선해야할 부분으로 분석되었다.

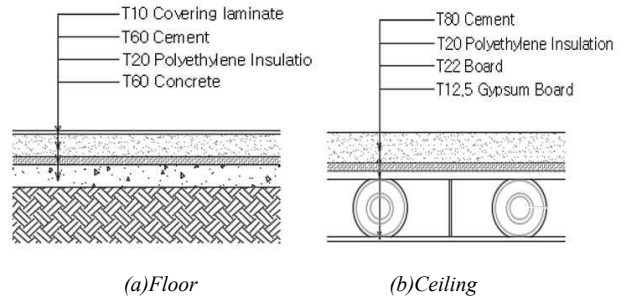


Fig.5. Floor and Ceiling structure of standard rural housing

3.2. 농촌주택의 에너지효율화를 위한 개선모델

우즈베키스탄 농촌주택 표준모델 개선방안을 협의하는 과정에서 우즈베키스탄 정부는 세가지 기본 조건을 제시하였다. 이는 우즈베키스탄 국가건축건설위원회와 개선방안을 논의하는 과정에서 요청된 것으로 ①공사기간 단축을 위한 패널공법 적용, ②내진성능 확보, ③에너지 효율화 등의 세가지이다.

첫 번째, 공사기간을 단축하기 위해 내외장 마감 일체형 외단열 패널 시스템인 AOP 시스템(Fig. 5)을 표준모델 주택에 적용하기로 하였다.

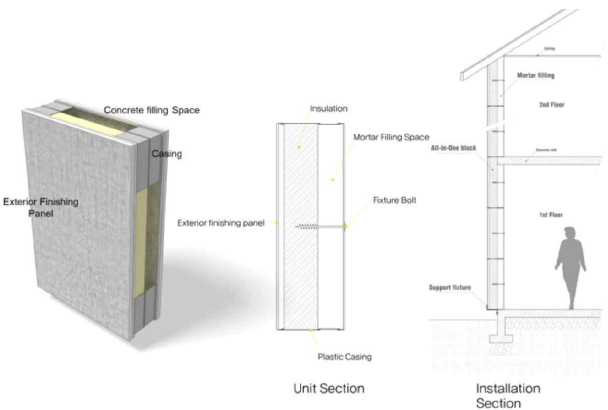


Fig.6. All in One Panel(AOP system)

AOP 시스템은 단위 모듈이 600mm x 900mm로 단열재가 외측에 설치된 외단열 패널이다. 기존 습식 공법 대비 공기를 현저하게 단축할 수 있음이 국내 현장 시공을 통해 증명되었고, 또한, 외단열의 특징인 열교차단 및 축열 성능으로 건축물의 에너지효율화에 적절한 부재임이 확인되었다. 이는 외장재+단열재+내장재가 일체화되어있어 별도의 외장 및 내장공사가 불필요할 뿐 아니라, 콘크리트 주입 및 건조 후 다음 단계의 패널을 시공하는 방법으로 단시일에 벽체 내외장 마감공사까지 완료할 수 있기 때문이다.

두 번째, 우즈베키스탄에서 요구되는 진도 8 이상의 내진성능을 확보하기 위해 AOP시스템에 대한 구조계산을 실시하였다. Fig. 6는 구조계산에 따라 철근을 배치한 그림이다. 구조계산을 통해 철근 배근을 위한 콘크리트의 최소 두께 110mm가 산출되

있고 시스템 구조가 허용하는 AOP 시스템의 최소두께인 200mm로 시스템을 설계하여 건축비용을 절감하고 공정의 단 순화를 꾀하였다.

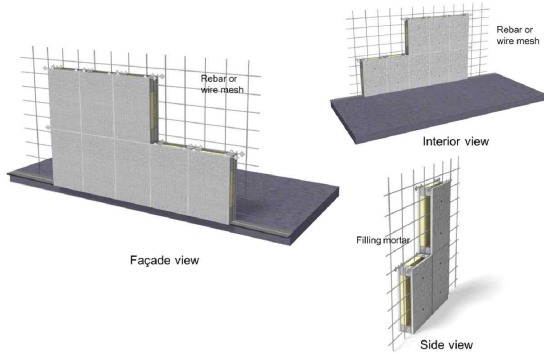


Fig. 7. AOP with reinforcement

Fig. 8은 기존 표준농촌주택 도면에 AOP시스템을 적용한 모델주택 도면이다. 단위모듈인 600mm x 900mm을 기준으로 배치되어 있으며 창과 문의 모듈도 이에 맞추어 약간씩 치수가 조정되었다.

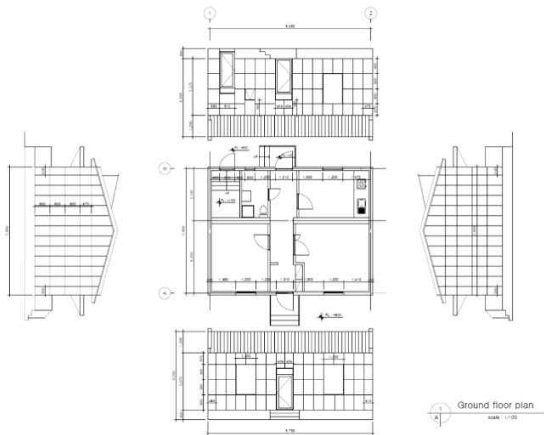


Fig. 8. Model drawing for energy efficient rural house

Fig. 9는 구조계산의 결과로 도출된 철근의 간격을 적용하여 농촌주택 벽체의 AOP시스템에 배치 한 것이다. AOP 시스템의 시공과정에 설치되어야 하는 스페이서 등을 고려하여 철근 간격을 조정하였다.

세 번째, 위의 단계에서 결정된 AOP 시스템의 최소 두께인 200mm에 내진설계를 통해 도출된 철근콘크리트두께 110mm를 뺀 나머지 공간에 단열재를 배치하도록 하였다. 현재 우즈베키스탄 농촌주택 공사비를 크게 상회하지 않기 위해 AOP 시스템의 최소 두께에서 내진성과 단열성을 동시에 해결하는 것이 본 대안의 조건이었다. 이에 AOP시스템의 내측에 압출법보온판 특호(열전도율 0.027W/m²·K) 90mm를 배치하였다. 이는 기존 표준주택 400mm인 벽체의 두께의 절반수준으로 얇으면서 우수한 단열성능의 구현이 가능하다.

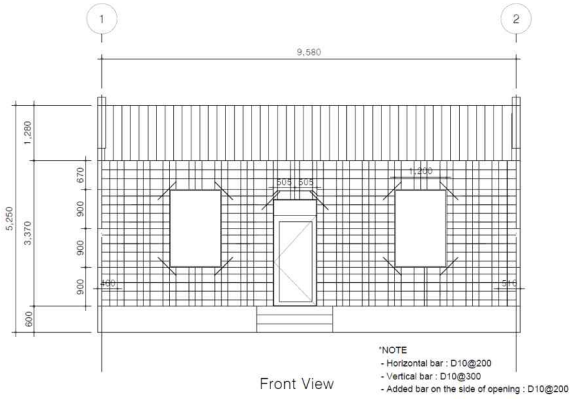


Fig. 9. A Drawing of the Reinforcement and Model House

기타 지붕, 바닥, 창호의 경우는 기존 표준주택 도면에 따라 시공하기로 하였다. 이와 같은 표준주택은 AOP시스템 적용으로 기존 조적식 공법에 비해 벽체두께가 200mm가 얇아 실내 바닥면적이 6% 증가되었다.



Fig. 10. Energy efficient model house

본 연구에서는 이와 같은 과정을 통해 개선된 표준농촌주택인 모델주택을 제안하고, Fig. 10과 같이 타슈켄트주 치노즈지역에 에너지효율화 시범주택을 건립하였다.

4. 에너지시뮬레이션을 통한 절감효과 분석

4.1. 입력조건

AOP시스템의 에너지효율을 정량화하기 위해 기존 표준농촌주택의 난방에너지 소요량을 계산하였다. 본 연구에서는 현재 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 시간별 동적 에너지해석 프로그램 eQUEST 3.65(DOE-2.2 ver.) 프로그램을 이용하였다. 시뮬레이션을 위한 입력 값은 Table 2, 3에 명시되어 있으며 그 외의 값은 default로 적용되었다.

본 연구의 시뮬레이션은 두가지 방향으로 실행되었다.

첫 번째, 기존 표준농촌주택과 AOP시스템이 적용된 모델주택의 난방 에너지소요량을 시뮬레이션하여 비교하였다. Table 2는 적용부재의 열관류율 값을 정리한 표이며 창의 열관류율과 SHGC는 eQUEST에서 제공하는 12mm 복층유리창 default 값을 적용하였다.

Table 2. Simulation Input Data for rural house

		Existing standard rural house	Model house
Area		Tashkent	
Use		Residence	
Total Floor Area		70.9 m ²	
Ceiling Height		2.7m	
Window Wall Ratio		14.1%	
U-factor (W/m ² ·K)	Exterior Wall	1.80	0.28
	Ceiling	1.03	1.03
	Floor	1.09	1.09
	Windows	3.12	
SHGC		0.76	
Setting Temperature		Cooling 24°C, Heating 22°C	
Operation Schedule		24 hours for Residence	
Equipment for heating		Boiler(80%)	

*3mm Clear Glass + Air 6mm + 3mm Clear Glass

두 번째로, 현지 기준을 접목한 추가 대안의 제안을 위해 KMK 2.01.04-97가 제안하는 Level1,2,3에 해당하는 대안의 시뮬레이션을 실시하였다.

Table 3. Simulation Input Data for Alternatives

		Level 1	Level 2	Level 3
Area		Tashkent		
Use		Residence		
Total Floor Area		70.9 m ²		
Ceiling Height		2.7m		
Window Wall Ratio		14.1%		
U-factor (W/m ² ·K)				
Wall	Standard	1.06	0.45	0.33
	Insulation THK.	20mm	55mm	75mm
Roof	Standard	0.63	0.31	0.24
	Insulation THK.	45mm	100mm	135mm
Floor	Standard	0.42	0.36	0.28
	Insulation THK.	75mm	90mm	120mm
Windows	Standard	2.56	2.38	1.89
	Alternative	2.56	2.38	1.89
SHGC		0.76		
Setting Temperature		Cooling 24°C, Heating 22°C		
Operation Schedule		24 hours for Residence		
Equipment for heating		Boiler(80%)		

이전 장에 명시되어 있듯이 KMK 2.01.04-97에는 신축 시 단열공사 수준을 그 외피별 열저항에 따라 3단계로 구분하고 있다.

Table 3는 KMK 2.01.04-97에서 제시된 값에 따른 기준과 대안을 제안한 표이다. Standard는 KMK 2.01.04-97에서 제시된 값이며 단열재 두께는 이에 맞추어 계산된 두께이다. 해당 단열재의 종류는 외벽의 경우 AOP시스템에 사용된 압출법보온판 특호의 열전도율 0.027W/m²·K를 적용하였고, 바닥과 천정의 경우 현장에서 주로 사용되는 비드법보온판의 열전도율 0.036W/m²·K를 적용하였다.

4.2. 시뮬레이션 결과분석

첫 번째 분석으로 기존 표준농촌주택 시뮬레이션과 모델주택 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 모델주택에서 난방을 위해 사용된 연간 가스에너지 소요량은 142.36kWh/m²로 기존 표준주택의 243.63kWh/m²보다 약 42% 절감된 수치를 보였다.

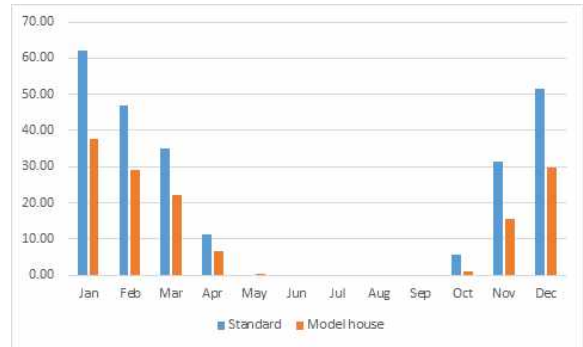


Fig.11 Heating energy use comparison of Model house with Existing standard rural house

두 번째 시뮬레이션으로 KMK 2.01.04-97에서 제안하는 Level1,2,3의 열저항을 적용하여 주택의 난방에너지 소요량을 계산하였다.

Table 4에서 볼 수 있듯이 기존 표준농촌주택의 난방에너지 소요량과 비교하였을 때, Level1,2,3 주택은 각각 42%, 67%, 74%의 난방에너지 절감이 가능할 것으로 확인되었다. 특히, 모델주택의 경우 Level1 주택과 비슷한 수준의 난방에너지를 소모하는 것으로 확인되었다.

Table 4. Heating energy use comparison of Existing standard rural house with all alternatives (kWh/yr·m²)

	Standard	Model house	Level 1 house	Level 2 house	Level 3 house
HEU*	243.63	142.36	141.41	81.31	62.54
Savings**	-	42%	42%	67%	74%

*HEU : Heating Energy Use

**Savings : Savings based on Standard

마지막으로 기존 표준농촌주택의 개선안 제안을 위해 AOP 시스템에 Level 1,2,3의 천장, 바닥, 창호의 단열성능에 상당하는 열관류율 값을 입력하여 난방에너지소요량을 계산하였다.

모델주택에 시공된 200mm AOP시스템에 Level1~Level3의 천장, 바닥, 창호의 단열성능에 상당하는 열관류율값을 입력하여 시뮬레이션한 결과 난방에너지사용량은 58.90kWh/m²~88.79kWh/m²로 분석되었다. 이는 기존 표준주택의 난방에너지 소요량과 비교했을 때 AOP Level1,2,3는 각각 64%, 71%, 76%의 난방에너지 절감이 가능할 것으로 예측되었다.

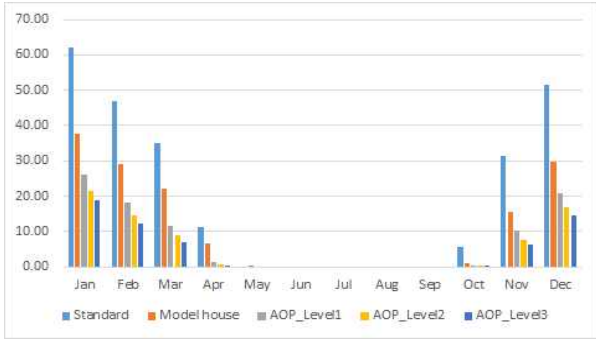


Fig.12 Heating energy use comparison of Existing standard rural house with AOP Level 1,2,3 housing(kWh/m²)

Fig.12는 이를 월별로 정리한 그래프이며 Table 5는 AOP 시스템이 적용된 Level 1,2,3 제안모델이다. 외벽의 경우 압출법보온판 특호(열전도율 0.027W/m²·K) 기준이며, 바닥과 천정의 경우 비드법보온판(열전도율 0.036W/m²·K) 기준으로 작성되었다.

Table 5. Proposals for energy efficient rural housing

	HEU (kWh/yr·m²)	Insulation Thickness(mm)			Window U-factor (W/m²·K)
		Wall	Celing	Floor	
Standard	243.63	-	20	20	3.12
Model house	142.36	AOP	20	20	3.12
AOP Level1	88.79	AOP	45	75	2.56
AOP Level2	69.94	AOP	100	90	2.38
AOP Level3	58.90	AOP	135	120	1.89

5. 결론

우즈베키스탄의 기존 표준농촌주택을 대상으로 난방에너지 소요량을 분석하고 에너지효율화 농촌주택 모델을 제시하기 위해 수행한 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 우즈베키스탄의 기후 및 기존 농촌주택에 대한 자료를 분석한 결과, 현재 건설되고 있는 농촌주택의 단열성능을 개선할 경우 난방에너지를 크게 절감할 수 있는 것으로 확인되었다.

둘째, 우즈베키스탄의 기존 표준농촌주택을 에너지효율화하기 위해 공기단축, 내진성능 확보, 단열성능 확보가 가능한 자재를 검토하고 이에 부합하는 벽체 시스템 설계가 수행되었다. 이를 통해 내외장재 일체형 외단열 시스템(AOP system)이 적용된 에너지효율화 농촌주택 표준모델이 제시되었다.

셋째, 우선 타슈켄트에 시공된 모델주택의 시뮬레이션을 실시한 후, 현지 기준을 접목한 추가 대안의 제안을 위해 우즈베키스탄 자체 단열관련 기준인 KMK 2.01.04-97을 분석하였다. 그리고 KMK 2.01.04-97에서 제안한 Level1,2,3에 해당하는 대안의 난방에너지 사용량 시뮬레이션을 실시하였다.

그 결과, 기존 표준농촌주택과 비교할 때 모델주택은 42%의 난방에너지를 절감할 수 있는 것으로 분석되었으며, Level1 주택 42%, Level2 주택 67%, Level3 주택 74%의 난방에너지 절감이 가능한 것으로 시뮬레이션 되었다. 다만, 현재는 기준이 존재함

에도 자재나 시공법 등이 제대로 제안되지 못하여 이를 준수하는 경우가 드문 형편이다.

넷째, 이에 모델주택에 시공된 AOP 시스템과 Level1,2,3의 천장, 바닥, 창호의 단열성능을 만족하는 자재와 시공법을 제안하였다. 이와 같이 시공될 경우 기존 표준농촌주택 대비 64%~76%의 난방에너지 절감이 가능했고 현장적용의 용이성을 위해 이에 따른 자재 스펙 및 두께를 제안하였다.

이번 연구로 제안된 대안별 자재와 시공법은 현지 기준과 접목되어 이해당사자들에게 비교적 무리없이 제안될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 이와 같은 에너지효율화 농촌주택을 위해 표준 모델을 제안하고 이에 대한 시범주택을 건립하였다. 이 시범주택은 예산의 제한으로 바닥과 천정에 적절한 단열조치를 취하지 못했고 결국, 벽체와 바닥, 벽체와 천정 접합부위에 열교와 침기로 인한 열손실이 있을 것으로 판단된다. 추후 기존 표준농촌주택과 시범주택에 대한 에너지사용량 모니터링 비교를 통해 실제 에너지절감효과를 분석하고, 이를 근거로 Level 1,2,3의 시범사업 추진 및 최적의 모델을 제안 및 분석하는 연구를 수행할 예정이다.

Acknowledgements

This research was supported by Korea Ministry of Science and ICT (2017-0086).

Reference

- [1] 'Economic Trends and Prospects in Uzbekistan' <http://news.kotra.or.kr/user/nationInfo/kotranews/14/userNationBasicView.do?nationIdx=110&cdKey=101095&itemIdx=43953&categoryType=002&categoryIdx=68>, (2017.10.10)
- [2] United Nations Development Programme (UNDP), Scaling-up Energy Efficiency in Rural buildings of Uzbekistan, Policy Paper, 2016
- [3] Center for Energy Efficiency (CENEf), Energy efficiency in Buildings: Untapped Reserves for Uzbekistan Sustainable Development, 2013
- [4] UNDP, Promoting Energy Efficiency in buildings in Uzbekistan, Policy Paper, 2015
- [5] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토교통부 고시 제 2015-1108호, 2016 // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Notification No. 2015-1108 Energy Saving Design Standards of Buildings, 2016)
- [6] Doodipia, Uzbekistan Climate and Vegetation http://www.doopedia.co.kr/doopedia/master/master.do?_method=view&MA_S_IDX=101013000719243, (2017.10.13)
- [7] BBC Weather, <http://www.bbc.com/weather/> (2017.10.13)
- [8] UNDP & Global Environment Facility(GEF), 'Increase Energy Efficiency with Social Destination in Uzbekistan', Policy Paper, 2012