

겨울철 신축 공동주택의 플러쉬아웃 시행 시 난방비용에 관한 연구

Study of Energy Cost for Performing Flush-out in Newly Constructed Multi-residential Buildings during Winter Season

이기용(Ki Yong Lee)¹, 김기환(Kee Han Kim)², 박준석(Jun-Seok Park)^{3*}

¹한양대학교 대학원 건축공학과, ²한국건설기술연구원, ³한양대학교 건축공학과

¹Graduate School of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

²Building and Urban Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang, 10223, Korea

³Department of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul, 04763, Korea

(Received January 22, 2016; revision received February 22, 2016; Accepted: March 2, 2016)

Abstract Newly constructed multi-residential buildings with more than 500 households should be flushed out indoor contaminants using a mechanical ventilation system or large fans after the completion of construction and prior to occupancy by the Heath-friendly Housing Construction Standards since 2014. In addition, the standard recommends to maintain indoor temperature over 16°C and relative humidity below 60% while performing the flush-out. However, it is difficult to maintain these recommended indoor conditions, especially during winter season because additional energy cost is needed for space heating. Therefore, in this study, additional energy cost including heating and ventilation energy cost in multi-residential household for flush-out during winter season was estimated using building energy simulation program called EnergyPlus. Additional energy cost according to various conditions for performing flush-out (such as performance period, ventilation rate, and heating set-point temperature) was analyzed. Based on the results of the energy simulation, the energy cost was estimated to be ranged from 14,625 to 29,452₩/household in Incheon city and from 3,521 to 26,268₩/household in Gwangju City. There was no significant change in energy cost according to the performing terms of flush-out between Incheon and Gwangju City.

Key words Flush-out(플러쉬아웃), IAQ(실내공기질), Building energy simulation(건물에너지 시뮬레이션), Heating energy cost(난방에너지 비용)

† Corresponding author, E-mail: junpark@hanyang.ac.kr

기호설명

C : 비용 [₩]
 W : 전력 소비량 [kWh]
 Q_H : 난방에너지 소비량 [MJ]

하첨자

H : 난방(Heating)
 E : 전기(electricity)

1. 서 론

주택법에 따라 2014년부터 시행된 ‘건강친화형 주택 건설기준’⁽¹⁾에서는 500세대 이상의 공동주택 신축 시,

마감공사 이후, 건축마감자재, 접착제, 불박이 가구 등에서 방출되는 새집증후군의 원인물질을 저감하고 거주자 입주 시의 실내공기질을 개선하기 위한 플러쉬아웃의 시행을 의무화하고 있다. 플러쉬아웃은 대형 팬이나 기계환기 팬을 이용하여 외기를 실내로 유입한 후, 실내오염물질을 희석하여 외부로 배출시키는 과정을 말하며, 기준에서는 각 세대의 단위면적당 400 m³/m²이상의 외기풍량을 공급하도록 규정하고 있다. 또한, 플러쉬아웃 시행 시, 적합한 실내 환경으로 16°C 이상의 실내온도와 상대습도를 60% 이하로 유지할 것을 권장하고 있다.

선행연구⁽²⁾에서는 공동주택을 시공한 국내의 건설사를 대상으로 플러쉬아웃의 시행현황 및 그 방법에 대

하여 설문조사를 실시하였다. 설문조사 결과, 각 건설사는 플러쉬아웃을 시행하고는 있으나, 그 구체적인 방법에 있어서는 서로 상이한 것을 파악할 수 있었으며, 특히 겨울철에 실내온도를 16℃ 이상으로 유지하기 위하여 난방을 실시하는 곳은 57%에 불과한 것으로 조사되었다. 또한, 난방을 실시하지 않는 원인으로 건설공정의 문제와 함께 추가적으로 발생하는 비용이 거론되었다. 따라서 본 연구에서는 겨울철의 플러쉬아웃 시행에 초점을 맞춰, 플러쉬아웃 시행 조건에 따라 추가되는 난방에너지 비용을 건물에너지 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다.

2. 시뮬레이션 대상 및 방법

2.1 시뮬레이션 대상 지역 및 시기

시뮬레이션 대상 지역은 국내의 난방도일(Heating degree days)로부터 구분한 기후지역 중 제주지역을 제외한 중부지역과 남부지역에서 각각 한 지역씩을 선정하였다. 시뮬레이션은 겨울철 난방기인 12월에서 2월까지로 하였으며, 각 해당 지역의 일평균 외기온도와 분석시기를 Fig. 1에 나타내었다.

이 때 기상데이터는 건물에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus에서 제공하는 IWEC(International Weather for Energy Calculations 데이터⁽³⁾)를 활용하였으며, 인천의 경우 일평균 외기온은 -8.4~9.6℃의 온도분포를, 광주는 이 보다 평균 2.8℃ 높은 -6.2~12.2℃의 분포를 나타내었다.

2.2 시뮬레이션 대상 세대

중부지역인 인천과 남부지역인 광주에서 겨울철의 난방에너지소비량을 산출하기 위하여, 건물에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus(Ver. 8.3)를 활용하여

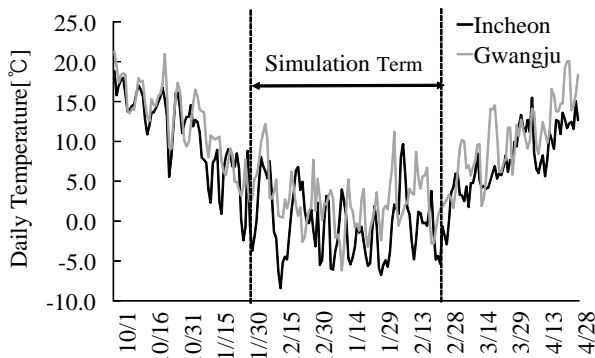


Fig. 1 Daily outdoor temperature during heating season in each climate zone.

선행연구⁽²⁾에서 제시된 공동주택의 표준세대를 모델링 하였으며, Table 1은 표준세대의 물리적 특성, Fig. 2에는 세대의 모습을 나타낸다.

2.3 에너지 비용 산출 방법

플러쉬아웃 시행에 따른 난방에너지 비용을 산출하기 위해, EnergyPlus로 산출한 난방에너지에 Table 2의 한국도시가스협회에서 제공하는 도시가스 요금표⁽⁴⁾을 활용하여, 식(1)과 같이 난방에너지 비용(CH)을 산출하였다. 여기서 Q_H 는 난방에너지 소비량을, Basic Rate는 세대 당 도시가스 기본요금을 나타내며 계산된 비용에 부가세(10%)를 곱하여 최종 난방에너지 비용을 산출하였다.

$$C_H = [Basic\ Rate + (Q_H \times Cost)] \times 1.1 \quad (1)$$

플러쉬아웃 시행 시에는 난방 외에도 환기팬을 가동하기 위한 전력이 소비되며 환기팬에서 소비되는 전력량을 계산하기 위해 시중에 유통 중인 환기팬들의 제원을 조사하였다. Table 3은 대표적인 제품의 제원을 나타내며, 환기팬에 따른 전력비용은 Table 4에 나

Table 1 Characteristics of the simulated housing unit

Category	Characteristics
Floor Area	85 m ²
Ceiling Height	2.3 m
Building Type/ Orientation	Flat type/South
Heating System (Efficiency)	Individual under-floor radiation heating(80%)
Wall/Window U-Value	0.49/2.70[W/m ² K]
Window-to-wall Ratio	0.47

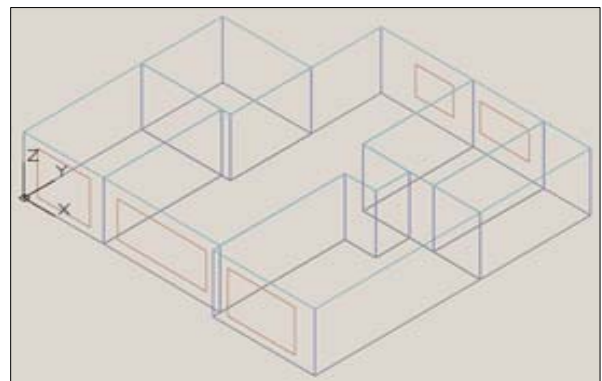


Fig. 2 The schematic of the housing unit modeled by EnergyPlus.

타낸 한국전력공사의 전기요금표⁽⁵⁾와 식(2)를 통해 계산하였다. 전기요금의 경우, 부가세 외에 전력산업기반기금 요율(3.7%)이 적용되었다.

$$C_E = [BasicRate + (W \times Cost)] \times (1.1 + 0.037) \quad (2)$$

본 연구에서는 플러쉬아웃 시행 시 권장 실내온도를 유지하기 위한 난방에너지 비용과 환기팬이 소비하는 전력요금의 합을 에너지 비용으로 정의하였다. 플러쉬아웃 기준에서는 실내 상대습도를 60% 미만으로 유지하고 있는 것을 권장하고 있으나, 공동주택이라는 것과 현장 특성을 고려한다면 가습과 제습이 어려울 것으로 판단되어 에너지 시뮬레이션에서는 가습과 제습을 고려하지 않았으며, 그 비용 또한 에너지 비용에서 제외하였다.

2.4 시뮬레이션 조건

공동주택에서 플러쉬아웃 시행에 따른 에너지 비용 시뮬레이션 조건을 Table 5에 요약하여 나타낸다. 모든 시뮬레이션에서는 기준에서 제시하고 있는 외기도입 풍량 400 m³/m²을 만족하도록 환기횟수 또는 플러쉬아웃 시행시간을 설정하였으며 시뮬레이션은 크게 3가지로 나누어 진행하였다.

첫 번째로는 외기온에 따른 에너지 비용의 차이를 분석하고자 12월 1일~2월 28일 사이에 환기횟수 0.5회/h로 14일간 플러쉬아웃을 시행하였을 때의 에너지 비용을 분석하였다. 두 번째로는 실내온도에 따른 에너지 비용의 차이를 파악하고자 플러쉬아웃 중 실내온도를 각각 10°C, 20°C, 30°C로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이 때 환기횟수 및 시행시간은 첫 번째와 동일하게 하였으며 플러쉬아웃 시기는 외기온이 가장 낮은 기간(인천 12월 11일~24일, 광주 1월 12일~25일)으로 하였다. 세 번째로는 환기횟수 및 시행시간에 따른 에너지 비용의 차이를 분석하고자 환기횟수 즉 외기도입량을 4단계로 구분하여 시뮬레이션을 실시하였다. 플러쉬아웃의 시행 시기는 앞서 두 번째와 동일한 기간으로 하였다.

Table 2 Cost of the korea city gas association (Unit : ₩/MJ, VAT excluded)

Region	Cost		
	Basic Rate	Individual Heating	Central Heating
Incheon	840	19.3	19.3
Gwangju	750	20.3	20.3

Table 3 Electricity use by fan

CMH[m ³ /h]	Electricity Consumption[W]
100	47
150	54
200	79
300	110

Table 4 Cost of the korea electric power corporation (VAT excluded)

Consumption	Basic Rate [₩/Household]	Cost [₩/kWh]
100 kWh or Less	410	60.7
101 ~ 200 kWh	910	125.9
201 ~ 300 kWh	1,600	187.9
301 ~ 400 kWh	3,850	280.6
401 ~ 500 kWh	7,300	417.7
More 500 kWh	12,940	708.5

Table 5 Simulation settings according to various flush-out conditions

Case	ACH [1/h]	Days	Temp. [°C]	TA* [m ³ /m ²]
Case 1	0.5	14	20	400
			10	
Case 2	0.5	14	20	
			30	
Case 3	1.5	5	20	
	1.0	7		
	0.7	10		
	0.5	14		

TA* : Total supplied outdoor Air Volume.

3. 결과 및 고찰

3.1 난방에너지 소비량

에너지 시뮬레이션을 통해 산출한 난방에너지 소비량의 신뢰성을 검증하기 위해, 시뮬레이션의 결과 값 중 인천지역의 단위면적 당 부하와 기존연구의^(8,9) 난방에너지 실태조사 결과 값을 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서는 기존연구와의 비교를 위하여 Energy Plus의 기상데이터를 활용하여 해당지역의 난방도일(HDD₂₀)로 나누어 단위면적당 부하를 환산하였다. 또한, 기존연구의 난방에너지 실태조사 지역은 수도권 및 경기도

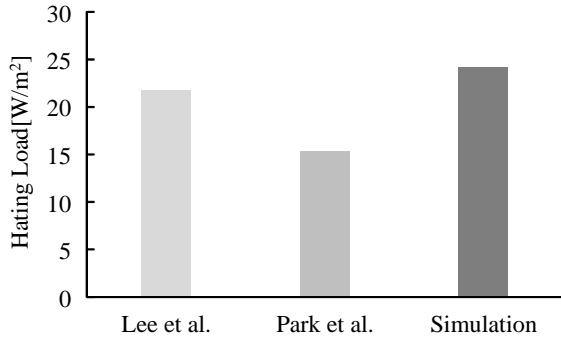


Fig. 3 Comparison of heating load between previous researches and simulation(ACH 0.7).

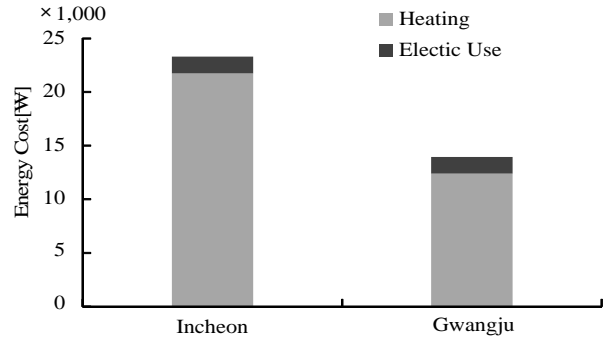


Fig. 5 Energy cost of heating and electric use.

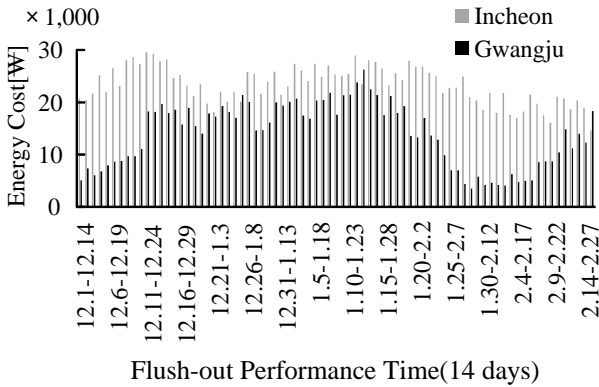


Fig. 4 Energy cost changes by the start time of flush-out during heating period.

역이었으며, 조사 당시 공동주택의 환기횟수 기준은 0.7회였기 때문에, 시뮬레이션 값 중에서 인천지역의 0.7회의 환기횟수에 따른 값을 비교하였다. 그 결과, 본 연구에서 사용된 에너지시뮬레이션 방법에 의한 값과 기존연구의 실태조사 값과 유사한 결과를 나타내는 것으로 확인되었다. 기존 연구 결과와 약 20% 내외의 차이가 있는 것은 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 대상 표준세대의 열적성능의 차이로 인한 것으로 판단되었다.

3.2 외기온과 에너지 비용

전체 난방기간 중 플러쉬아웃 시기별 에너지 비용을 Fig. 4에 나타낸다. 인천은 최저 14,625원/세대, 최대 29,452원/세대의 에너지 비용이 발생하는 것으로 나타났으며, 광주는 인천보다 평균 9,346원이 낮은 3,521원/세대~26,268원/세대로 조사되었다. 또한 각 지역의 평균 에너지 비용에서 난방이 차지하는 비율이 환기팬의 동력비용 보다 매우 높은 것으로 조사되었다 (Fig. 5).

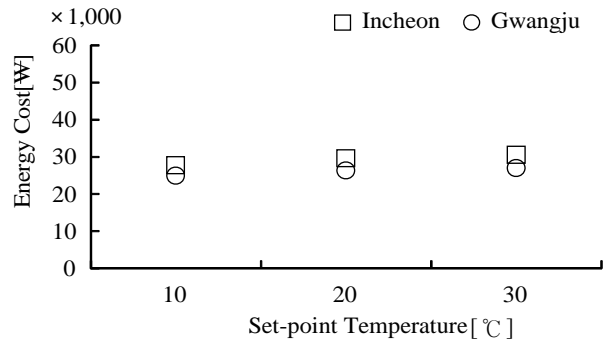


Fig. 6 Energy cost changes according to the indoor set-point temperature.

3.3 실내 설정온도와 에너지 비용

각 지역에서 가장 많은 에너지 비용이 발생한 시기 (인천 12월 11일~24일, 광주 1월 12일~25일)를 선택하여 환기횟수를 0.5회로 고정하고 실내 설정온도를 10°C, 20°C, 30°C로 변화시켜 시뮬레이션을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 시뮬레이션 결과, 실내설정 온도가 10°C씩 증가할 때마다 인천은 평균 1,407원/세대, 광주는 1,031원/세대의 비용이 증가하는 것으로 조사되었다.

3.4 환기횟수와 에너지 비용

Fig. 7은 실제 외기온 조건하에서 플러쉬아웃 풍량 변화에 따른 에너지 비용의 산출한 결과를 나타낸다. 인천과 광주 모두 플러쉬아웃 풍량, 즉 시행 기간에 따른 차이는 작은 것으로 조사되었다. 이는 일평균 외기온이 가장 낮은 날로부터 플러쉬아웃을 실시하였고 이후부터 실제 외기온의 데이터를 활용하였기 때문으로 판단된다.

외기온의 변화가 난방에너지에 미치는 영향을 배제하기 위하여 플러쉬아웃 시행기간에 일평균 외기온이 최저인 날이 연속된다고 가정하여 동일한 분석을 실

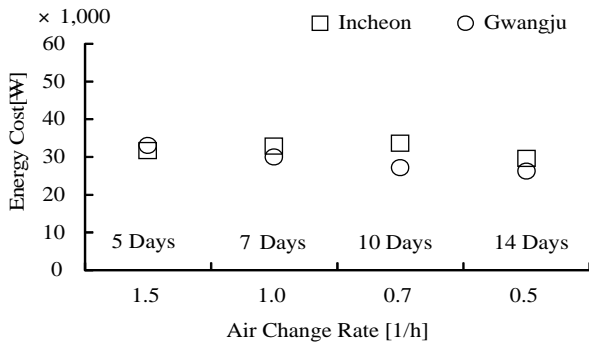


Fig. 7 Energy cost changes according to the air change rate in actual outdoor climate.

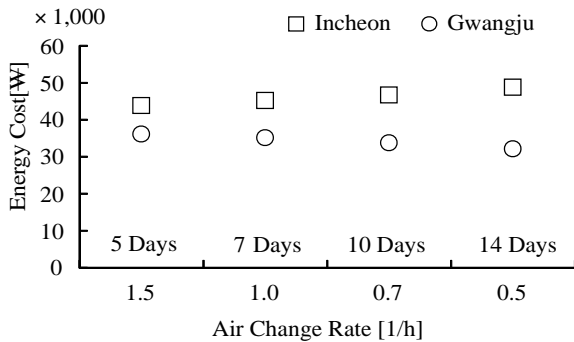


Fig. 8 Energy cost changes according to the air change rate at constant outdoor temperature.

시하였으며 그 결과를 Fig. 8에 나타낸다. 난방부하가 큰 인천에서는 환기횟수가 감소할수록 즉 플러쉬아웃 기간이 증가함에 따라 에너지 비용이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 인천과 비교하여 외기의 온도가 높은 광주에서는 플러쉬아웃 시행기간이 길어질수록 에너지 비용이 오히려 낮아지는 것으로 조사되었다. 따라서 가장 추운 날을 제외한다면 플러쉬아웃 기준 풍량 $400 \text{ m}^3/\text{m}^2$ 을 만족하는 조건에서 플러쉬아웃의 시행기간이 에너지 비용에 미치는 영향은 그리 크지 않은 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 겨울철 플러쉬아웃 시행으로 인한 신축 공동주택에서의 에너지 비용을 분석하기 위하여 중부지역의 인천과 남부지역의 광주에서 난방에너지 시뮬레이션을 실시하였다. 이를 통하여 플러쉬아웃 시행 방법에 따른 추가적 난방에너지 비용을 분석하였으며, 본 연구의 주요결론은 다음과 같다.

- (1) 겨울철 플러쉬아웃의 권고조건을 만족하기 위하여 난방을 하는 경우, 인천은 세대 당 14,625원~29,452원, 광주는 3,521원~26,268의 에너지 비용이 발생

하는 것으로 조사되었다.

- (2) 실내 설정온도에 따른 에너지 비용 분석결과, 설정온도가 10°C 씩 증가할 때마다 인천지역은 세대 당 평균 1,407원, 광주지역은 세대 당 1,031원의 비용이 증가하는 것으로 나타났다.
- (3) 플러쉬아웃의 시행기간에 따른 에너지 비용에 대한 분석결과, 가장 추운 날을 제외한다면 환기풍량 즉 플러쉬아웃의 시행기간에 따른 에너지 비용의 차이는 작은 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 2015년도 국토교통과학기술진흥원 연구비 지원에 의한 결과의 일부임(과제번호 : 15RERP-B0822 04-02).

References

1. MOLIT, 2014, Criteria for Health-friendly Housing Construction, Notice No. 2013-612, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
2. Kim, K. H., Lee, K. Y., and Park, J. S., 2015, A Study on the Current Status and Improvement in Performing Flush-out in Multi-family Residential Buildings, Korean Journal of The Architectural Institute, Vol. 31, No. 8, pp. 129-137.
3. DOE, Weather Data Sources, Department of Energy. (http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weath erdata_sources.cfm).
4. KEPCO, 2013, Electric Cost Table, Korea Electric Power Corporation(<http://cyber.kepco.co.kr>).
5. Korea City Gas Association, 2015, City Gas Cost Table(<http://www.citygas.or.kr/>).
6. Lee, B. J. et al., 2003, Survey on Energy Consumption according to Heating Methods in Apartment Houses, Proceedings of the SAREK Winter Annual Conference, p. 118.
7. Park, S. H. et al., 2014, A Survey on Energy Consumption through Operational Level in Apartment Buildings, Korean Journal of The Architectural Institute, Vol. 30, No. 2, pp. 233-240.
8. Construction Cost Research Institute, Calculation Method for Ground Floor Construction Cost(<http://www.anycost.or.kr>).
9. Lee, K. Y., Kim, K. H., and Park, J. S., 2015, An Analysis of Energy Cost for Performing Flush-out in Winter, Proceedings of The Architectural 2015 Annual Autumn Conference, Vol. 35, No. 2, pp. 59-60.