

## 기후변화를 고려한 외벽 최적단열두께 검토

## Examination of the Optimal Insulation Thickness of Exterior Walls for Climate Change

정재훈\*

Jung, Jae-Hoon

## Abstract

By strengthening the insulation performance of a building, a great deal of energy can be saved and a comfortable indoor environment can be offered to people. On the other hand, the climate, which has a great influence on the indoor environment, is changed by global warming. Therefore, in planning building envelope structure and design, climate change should be considered.

In this paper, the optimal insulation thickness of exterior walls was calculated by an economic assessment method using heating degree-days. Additionally, how much influence climate change has on planning building insulation was investigated. The examination showed that heating degree-days have decreased by about 10% due to climate change in the past few decades. It was also shown that the optimal insulation thickness of exterior walls was thin, at about 6%, in three representative Korean cities (Seoul, Daejeon, Jeju).

키워드 : 최적단열두께, 기후변화, 난방도일, 생애주기

Keywords : Optimal insulation thickness, Climate change, Heating degree-days, Life cycle

## 기호설명

$cp_a$	: 공기 비열[J/m <sup>3</sup> · °C]
$C_h$	: 난방단가[원/kWh]
$C_i$	: (단위벽체면적당) 초기단열재비용[원/m <sup>2</sup> ]
$C_o$	: (단위벽체면적당) 연간 난방비용[원/m <sup>2</sup> ]
$D_d$	: 난방도일[°C · day]
$D_h$	: 난방도시[°C · hour]
$f_i$	: 내표면 열전달률[W/m <sup>2</sup> · °C]
$f_o$	: 외표면 열전달률[W/m <sup>2</sup> · °C]
$H_h$	: 난방부하[W]
$k$	: 열전도율[W/m · °C]
$K$	: 열관류율[W/m <sup>2</sup> · °C]
$q_h$	: (단위벽체면적당) 열손실계수[W/m <sup>2</sup> · °C]
$Q_y$	: (단위벽체면적당) 연간 열손실량[Wh/m <sup>2</sup> ]
$R$	: 열저항[m <sup>2</sup> · °C/W]
$S$	: 벽체면적[m <sup>2</sup> ]
$V$	: 환기량[m <sup>3</sup> /s]
$Y$	: 생애주기[년]
$\theta_i$	: 실온[°C]

$\theta_o$  : 외기온[°C]

$\theta_{om}$  : 일평균외기온[°C]

## 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 목적

최근 에너지문제는 인류가 직면한 최대의 과제이며, 이를 해결하기 위한 각종 연구가 진행되고 있다. 우리나라의 에너지 해외 의존도는 약 96%에 달하며, 건물부문의 에너지는 전체 에너지사용량의 약 22.1%에 이른다<sup>1)</sup>. 이중 건물의 단열성능을 강화함으로써 건물 외부로 손실되는 에너지의 상당량을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

건축물에서의 단열은 에너지 절감뿐 아니라 거주자에게 쾌적한 환경을 제공함으로써 작업 생산성을 향상시킬 수 있다. 이 때문에 우리나라에서는 저에너지하우스, 패시브하우스, 3리터하우스, 에너지제로하우스, 에너지플러스하우스 등 에너지절약형 건축물의 확대, 신축 건축물의 난방에너지 저감 및 창호, 벽 등의 단열기준을 강화하기 위하여 국토해양부에서 건축물의 에너지절약설계기준을 고시하고 있다<sup>2)</sup>.

한편, 건물의 내부와 외부환경은 해당 지역의 기후 및 기상 조건으로부터 큰 영향을 받는다. 따라서 건축물의 형태 및 벽체 구성재료 등은 해당 건물이 속한 지역, 기

\* 호서대학교 조교수 (jungjh@hoseo.edu)

후, 풍도와 깊이 연관되어 있다. 그런데 최근 화석에너지의 남용으로 인한 대기 중의 CO<sub>2</sub> 가스를 비롯한 온실가스의 증가는 지구온난화를 가속화시키고 있다. 이는 기후변화를 비롯하여 전 지구적인 환경에 심각한 영향을 미치고 있다<sup>3)</sup>.

건물의 지역별 에너지 사용량에 대한 특성, 난방설비 용량 및 에너지 사용량 등을 간편하게 예측하는 방법으로 난방도일이 사용되어 왔다<sup>4)</sup>. 어느 지역의 난방도일을 산정하기 위해서는 과거 기상자료의 통계치를 필요로 하는데, 우리나라에서는 지난 1951년부터 1980년까지의 30년간의 기상데이터를 활용하고 있다<sup>5)</sup>. 그러나 근래 지구온난화에 따른 기후변화는 심각한 기온의 상승을 수반하고 있어, 지구온난화가 두드러지지 않았던 1950, 60, 70년대의 기상자료를 사용할 경우, 난방도일 값이 과대평가될 우려가 있다.

이 같은 배경 가운데, 국외적으로는 핀란드 등 북유럽 국가들을 중심으로 무부하온도를 고려한 난방도일 산정 기준을 제시하여, 난방도일을 재정립하기 위한 연구가 진행되고 있다<sup>6,7)</sup>. 국내적으로는 최근 30년간의 기상자료를 활용하여 무부하온도를 고려한 난방도일 산정 기준에 기초한 난방도일 값의 재산정 및 타당성 검토에 관한 연구<sup>8)</sup>, 기상청의 기후데이터와 기후변화 모델의 일종인 HadCM3을 사용하여 서울과 여수 지역의 냉난방도일을 산출하고 특징을 비교·검토한 연구 등이 있다<sup>9)</sup>.

본 연구에서는 이상과 같은 기후변화의 건축물 외피설계에의 영향에 대하여 검토한다. 우선, 기후변화에 따른 난방도일의 변화 정도를 알아본 뒤, 난방도일을 활용하여 건축물의 최적단열두께를 산정한다. 최종적으로 기후변화의 건축물 단열설계에의 영향에 대하여 검토한다.

## 1.2 연구방법 및 절차

본 논문에서는 지구온난화에 따른 기후변화를 고려하여 난방도일 산정시 사용되는 통계용 기상자료를 가장 최근의 것으로 사용하되, 건축물의 생애주기를 고려하여 최근 20년간의 자료를 사용한다. 또한, 이렇게 산출된 난방도일값과 기존의 난방도일값을 활용하여 건축물의 단열제비용 및 생애주기에 걸친 난방비를 합한 총비용이 최소가 되는 최적단열두께를 산정한다.

## 2. 기후변화를 고려한 난방도일

### 2.1 천안지역의 외기온도

지구온난화현상이 두드러지지 않았던 때의 기상데이터를 사용할 경우, 난방부하를 과다하게 평가할 가능성이 있다. 따라서 우선 저자가 거주하는 천안지역의 외기온도를 대상으로 관측이 시작된 1973년부터 2010년까지 38년간의 외기온도 변화를 검토해보았다. 그림 1은 천안지역의 연도별 평균기온과 일평균기온의 연도별 표준편차를 나타낸 것이다. 천안지역의 기온은 연도별로 상승과 하강을 반복하고 있으나, 전체적으로 볼 때 지난 38년간 서서히 증가하는 추세를 알 수 있다. 그림 2에 10년 단위로 연대별 평균기온을 나타내었다. 1970년대에서 2000년대에 이르기까지

천안지역의 외기온도는 지속적으로 상승하여 왔으며, 지난 30년 동안 약 0.6℃ 상승했음을 알 수 있다. 또한 점차 급상승하는 추세를 보이고 있다.

한편, 그림 1의 일평균기온의 연도별 표준편차를 살펴보면, 1980년대 중반에 11℃가 넘는 피크치가 보인다. 당시 연교차가 컸음을 알 수 있다.

이러한 천안지역의 외기온도 상승추세를 통해 볼 때, 지구온난화 및 열섬 현상 등으로 우리나라 주요 도시의 기온은 연년 상승하고 있을 것으로 추정된다. 따라서 1951년부터 1980년까지의 기상데이터를 사용하여 작성된 난방도일은 지구온난화 등으로 인한 작금의 현실을 제대로 반영하지 못할 가능성이 클 것으로 판단된다.

### 2.2 기후변화를 고려한 난방도일<sup>4,10)</sup>

난방도일은 어느 지역의 추운 정도를 나타내는 지표로, 주택 등의 겨울철 난방에 필요한 열량이나 연료비를 계산할 때 사용된다. 난방에 필요한 열량, 즉 난방부하  $H_h$  [W]는 건물 단열의 양부와 규모로 정해지는 종합 열손실계수  $\sum_{i=1}^m K_i S_i + c\rho_a V$  [W/℃]와 실온  $\theta_i$ 와 외기온  $\theta_o$ 의 차의 곱으로 구할 수 있다. 즉,

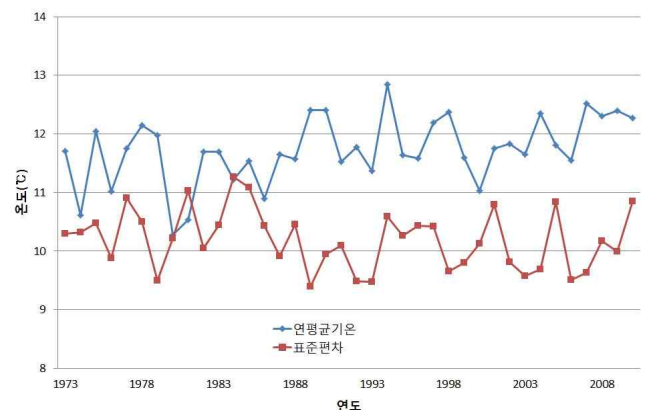


그림 1. 천안지역의 연평균기온과 표준편차

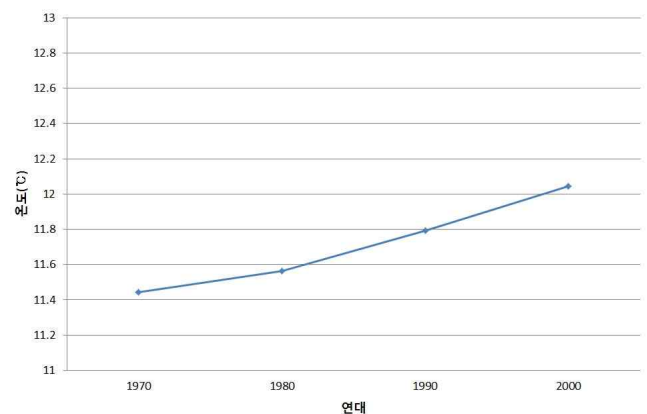


그림 2. 천안지역의 연대별 평균외기온

$$H_h = \left( \sum_{i=1}^m K_i S_i + c\rho_a V \right) (\theta_i - \theta_o) \quad [W] \quad (1)$$

이다. 여기서,  $H_h$ : 난방부하[W],  $K$ : 벽체의 열관류율 [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ],  $S$ : 벽체 면적[ $m^2$ ],  $c\rho_a$ : 공기 비열[ $J/m^3 \cdot ^\circ C$ ],  $V$ : 환기량[ $m^3/s$ ],  $\theta_i$ : 실온[ $^\circ C$ ],  $\theta_o$ : 외기온[ $^\circ C$ ]

1일의 난방부하는 실온  $\theta_i$ 를 하루 종일 일정하다고 하면, 난방부하  $H_h$ 를 외기온  $\theta_o$ 의 시각별 변화에 따라 24시간 가산하여 구할 수 있는데,  $\theta_o$ 를 일평균기온  $\theta_{om}$ 을 사용하여  $H_h$ 를 24배하여도 마찬가지이다. 이렇게 하면 겨울철 난방에 필요한 열량은 다음 식과 같이 된다.

$$H_{wh} = \left( \sum_{i=1}^m K_i S_i + c\rho_a V \right) \times 24 \times \sum_1^n [\theta_i - \theta_{om(n)}] \quad (2)$$

여기서,  $H_{wh}$ : 겨울철 난방부하[Wh/season],  $n$ : 난방일수 [day],  $\theta_{om}$ : 일평균 외기온[ $^\circ C$ ]

식 (2)의  $\sum_1^n [\theta_i - \theta_{om(n)}]$ 이 난방도일  $D_d$ 에 해당하는데, 어느 지역의 통계상의 일평균 외기온  $\theta_{om}$ 이 난방설계실온  $\theta_i$  이하가 되는  $n$ 일간에 대하여  $(\theta_i - \theta_{om})$ 을 합계한 것이다.

$$D_d = \sum_1^n [\theta_i - \theta_{om(n)}] \quad [^\circ C \cdot \text{day}] \quad (3)$$

(3)식을 사용하여 난방도일에 따라 구분된 제 I 지역(중부지역), 제 II 지역(남부지역), 제 III 지역(제주도)의 대표도시로 각각 서울, 대전, 제주를 택하여 각각의 난방도일을 산출하였다. 난방설계실온으로는  $18^\circ C$ 를, 일평균 외기온은 기상청 홈페이지 자료를 활용하였다<sup>11)</sup>. 기후변화의 영향을 알아보기 위하여 다음의 두 경우를 상정하였다. 첫 번째는 기존에 활용되어온 1951~1980년까지의 30년간의 평년 데이터를 사용한 경우이며, 두 번째는 가장 최근의 데이터를 활용하되 건물의 생애주기를 고려하여 최근 20년간, 즉, 1991~2010년까지의 데이터를 사용한 경우이다. 단, 첫 번째의 경우, 서울의 관측데이터는 1960~1980년까지의 21년, 대전은 1969~1980년까지의 12년, 제주는 서울과 마찬가지로 1960~1980년까지의 21년간 데이터가 공개되어 있어 이들 데이터를 사용하였다. 각 도시의 난방도일 및 이전대비 감소비율을 표 1에 나타내었다.

서울의 경우, 1980년 이전 데이터를 사용했을 때 약 2900[ $^\circ C \cdot \text{day}$ ], 최근 데이터를 사용했을 때 약 2600[ $^\circ C \cdot \text{day}$ ]로 약 9.8% 감소하였다. 마찬가지로 대전의 경우,

표 1. 대표지역의 난방도일 비교(단위:  $^\circ C \cdot \text{day}$ )

	1980년 이전 데이터 사용	최근 20년간 데이터 사용	감소비율 (%)
서울	2922.4	2636.9	9.8
대전	2882.8	2566.9	11.0
제주	1765.0	1570.0	11.1

1980년 이전 데이터를 사용했을 때에 비해 최근 데이터를 사용했을 때 약 11% 감소하였으며, 제주는 약 11.1% 감소하였다. 지역에 따라 다소 차이가 있으나, 전체적으로 난방도일 값이 10% 안팎으로 감소하였다.

### 3. 외벽의 최적단열두께 산정

#### 3.1 경제성 평가에 의한 최적단열두께<sup>5)</sup>

단열재 사용은 쾌적한 온열환경 및 에너지절약 설계를 위한 필수사항으로, 최적단열두께로 설계할 때 경제성을 극대화할 수 있다<sup>12,13)</sup>. 단열재의 최적두께 설계방법으로 비용분석에 의한 방법을 들 수 있다. 비용은 초기투자비  $C_i$ 에 해당하는 단열재 비용 및 운전비  $C_o$ 에 해당하는 건물 난방비를 생각할 수 있다. 초기투자비의 증가는 운전비의 감소를 가져오며, 이 둘을 단열재 두께  $x$ 의 함수로 나타내어 건축물의 전생애  $Y$ 에 걸쳐 검토한다. 이같이 하면, 단위 벽체면적당 총비용  $y$ 는

$$y = C_i + Y \times C_o \quad [\text{원}/m^2] \quad (4)$$

가 된다.

단열재의 비용은 단위  $m^3$ 당 비용  $C_{icm}$  [원/ $m^3$ ]으로 주어지며, 단열재 두께  $x$ 를 독립변수로 사용하면 벽체 단위면적당 초기투자비  $C_i$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_i = C_{icm} \times x \quad [\text{원}/m^2] \quad (5)$$

운전비, 즉 연간 난방비는 건물조건과 기후조건에 영향을 받는다.

첫 번째로, 건물조건에 경우, 단열재를 제외한 외벽은 벽체 구성재료에 따라 다음과 같은 열저항  $R$  [ $m^2^\circ C/W$ ]을 갖는다.

$$R = \frac{1}{f_o} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{k_i} + \frac{1}{f_i} \quad [m^2^\circ C/W] \quad (6)$$

여기서,  $f_o$ : 벽체 외표면 열전달률 [ $W/m^2^\circ C$ ],  $n$ : 벽체 구성재료수,  $l_i$ :  $i$ 번째 구성재료 두께[m],  $k_i$ :  $i$ 번째 구성재료 열전도율 [ $W/m^\circ C$ ],  $f_i$ : 벽체 내표면 열전달률 [ $W/m^2^\circ C$ ]

이와 같은 외벽에 열전도율  $k$  [ $W/m^\circ C$ ], 두께  $x$  [m]인 단열재를 추가하면, 외벽의 총 열저항  $R_t$  [ $m^2^\circ C/W$ ]는 다음과 같다.

$$R_t = R + \frac{x}{k} \quad [m^2^\circ C/W] \quad (7)$$

이 외벽의 열관류율은

$$K_t = \frac{1}{R_t} \quad [W/m^2^\circ C] \quad (8)$$

이다. 건물의 난방부하는 (1)식과 같이 외벽을 통한 관류 손실열량 뿐 아니라, 외벽 이외의 외피(예를 들면, 유리)를 통한 관류 손실열량, 침기(또는 환기)에 의한 손실열량에 의하여 결정된다. 그러나 본 연구에서는 실내가 설정온도로 일정하게 난방되는 상태이므로 외벽의 단열재 두께에 영향을 받는 손실열량은 외벽을 통한 관류 손실열량뿐이라 할 수 있다. 따라서 유리창 등 외벽 이외의 건물외피 및 침기에 의한 영향을 배제하면, (8)식은 외벽의 단위면적당 열손실계수  $q_h$  와 같다.

$$q_h = K_t = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R+x/k} \text{ [W/m}^2\text{C]} \quad (9)$$

두 번째로, 연간 난방비는 기후조건의 영향을 받는다. 기후조건으로는 2장의 난방도일[ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{day}$ ]을 활용할 수 있다. 단, 차원을 고려하여 난방도일[ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{day}$ ]의 24배인 난방도시[ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h}$ ]로 환산하여 사용한다.

$$D_h = D_d \times 24 \text{ [}^{\circ}\text{C} \cdot \text{h]} \quad (10)$$

벽체의 단위면적당 열손실계수  $q_h$ 와 난방도시  $D_h$ 의 곱으로 단위벽체를 통한 연간 열손실량  $Q_y$ 를 구할 수 있다.

$$Q_y = q_h \times D_h = \frac{1}{R+x/k} \times 24D_d \text{ [Wh/m}^2\text{]} \quad (11)$$

따라서 난방단가를  $C_h$ [ $\text{원/kWh}$ ]라 하면, 연간 운전비(난방비)  $C_o$ 는 다음과 같이 된다.

$$C_o = Q_y \times \frac{C_h}{1000} = \frac{1}{R+x/k} \times 24D_d \times \frac{C_h}{1000} \text{ [원/m}^2\text{]} \quad (12)$$

따라서 식 (5)와 식 (12)를 식 (4)에 대입하면, 총비용  $y$ 는 다음과 같이 된다.

$$y = C_{icm}x + Y \times \left( \frac{1}{R+x/k} \times 24D_d \times \frac{C_h}{1000} \right) \text{ [원/m}^2\text{]} \quad (13)$$

식 (13)의 총비용  $y$ 가 최소값이 되도록 단열재 두께  $x$ 를 결정하는 것이 이 문제의 목적이다. 이 문제는 수치적인 방법과 해석적인 방법으로 풀 수 있다. 수치적 방법으로는 (13)식에 단열재의 두께를 직접 대입하여 총비용  $y$ 가 최소가 되는  $x$ 값을 찾는 것이다.

또한, 해석적 해법으로는 방정식

$$y = \frac{a}{c+bx} + qx \quad (14)$$

를 변수  $x$ 로 미분하면,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-ab}{(c+bx)^2} + q \quad (15)$$

이며,  $y$ 의 최소값은 극한( $dy/dx=0$ )에서 주어지므로 이때의  $x$ 는

$$x = \frac{1}{b} \left[ \sqrt{\frac{ab}{q}} - c \right] \quad (16)$$

가 된다. 따라서 식 (13)의 총비용  $y$ 가 최소가 되는 단열재 두께  $x_{opt}$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$x_{opt} = k \left[ \sqrt{\frac{Y \times 24D_d \times (C_h/1,000)}{k \times C_{icm}}} - R \right] \quad (17)$$

### 3.2 계산예제 및 조건

검토에 사용한 외벽 모델을 그림 3에 나타내었다. 이 벽체는 건물 외측 면으로부터 모르타르 10mm, 콘크리트 200mm, 단열재, 내장재(석고보드) 10mm 순으로 구성되어 있다. 벽체를 구성하는 재료별 열전도율은 모르타르 1.3 [ $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ], 콘크리트 1.4 [ $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ], 석고보드 0.11 [ $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ]을 사용하였다. 단열재의 열전도율은 참고문헌 2)의 가등급 단열재 압출법보온판 3호를 가정하여 0.031 [ $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ]을 사용하였다.

벽체 외표면 열전달저항 및 내표면 열전달저항 값으로는 참고문헌 2)의 거실 외벽의 경우를 가정하여 각각 0.043, 0.11 [ $\text{m}^2\text{C/W}$ ]을 사용하였다.

단열재의 비용으로는 가등급 압출법보온판 3호(규격: 50mm×1m×2m)로  $\text{m}^2$ 당 5,000원을, 건축물의 생애주기로는 재건축까지의 아파트 평균수명 22.2년<sup>14)</sup>을 적용하였다.

건축물의 난방단가는 도시가스 열원을 가정하여 한국가스공사의 주택용 천연가스요금 745.57 [ $\text{원/m}^3$ ]을 사용하였으며, 발열량을 기준으로 [ $\text{원/kWh}$ ] 단위로 환산하였다<sup>15)</sup>.

난방도일은 2장의 결과 값을 적용하였다.

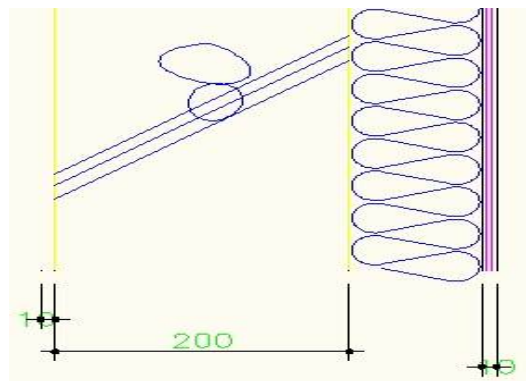


그림 3. 계산대상 외벽

### 3.3 계산결과 및 고찰

1) 지역별 최적단열두께

3.2절의 조건하에 식 (4), (5), (12)를 사용하여 단열재 두께를 1~50cm까지 변경하였을 때의 단열재비용, 건축물의 생애주기에 걸친 난방비용 및 총비용을 계산하였다. 1980년 이전 데이터를 사용한 서울 지역 난방도일을 입력하여 계산한 결과를 그림 4에 나타내었다.

단열재비용은 두께에 직선적으로 비례하여 증가하는 반면, 난방비용은 두께에 반비례하여 감소하고 있다. 총비용을 보면, 단열재 두께가 1cm일 때 약 386,000[원/m<sup>2</sup>]이었으나, 점차 감소하여 21~38cm 범위에서 60,000[원/m<sup>2</sup>] 이하를 유지하고 있으며, 39cm 이상에서는 60,000[원/m<sup>2</sup>]을 상회하여 완만하게 증가하고 있다. 총비용의 최소값은 단열재비용 직선과 난방비용 곡선이 만나는 두께 28cm와 29cm 사이에 존재한다.

한편, 식 (17)을 사용하여 서울, 대전, 제주 지역의 외벽 최적단열두께를 산출하였다. 1980년대 이전 데이터를 사용하여 산출한 난방도일을 활용한 경우와 1991년에서 2010년까지의 최근 20년간의 기상데이터를 사용한 경우에 대한 결과를 표 2에 나타내었다.

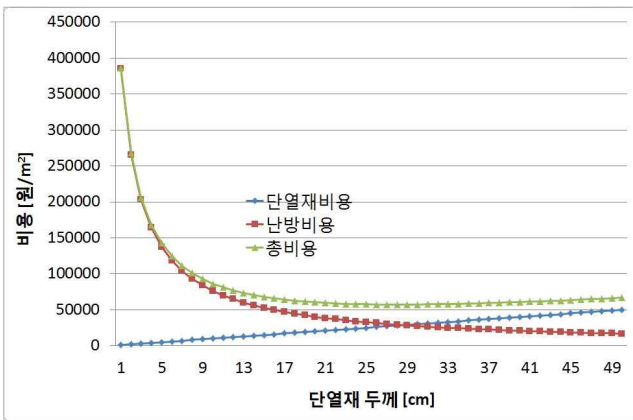


그림 4. 단열재 두께별 총비용의 변화

표 2. 대표지역의 최적단열두께(단위: mm)

	1980년 이전 데이터 사용	최근 20년간 데이터 사용	감소비율 (%)
서울	280.5	265.8	5.2
대전	278.5	262.1	5.9
제주	215.3	202.3	6.0

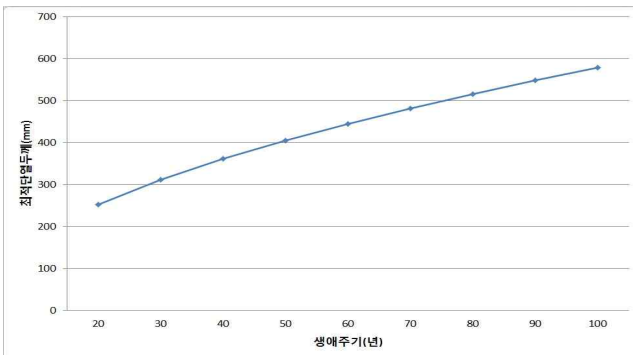


그림 5. 건축물의 생애주기별 최적단열두께

서울의 경우, 1980년 이전 데이터를 사용하였을 경우, 즉, 기후변화를 고려하지 않을 경우 28.1cm, 최근 20년간의 데이터를 사용하여 기후변화를 고려할 경우 26.6cm로 최적단열두께가 약 1.5cm, 즉 5.2% 감소하였다. 마찬가지로 대전과 제주의 경우도 각각 27.9cm에서 26.2cm로 5.9%, 21.5cm에서 20.2cm로 6.0% 감소하였다.

2) 건축물의 생애주기에 따른 최적단열두께

이상에서는 건축물의 생애주기로 재건축 아파트의 평균 수명인 22.2년을 사용하였으나, 건축물의 종류 및 용도 등에 따라 생애주기는 달라질 수 있다. 따라서 건축물의 생애주기로 20년부터 10년씩 증가시켜 100년까지의 최적단열두께를 검토해보았다. 그림 5는 최근 20년간의 데이터를 사용한 난방도일을 활용하여 서울지역에 대하여 검토한 결과이다.

생애주기가 20년일 때 최적단열두께는 약 25cm이었으나 건축물의 생애주기가 증가함에 따라 최적단열두께도 증가하고 있다. 생애주기가 20년에서 70년으로 3.5배 증가할 때, 최적단열두께는 25cm에서 50cm로 약 2배 증가하고 있다.

3.4 본 연구의 한계 및 향후 과제

본 논문에서는 22.2년을 아파트의 생애주기로 하여 단위 외벽면적을 통해 손실되는 열량 비용 및 (단위 외벽면적당) 두께에 따른 단열재비용을 합한 총비용이 최소가 되는 것을 최적을 평가하는 기준으로 설정하였다. 또한, 생애주기 동안 일평균외기온이 실내설정온도보다 낮은 날(난방대상일)에 대하여 실내온도를 설정온도로 유지(난방)한다는 '제한조건'을 설정하였다.

이상의 최적 평가기준과 제한조건을 종합하면, '22.2년 동안 일평균외기온이 실내 설정온도인 18℃보다 낮은 날에 대하여 실내온도가 18℃가 되도록 난방할 경우, 외벽의 단위면적당 관류손실열량 비용과 단열재비용의 합이 최소가 되는 단열재 두께는 얼마인가?'라는 최적문제가 된다.

즉, 본 논문에서 도출된 최적단열두께는 이상과 같은 최적 평가기준 및 제한조건하에 도출된 값으로, 일반 공동주택에 그대로 적용되는 것은 아니다. 최적을 평가하는 기준과 제한조건에 따라 결과는 달라진다.

또한, 본 연구에서는 아파트건물을 대상으로 난방도일을 사용하여 외벽의 최적단열두께를 산정하였다. 그러나 사무소건물, 판매시설 등 냉방부하가 많이 소요되는 건물의 경우, 외벽 최적단열두께 산정에 있어 냉방부하에 대한 고려가 필수적이라 할 수 있다. 뿐만 아니라 지구온난화의 영향으로 여름철의 기온도 점차 상승하고 있을 것으로 추정된다. 따라서 외벽의 최적단열두께를 산정하는데 냉방비용도 함께 검토할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이를 위해서는 우선 우리나라 주요지역에 대하여 냉방도일을 검토할 필요가 있다. 그리고 냉·난방도일을 함께 활용한 외벽의 최적단열두께에 대한 검토가 필요하다.

#### 4. 결 론

우리나라는 에너지의 해외 의존도가 크고 건물부문의 에너지는 전체 에너지사용량의 상당 부분을 차지하고 있다. 건축물의 단열성능을 강화하면 상당량의 에너지를 절감할 수 있을 뿐 아니라, 쾌적한 실내환경을 제공하여 작업성 및 생산성을 높일 수 있다.

한편으로 최근 지구온난화 등의 영향으로 건축물의 내부와 외부환경을 좌우하는 기후가 변화하고 있다. 이는 건축물의 외피설계에 있어서도 고려되어야 할 사항이다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 기후변화가 건축물의 단열설계에 어느 정도의 영향을 미치는지 검토하였다.

우선, 난방도일 산출을 위한 기상자료로 기존의 평년 데이터를 사용하였을 경우와 최근 20년 자료를 사용하였을 경우에 대하여 비교 검토하였다. 이렇게 산출된 난방도일을 활용하여 단열재비용과 건축물의 생애주기에 걸친 난방비용을 합한 총비용이 최소가 되도록 최적단열두께를 산정하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 우리나라의 3도시(서울, 대전, 제주)를 대상으로 1980년 이전 데이터와 최근 20년간의 데이터를 사용하여 난방도일을 산정한 결과, 최근의 데이터를 사용하여 구한 난방도일의 값이 기존 값에 비해 대략 10% 정도 감소하였다.

(2) 서울, 대전, 제주지역을 대상으로 기후변화가 두드러지게 나타나기 이전의 경우와 이후의 경우에 대하여 최적단열두께를 산정한 결과, 기후변화가 나타나기 이전에 비해 이후의 최적단열두께가 최대 6% 감소하였다.

(3) 건축물의 생애주기에 따른 최적단열두께를 검토한 결과, 서울의 경우 생애주기가 20년일 때 단열두께가 약 25cm이었으나, 생애주기가 70년으로 3.5배 늘어날 때, 단열두께는 약 50cm로 2배 증가하였다.

#### 후 기

이 논문은 2008년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(2008-0396).

#### 참고문헌

1. 2010 에너지·기후변화 편람, 에너지관리공단, 2010
2. 건축물의 에너지절약설계기준, 국토해양부 고시 제 2010 - 1031호, 2010
3. 기후변화정보센터, <http://www.climate.go.kr>
4. ASHRAE Handbook - Fundamentals(SI). Energy Estimating Methods (chapter 28), 1993
5. 이경희, 건축환경계획, 문운당, 2008
6. Orhan Büyükalaca, Hüsamettin Bulut, Tuncay Yilmaz, Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey, Applied Energy, Vol. 69, pp. 269-283, 2001
7. K. Papakostas, N. Kyriakis, Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece, Renewable Energy, Vol. 30, pp. 1873-1880, 2005
8. 조성환, 김성수, 최창용, 국내 15개 주요지역의 난방도일 계산

9. 유호진, 노경환, 서울과 여수지역에 HadCM3를 적용한 냉·난방도일의 변화량 분석, 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 9, No. 4, pp. 11-16, 2009. 08
10. 田中俊六 외 3인 공저, 최신 건축환경공학, 井上書院, 1999
11. 기상청, <http://www.kma.go.kr>
12. 강승희, 구보경, 황혜주, 석호태, 안홍섭, 송승영, 생애비용 분석을 통한 외벽 및 단열재료 종류별 냉동냉장창고 외피의 적정 단열두께 산정, 설비공학논문집, 제15권, 제5호, pp. 372-381, 2003
13. 권영철, 이재혁, 최원기, Low-E 단열재 적용에 따른 단열두께 절감 효과 분석, 한국건축친환경설비학회논문집, 제4권, 제4호, pp. 215-221, 2010
14. 이낙연, 2005년 건설교통부 국정감사 보도자료, 2005
15. 한국가스공사, <http://www.kogas.or.kr>

투고(접수)일자: 2011년 7월 14일

수정일자: (1차) 2011년 9월 5일

(2차) 2011년 9월 27일

(3차) 2011년 11월 11일

게재확정일자: 2011년 11월 15일