

적외선 열화상을 이용한 공동주택 단열성능 평가 : TDR(온도차비율)을 중심으로

최 경 석[†], 손 장 열^{*}

한양대학교 대학원 건축공학과 박사과정, 한국건설기술연구원 건축계획·환경연구실, ^{*}한양대학교 건축공학부

Thermal Performance Evaluation of Apartment Housing Using Infra-red Camera

Gyeong-Seok Choi[†], Jang-Yeul Sohn^{*}

*Building Planning and Environment Research Division, Korea Institute of Construction Technology,
Gyeonggi 411-712, Korea*

^{}Department of Architecture Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*

(Received February 23, 2010; revision received April 14, 2010)

ABSTRACT: The purpose of this study is to accomplished an in-site evaluation method for existing building insulation status using Infra-red camera and to consider improvement performance to prevent condensation and draw the optimum insulation design method for building using simulation tool. The research contents of this study are to evaluate validity and suitability of building insulation defect survey using Infra-red camera for apartment housing with temperature and heat flow pattern analyze method. Based on this research, the three corners, weak part in condensation, were selected in apartment building and conducted simulation by three-dimensional steady state. From the results, it is required to strengthen insulation design, and it is founded that existing insulation system typically applied to most Korean apartment housings have serious insulation defect that insulation is disconnected by structural components at the joints of wall-slab and wall-wall in envelope. Thus, it is considerate to need a concrete technology improvement.

Key words: Infra-red camera(적외선 카메라), Temperature difference ratio(TDR, 온도차비율), Thermal performance(단열성능), In-site evaluation method(현장평가), Steady state (정상상태)

기 호 설 명

T_i : 실내 온도 [°C]
 T_o : 외기 온도 [°C]
 T_{si} : 벽체 실내표면온도 [°C]

1. 서 론

2000년대 이후 우리나라 건설 환경의 변화는 제도권의 변화와 맞물려 그 이상의 급격한 변화와 진화과정을 거치고 있다. 가장 대표적인 예가 공동주택에서의 발코니 공간 확장이며, 그 외에도 건강주택에 대한 관심, 초고층 건축물의 대중화, 리모델링 건축시장의 본격적 활성화, 주거환경에 대한 질적

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0309; fax: +82-31-910-0361

E-mail address: bear717@kict.re.kr

향상에 따른 결로 등 하자 문제의 근본적 대응기술 수요 증가 등이 있다. 특히 기존 공동주택의 내단열 공법에서 야기되는 열교, 결로 및 에너지 소비 증가 등의 문제가 최근 저에너지 주택의 개발에 있어 선행적인 해결 문제로 부각되고 있다. 이러한 국내 건설환경의 급격한 변화로 인해 종래의 단열재, 단열 공법으로는 최적의 대응이 어려운 실정이며, 결국 보다 구체적인 대응 기술개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 최적 단열설계 방안을 도출하고자 적외선 열화상 분석기법을 이용, 실제 건축물을 대상으로 적외선 열화상 측정을 실시하여 기존 건축물의 단열성능을 정성적으로 측정하였다. 또한 결로 성능을 중심으로 시뮬레이션을 통해 현행 법규⁽¹⁾ 및 법규 대비 단열성능 강화에 따른 결로 방지 성능 향상을 고찰하고자 한다.

2. 단열성능 평가 기준 고찰

2.1 기존 연구문헌 고찰

기존 연구문헌⁽²⁾에서는 적외선 카메라에 의한 건축물 단열성 평가법 구축을 목적으로 외벽 단열성능의 정량적 평가지표를 도출하였으며 이를 이용한 건축물 단열성능 평가기법 표준(안)을 제시하였다. 또한 적외선 열화상을 이용한 건축물의 단열성능 평가기법이 제시될 경우, 현장 단열 성능평가기법으로 활용도가 매우 크며, 노후 건축물의 단열 개보수 촉진에 의한 에너지 절감 효과를 기대하고 있다.

2.2 결로 및 열교현상 평가지표

실제 건물에서 열적으로 가장 취약한 부위는 외기에 직접 면한 외벽체 모서리 접합부위이며, 이 부위는 열교(heat bridge)에 의한 전열손실이 다른 부위에 비해 크게 발생한다.

이에 벽체 접합부위의 단열성능과 결로발생에 대한 적정성여부를 진단하는 방법으로써 접합부위의 표면온도와 실내·외 온도사이의 상호 관계로부터 각 요소의 온도차비율(TDR)에 따라 접합부위의 열성능을 평가하고, 이때 실내의 상대습도 조건에 따라 접합부위의 결로발생을 판정할 수 있는 간이 평가법을 활용하였다.

$$TDR = \frac{T_i - T_{si}}{T_i - T_o} \quad (1)$$

TDR은 건축물 실내 내표면 부위에 대한 결로 판정을 위한 방안으로 사용되던 것으로, 실내의 온도차에 대한 실내온도와 실내표면온도의 차를 비율로 표시한 것이다. TDR이 의미하는 바는 단열상태가 우수할수록 실내표면온도는 실내온도와 가까워지므로 0에 수렴하게 되며, 단열상태가 나쁠수록 외기온도에 접근하게 되어 1에 수렴한다는 가정에 근거하고 있다.

본 연구에서는 해석대상 부위별 평가 결과를 TDR 평가지표를 활용하였으며, 열교현상에 따른 결로발생 가능성을 분석에 이용하였다.

2.3 TDR에 의한 열성능 평가

TDR의 산정방법은 먼저, 벽체가 열적으로 안정 상태에 도달하였을 때, 벽체 접합부위의 표면온도와 실내온도 등의 실측자료를 다음의 식에 대입하여 산정한다. 식에 따라 도출된 TDR 값은 Table 1과 같이 4등급으로 구분한다.

TDR에 의해 판단하는 등급이 1급일 경우에는 모서리 부위의 열교현상이 극히 적은 것으로 판단할 수 있고, 2급 이상은 열적으로 양호한 상태로서 접합부위의 내표면에서 결로가 발생할 가능성이 적은 것으로 판단할 수 있다. 그러나 3급 이하인 경우에는 접합부 내표면에서 결로 등의 열적 결함이 발생할 수 있는 것으로 판단할 수 있다.

2.4 적외선 열화상 평가

2.4.1 적외선 열화상 측정 원리

적외선 열화상 카메라는 열적외선 에너지(infrared energy)를 검출하여 적외선 카메라의 검지부(detector)의 광학렌즈를 통과하며 센서에 모아진다. 센서에 감지된 열적외선 에너지는 전기 신호로 변환되어 제어부로 보내진다. 제어부에서는 감지된 전기 신호를 열화상 정보로 바꾸며 물체 표면의 온도를 수 천 개의 점으로 표시되는 열화상으로 나타낸다.

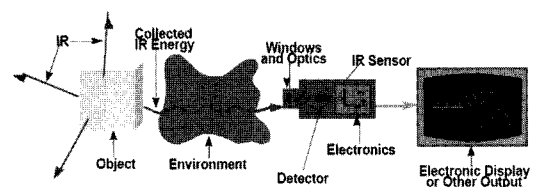


Fig. 1 System of infra-red camera

Table 1 Index of condensation decision in inside surface wall by TDR⁽⁴⁾

Thermal performance	Range of heat bridge	TDR	Probability of condensation	Cases
Excellent	Negligible	< 0.15	When the room temperature is 20°C, the outdoor temperature is -10°C, and the relative humidity is below 85%, condensation should be occur.	<ul style="list-style-type: none"> ◦ The U value of the surface wall is less than 1.2 W/m²K. ◦ The U value of the corner of the outer wall is less than 0.6 W/m²K ◦ Insulated lintel
Good (average)	Appropriate	0.15 ~ 0.2	When the room temperature is 20°C, the outdoor temperature is -10°C, and the relative humidity is below 80%, no condensation occurs, but when the relative humidity is above 85%, condensation occurs.	<ul style="list-style-type: none"> ◦ The U value of the surface wall의 U is greater than 1.2 W/m²K ◦ The U value of the corner of the outer wall is greater than 0.6 W/m²K
Poor	severe	0.2 ~ 0.3	When the room temperature is 20°C, the outdoor temperature is -10°C, and the relative humidity is below 70%, no condensation occurs, but condensation occurs when the relative humidity is above 80%.	<ul style="list-style-type: none"> ◦ The U value of the corner of the outer wall is 0.9~1.5 W/m²K ◦ Uninsulated concrete wall and floor
Very poor	very severe	> 0.3	When the room temperature is 20°C, the outdoor temperature is -10°C, and the relative humidity is below 70%, condensation can occur.	<ul style="list-style-type: none"> ◦ The U value of the 2D corner is greater than 1.5 W/m²K ◦ Floors and insulated wall whose U value of the 3D corner is greater than 1.0 W/m²K

Table 2 Effect factors of evaluation using infra-red camera for building insulation

Measurement factors	Description
Measurement building factor	◦ surface emissivity, temperature of each wavelength, temperature, thermal conductivity, etc.
Surrounding environmental factors	◦ wind velocity, absorption factor of solar radiation, radiational cooling, precipitation, ambient temperature, surface cooling due to the evaporation of surface moisture, relative humidity, etc.
Shooting time and measuring instrument	<ul style="list-style-type: none"> ◦ time when the difference between the outer surface temperature and the room temperature is the greatest (when the heat flow is the greatest) ◦ resolving power, speed of data recording, shooting range, measurement resolution, etc.

2.4.2 적외선 열화상 카메라 건물분야 응용

모든 물체의 표면으로부터 표면온도에 따른 복사에너지(적외선)가 방출되는 것과 마찬가지로 건물 벽체에서도 같은 양상이 나타난다. 적당 일사가 사입하는 경우를 제외하면 일반적으로 단열성이 높은 부위의 표면온도는 실내측에서는 실온과, 실외측에서는 외부온도와 비슷하게 나타난다. 이러한 사실로부터 표면온도 분포를 측정하여 부분적으로 표면온도가 다른 부위가 발생하게 되면 이 부분의 내부구조가 주위와 다른 것으로, 즉 단열재가 단락되었거나, 열교가 발생하거나 견실 시공이 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 적외선 진단법은 다음과 같이 건물 단열진단에 이용될 수 있다.

- 표면온도 측정을 통한 관류열량의 분석으로

벽체내부의 단열 상황 추정

- 실내온도 분포 및 침기/누기 부위의 발견
- 실내 각 부위의 표면온도를 통해 냉/온 복사를 측정하여 실내쾌적성 평가
- 표면온도가 노점온도 이하의 낮은 실내부위를 검출하여 결로의 위험성 진단

2.4.3 건축물 열화상 측정 시 영향 요인

현장에서 촬영된 적외선 열화상은 여러 요인에 의하여 다양한 형태로 나타나기 때문에 전문적인 지식을 갖추어 열화상의 분석이 수행되어야 한다. 적외선 열화상에 영향을 미치는 요인을 크게 분류하면 Table 2와 같이 측정대상물 요인, 주변환경 요인, 측정기기 및 촬영 요인으로 나눌 수 있다.

3. 적외선 열화상을 이용한 기존 공동주택 단열성능 평가

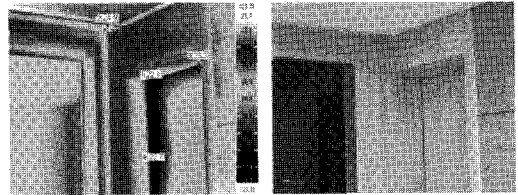
3.1 공동주택 현장 적용 단열성능 평가 개요⁽³⁾

기존 공동주택의 단열성능을 평가하기 위하여 적외선 열화상을 이용하여 실제 공동주택을 대상으로 기존 내단열 시스템이 적용된 해당 공동주택의 부위별 실내표면 온도분포를 측정하였다. 3개 공동주택 단지의 평형별 40여 세대를 대상으로 결로에 취약한 우각부 부위에 대해 단열성능 현장평가를 수행하였다. 해당 공동주택 및 열화상 현장 측정 개요는 Table 3과 같다.

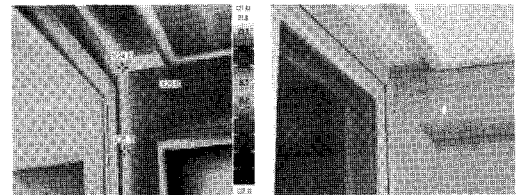
3.2 공동주택 현장 적용 단열성능 평가 분석

기존 공동주택의 단열성능을 평가하기 위하여 실제 공동주택을 대상으로 부위별로 열화상 현장 측정을 하였다. 측정 부위 중 결로에 취약한 우각부 부위 중 대표적인 부위를 선정하여 건축물 실내표면 부위에 대한 결로 판정을 위한 방안으로 TDR을 이용하여 정량적인 단열성능을 평가하였다.

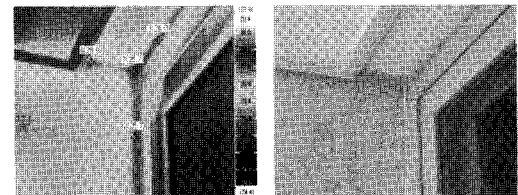
Fig. 2~Fig. 4는 측정 대상 세대의 거실에서 실시한 적외선 열화상 촬영결과로, Fig. 2는 거실과 발코니 사이의 문, Fig. 3은 거실 우측벽면, Fig. 4는 거실의 좌측벽면에 대한 촬영결과이다. 거실 좌측벽면과 우측벽면의 TDR 값이 낮은 값을 나타내



(a) Infra-red image (b) Photo
Fig. 2 Photographing result in living room



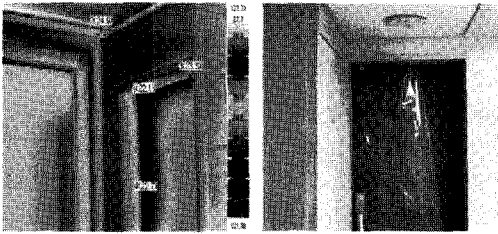
(a) Infra-red image (b) Photo
Fig. 3 Photographing result in living room(right side view)



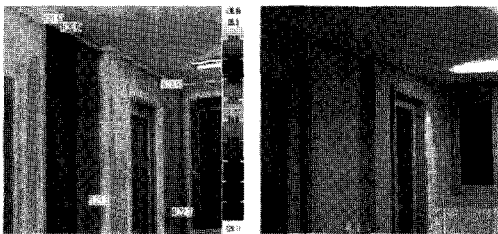
(a) Infra-red image (b) Photo
Fig. 4 Photographing result in living room(left side view)

Table 3 Outline of the apartments and infrared site measurement

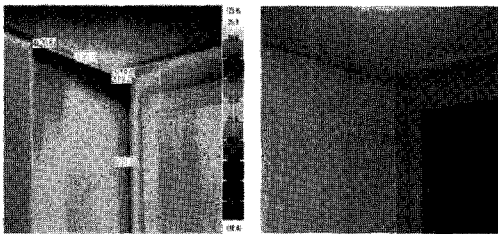
Classification	A apartments	B apartments	C apartments
Insulation system	Insulated		
wall heat transmission coefficient	Meets legal standards		
Address	Ansan, Gyeonggi-do	Euiwang, Gyeonggi-do	Seongbuk-gu, Seoul
Building size	2 floors underground, 15 floors above ground, 470 households in total	3 floors underground, 18~25 floors above ground, 10 buildings, 696 households in total	2 floors underground, 6~20 floors above ground, 14 buildings, 660 households in total
Move-in	April 2009	April 2009	June 2009
Date of shooting	21 : 00 March 11, 2009 ~03 : 00 March 12, 2009	21 : 00 March 17 2009 ~03 : 00 March 18, 2009	21 : 00 April 16, 2009 ~05 : 00 April 17, 2009
ambient temperature	10.5~12.1℃	14.4~15.7℃	8.8~11.8℃
room temperature	24.3~26.8℃	24.4~25.2℃	24.8~28.8℃



(a) Infra-red image (b) Photo
Fig. 5 Photographing result in door



(a) Infra-red image (b) Photo
Fig. 6 Photographing result in kitchen



(a) Infra-red image (b) Photo
Fig. 7 Photographing result in bed room

단열상태는 양호하다고 판단이 되나, 거실에서 발코니로 통하는 문틈부위는 거실의 다른 부위에 비하여 높은 값을 보이고 있어 발코니로 통하는 문틈으로 열손실이 많이 일어나는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 세대 현관문에 대한 적외선 열화상 측정 결과로, 현관문 부위에 결로가 우려되어 단열보강이 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 6은 부엌 좌측벽면 쪽의 천정면 결로 부위에 대한 촬영결과이며, 천정부위에 부분적 단열결함이나 단열 누락부위가 있을 것으로 판단된다.

Fig. 7은 침실 좌측벽면 결로 부위에 대한 촬영결과이며, 천정부위에 단열보강이 필요할 것으로 사료된다.

각 측정 부위별 TDR에 의한 벽체의 내표면 결로 판정 지표는 Table 4와 같다.

Table 4 An index of condensation judgement in inside surface wall by TDR

Measurement part	Indoor surface	Indoor temperature	Outdoor temperature	TDRi	Thermal performance	
Fig. 2	1	22.1	27.4	11.4	0.33	Very bad
	2	24.9	27.4	11.4	0.16	Good
	3	23.3	27.4	11.4	0.26	Bad
	4	22.7	27.4	11.4	0.29	Bad
Fig. 3	1	24.8	27.4	11.4	0.16	Good
	2	25.3	27.4	11.4	0.13	Excellent
	3	26.6	27.4	11.4	0.05	Excellent
Fig. 4	1	25.7	27.4	11.4	0.11	Excellent
	3	26.0	27.4	11.4	0.09	Excellent
Fig. 5	1	19.7	27.4	11.4	0.48	Very bad
	2	21.3	27.4	11.4	0.38	Very bad
	3	21.2	27.4	11.4	0.39	Very bad
	4	21.6	27.4	11.4	0.36	Very bad
Fig. 6	1	20.5	27.1	11.4	0.42	Very bad
	2	21.5	27.1	11.4	0.36	Very bad
	3	23.9	27.1	11.4	0.20	Good
	4	22.3	27.1	11.4	0.31	Very bad
	5	23.3	27.1	11.4	0.24	Bad
Fig. 7	1	18.9	25.0	11.4	0.45	Very bad
	2	19.2	25.0	11.4	0.43	Very bad
	3	20.1	25.0	11.4	0.36	Very bad
	4	20.6	25.0	11.4	0.32	Very bad
	5	21.0	25.0	11.4	0.29	Bad

4. 최적 단열설계 방안을 위한 평가

4.1 평가 목적

본 해석은 공동주택의 실내 결로 발생 위험도를 판단할 수 있는 평가 지표인 TDR을 이용하여 현재 건축법규 상에서 정하고 있는 단열 기준에 따라 건축되고 있는 공동주택의 실내 결로 발생의 위험도를 판단하고 이를 방지하기 위한 적정 단열 강화 기준을 정립하기 위한 기초 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

4.2 평가 방법

상기의 해석 목적을 위하여 공동주택의 평면 형태 중 가장 빈번하게 나타나는 부위 중 결로에 취

약한 우각부 부위 3개 형태를 선정하였다. 선정된 부위는 다음과 같다.

- Case 1 : 발코니와 인접한 외벽과 내벽이 형성하는 3차원 우각부
- Case 2 : 측벽과 내벽이 형성하는 3차원 우각부
- Case 3 : 발코니와 인접한 외벽과 외벽이 형성하는 3차원 우각부

상기의 우각부에 대하여 3차원으로 부위별 TDR 등급을 고찰하였으며 선정된 해석대상 부위에 대하여 현재 적용되고 있는 단열기준에 따른 단열재를 적용하여 열전달 해석을 실시하였다. 단열 기준 중 가장 적용 빈도가 높은 '가'등급 단열재 적용 시 두께 기준을 기본으로 단열재의 두께를 10%, 20%, 30%, 50%, 100%까지 증가시키면서 각 분석 지점별 TDR 값을 산정하여 단열재 두께에 따른 결로 발생 위험도를 판단하고 현 내단열 공법의 성능 개선 가능성을 고찰하고자 하였다.

Table 5 Boundary conditions⁽⁵⁾

Item		boundary conditions	Remarks
dry-bulb temperature (°C)	Indoor	20	Building energy saving design standard
	Outdoor	-11.3	
Indoor surface heat transfer rate (W/m²K)		9.09	
Outdoor surface heat transfer rate (W/m²K)		23.26	
Ondol	Warm water temperature(°C)	45	-
	Ondol pipe heat transfer rate(W/m²K)	1500	-

Table 6 Material properties⁽⁵⁾

Materials used	Density (kg/m³)	specific heat (kcal/kg°C)	thermal conductivity (kcal/mh°C)
concrete	2,240	0.21	1.6
gypsum board	863	0.27	0.18
Cement mortar	2,020	0.21	1.4
insulator	-	-	0.034
parapet	2,240	0.21	1.6
brick	-	-	0.6

4.3 평가 조건

본 평가에서는 단열재 두께 변화에 따른 열전달 해석을 위하여 3차원 정상상태 해석 프로그램인 Physibel Trisco⁽⁶⁾를 이용하였다. 본 프로그램은 건물 전체 및 일부분의 열류 흐름, 열전도 상태, 습도 상태 등의 건축 환경 관련요소를 도표와 그래픽 영상으로 가시화하여 건물의 열환경을 3차원 정상상태에서 평가하는 시뮬레이션 프로그램이다.

Physibel Trisco 프로그램에 의한 평가 시 적용된 시뮬레이션의 경계조건 및 입력 재료 물성치는 Table 5, Table 6과 같다.

4.4 시뮬레이션 모델링 및 분석지점

Physibel Trisco 프로그램에 의한 시뮬레이션을 위하여 Table 7과 같이 각 분석 부위별 모델링을 실시하였으며, 각 부위별 분석 지점에 대하여 외기에 면하는 단열재의 두께를 변경하면서 표면온도를 도출하였다.

4.5 Case별 최적 단열설계 방안을 위한 해석 결과

4.5.1 Case 1(발코니+외벽/내벽) 접합부 해석결과 발코니와 인접한 내벽과 외벽이 형성하는 3차원

Table 7 Simulation model of evaluation part

Part	Modeling		
	Highest story	Typical story	Lowest story
Case 1 balcony+ (outer wall/inner wall) joints			
Case 2 sidewall /inner wall joints			
Case 3 balcony+ (outer wall/outer wall) joints			

◦ 3D right-angle parts ① upper part(ceiling)
② lower part(floor)

우각부에 대해 건축법 단열기준 대비 단열두께를 10%, 20%, 30%, 50%, 100% 증가시켰을 때 각각에 대해 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 그 결과, 기준층 하우각부(바닥)에 건축법 단열기준 대비 단열두께 30% 강화 시 Table 8에서와 같이 열적 결함이 심한 상태인 3등급에서 2등급으로 단열 상태가 양호해지는 것으로 나타났다. 그러나 건축법 단열기

준 만족 시 기준층 하우각부(바닥)와 최하층 하우각부(바닥)의 TDR이 3등급으로 나타난 것에 비해 Table 8과 같이 건축법 단열기준 대비 단열두께를 30% 증가시킬 경우이나 TDR 2등급으로 단열상태가 양호해지는 것으로 나타났으며, 마찬가지로 기준층 상우각부(천장)에 대한 단열두께를 100% 강화하였을 때 단열상태가 TDR 2등급에서 1등급으

Table 8 An index of condensation judgement in inside surface wall by simulation

Classification		Regulation			10% reinforced			20% reinforced			30% reinforced			50% reinforced			100% reinforced			
		surface temperature (°C)	TDR	Grade	surface temperature (°C)	TDR	Grade	surface temperature (°C)	TDR	Grade	surface temperature (°C)	TDR	Grade	surface temperature (°C)	TDR	Grade	surface temperature (°C)	TDR	Grade	
CASE 1	typical story	right-angle part upper	18.46	0.16	2	18.50	0.16	2	18.54	0.15	2	18.57	0.15	2	18.65	0.15	2	18.83	0.15	1
		right-angle part lower	16.56	0.21	3	16.72	0.21	3	16.87	0.20	3	17.01	0.20	2	17.27	0.19	2	17.80	0.18	2
	highest story	right-angle part upper	19.64	0.12	1	19.73	0.12	1	19.81	0.12	1	19.93	0.11	1	20.00	0.11	1	20.23	0.11	1
	lowest story	right-angle part upper	16.76	0.20	3	16.91	0.20	3	17.04	0.20	2	17.16	0.19	2	17.39	0.19	2	17.86	0.17	2
		right-angle part lower	16.76	0.20	3	16.91	0.20	3	17.04	0.20	2	17.16	0.19	2	17.39	0.19	2	17.86	0.17	2
insulator thickness(mm) (Grade A insulator)		° outer wall : 65.0 ° ceiling of the highest story : 90.0 ° floor of the lowest story : 55.0			° outer wall : 71.5 ° ceiling of the highest story : 99.0 ° floor of the lowest story : 60.5			° outer wall : 78.0 ° ceiling of the highest story : 108.0 ° floor of the lowest story : 66.0			° outer wall : 84.5 ° ceiling of the highest story : 117.0 ° floor of the lowest story : 71.5			° outer wall : 97.5 ° ceiling of the highest story : 135.0 ° floor of the lowest story : 82.5			° outer wall : 130.0 ° ceiling of the highest story : 180.0 ° floor of the lowest story : 110.0			
CASE 2	typical story	right-angle part upper	15.79	0.13	1	15.85	0.13	1	15.90	0.13	1	15.95	0.13	1	16.06	0.13	1	16.31	0.12	1
		right-angle part lower	14.56	0.17	2	14.71	0.17	2	14.85	0.16	2	14.98	0.16	2	15.22	0.15	2	15.71	0.14	1
	highest story	right-angle part upper	15.33	0.15	2	15.54	0.14	2	15.69	0.14	2	15.89	0.13	1	16.19	0.12	1	16.83	0.10	1
	lowest story	right-angle part upper	13.98	0.19	2	14.11	0.19	2	14.24	0.18	2	14.35	0.18	1	14.57	0.17	1	16.93	0.10	1
		right-angle part lower	13.98	0.19	2	14.11	0.19	2	14.24	0.18	2	14.35	0.18	1	14.57	0.17	1	16.93	0.10	1
insulator thickness(mm) (Grade A insulator)		° sidewall : 90.0 ° ceiling of the highest story : 110.0 ° floor of the lowest story : 55.0			° sidewall : 99.0 ° ceiling of the highest story : 121.0 ° floor of the lowest story : 60.5			° sidewall : 108.0 ° ceiling of the highest story : 132.0 ° floor of the lowest story : 66.0			° sidewall : 117.0 ° ceiling of the highest story : 143.0 ° floor of the lowest story : 71.5			° sidewall : 135.0 ° ceiling of the highest story : 165.0 ° floor of the lowest story : 82.5			° sidewall : 180.0 ° ceiling of the highest story : 220.0 ° floor of the lowest story : 110.0			
CASE 3	typical story	right-angle part upper	20.20	0.11	1	20.03	0.11	1	20.01	0.11	1	20.00	0.11	1	19.97	0.11	1	19.85	0.12	1
		right-angle part lower	13.48	0.30	3	13.61	0.29	3	13.71	0.29	3	13.81	0.29	3	13.97	0.28	3	14.25	0.28	3
	highest story	right-angle part upper	20.09	0.11	1	20.17	0.11	1	20.29	0.10	1	20.34	0.10	1	20.37	0.10	1	20.44	0.10	1
	lowest story	right-angle part upper	10.36	0.39	4	10.46	0.38	4	10.55	0.38	4	10.63	0.38	4	10.76	0.37	4	10.97	0.37	4
		right-angle part lower	10.36	0.39	4	10.46	0.38	4	10.55	0.38	4	10.63	0.38	4	10.76	0.37	4	10.97	0.37	4
insulator thickness(mm) (Grade A insulator)		° outer wall : 65.0 ° ceiling of the highest story : 90.0 ° floor of the lowest story : 55.0			° outer wall : 71.5 ° ceiling of the highest story : 99.0 ° floor of the lowest story : 60.5			° outer wall : 78.0 ° ceiling of the highest story : 108.0 ° floor of the lowest story : 66.0			° outer wall : 84.5 ° ceiling of the highest story : 117.0 ° floor of the lowest story : 71.5			° outer wall : 97.5 ° ceiling of the highest story : 135.0 ° floor of the lowest story : 82.5			° outer wall : 130.0 ° ceiling of the highest story : 180.0 ° floor of the lowest story : 110.0			

로 향상되는 것을 볼 수 있다.

따라서 부위별로 현행 단열기준과 같이 단열하였을 때 단열 두께 강화만으로 해결 할 수 없는 부위를 확인할 수가 있었다.

4.5.2 Case 2(측벽+내벽 접합부) 해석결과

측벽과 내벽이 형성하는 3차원 우각부에 대해 건축법 단열기준 대비 단열두께를 10%, 20%, 30%, 50%, 100% 증가시켰을 때 각각에 대해 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 그 결과 각 분석 부위별 단열상태는 대체로 양호하거나 우수한 상태로 나타났다. 기준층 하우각부(바닥)에 건축법 단열기준 대비 단열두께 100% 강화 시 Table 8에서와 같이 열적 성능이 보통인 2등급에서 1등급으로 단열 상태가 우수해지는 것으로 나타났다.

4.5.3 Case 3(발코니+(외벽/내벽) 접합부) 해석결과

발코니와 인접한 외벽과 외벽이 형성하는 3차원 우각부에 대해 건축법 단열기준 대비 단열두께를 10%, 20%, 30%, 50%, 100% 증가시켰을 때 각각에 대해 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 그 결과 건축법 단열기준 만족 시 기준층과 최하층 각각 하우각부(바닥)의 단열 상태는 열적 결함이 심한 것으로 나타났다. 동일 부위에 대해 단열두께를 각각 10%, 20%, 30%, 50%, 100% 증가시켜 강화했을 경우에도 Table 8에서 보는바와 같이 TDR 3등급과 4등급으로 열적 성능이 매우 불량한 것으로 나타나 결로가 우려되고 있다.

이를 통해 부위별로 현행 단열기준과 같이 단열하였을 때 열적 결함이 심하여 결로가 우려되는 부위에 단열 두께 강화만으로는 해결 할 수 없는 것을 확인할 수가 있었다.

Fig. 8과 Fig. 9는 측벽+내벽 접합부의 단열법규 기준 만족시와 법규 대비 단열두께 100% 강화시 표면온도 분포를 나타낸 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 최적 단열설계 방안 도출을 목적으로 적외선 열화상 분석기법을 이용, 실제 건축물을 대상으로 적외선 열화상 측정을 실시하였고 공동주택의 실내 결로 발생 위험도를 판단할 수 있는 평가지표인 TDR을 이용하여 기존 건축물의 단열 성능을 정량적으로 평가하였다. 또한 공동주택에서

결로에 취약한 우각부 부위 3개 형태를 선정하여 시뮬레이션을 통해 현행 법규 및 법규 대비 단열성능 강화에 따른 결로 방지 성능 향상을 고찰하였다.

분석 결과, 기존 공동주택의 우각부위와 창호를 통해 열손실 및 결로 발생이 우려됨으로써 단열보

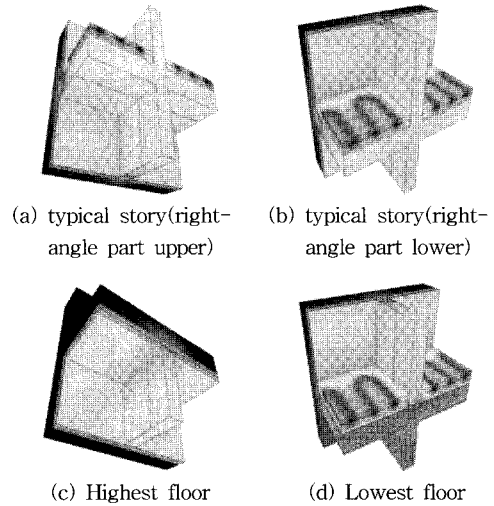


Fig. 8 Distribution of the surface temperature when the joints between the sidewall and the inner wall meet the insulation standard

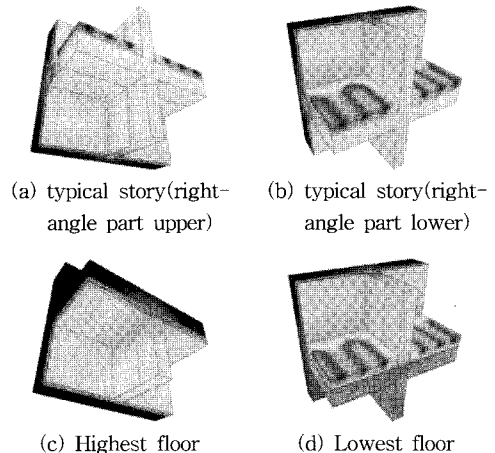


Fig. 9 The distribution of the surface temperature when the joint between the sidewall and the inner wall meets the insulation standard and the insulation thickness was increased by 100% as compared to the insulation standard of the Building Act

강이 필요할 것으로 판단되는 부위가 부분적으로 나타났음을 확인하였다.

또한 시뮬레이션을 통해 현행 법규 및 현행 법규 대비 단열성능 강화에 따른 결로 방지 성능 향상을 고찰한 결과, 현행 단열기준과 같이 단열하였을 때 결로가 우려되는 부위에 단열 두께 강화만으로는 결로 발생 문제를 해결 할 수 없는 것을 확인할 수가 있었다. 따라서 현재 건축법 단열설계 이상의 강화된 단열설계가 필요하다는 타당성을 확보하였으며, 국내 공동주택에서 주로 적용하고 있는 내단열 공법으로 시공하였을 때 모서리, 접합부 등의 열적인 결함이 있음을 알 수 있다.

발코니 공간 확장, 건강주택에 대한 관심, 초고층 건축물의 대중화 등의 건설 환경의 급격한 변화는 종래의 단열재, 단열 공법으로는 최적의 대응이 미흡할 수 있으며, 향후 보다 구체적인 대응 기술개발이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Building energy saving design standard, 2008.
2. Korea Institute of Construction Technology, 2003, A Study on Development of the Technology for Standardizing IR-method-based Building Insulation Evaluation Methods, Ministry of Commerce, Industry and Energy.
3. KS F 2829, 2005, Thermal performance of buildings-Quantitative detection of thermal irregularities in building envelopes-Infrared method.
4. Seung-Eon Lee, 2006, Application of the Thermal Analysis Technique for In-site Evaluation of Condensation, Korea Green Building Council.
5. ASHRAE, ASHRAE Handbook 2001, Fundamentals, ASHRAE, 2001.
6. Physibel, RADCON manual, Physibel, 2007.