

발코니확장의 문제점-열적 쾌적성 저하 및 결로

발코니확장이 일반화되고 있는 시점에서 발코니 확장 시 반드시 고려되어야 할 사항으로 거주자의 열쾌적성 및 표면결로문제에 대해 논하고자 한다.

송 두 삼 / 편집이사

성균관대학교 건축공학과(dssong@skku.edu)

최근 발코니 확장이 일반화 되면서 기존 공동주택에 대한 발코니 확장은 물론 신축되고 있는 공동주택에서 확장을 전제로 한 평면들이 제시되고 있다. 발코니 확장은 기존의 다소 획일화된 공동주택의 실구성(평면구성)에 다양성을 가지게 하며 현재 공동주택 전문업체들도 이런 점을 부각시켜 각 사의 마케팅의 한 요소로도 활용하고 있는 실정이다. 이렇듯 발코니 확장은 일일이 거론하지 않더라도 그에 따른 여러 가지 이점 또한 분명히 존재한다. 그러나 이번 특집호에서 제시되는 대부분의 내용들이 아마도 발코니 확장에 따른 문제점에 대해 논의될 것으로 예상 될 만큼, 건축관련 전문가라면 누구나 발코니 확장이 얼마나 많은 문제점을 내포하고 있는지에 대해 주저 없이 말 할 수 있을 것이다.

본 고에서는 주로 발코니확장에 따른 거주자의 열적 쾌적성 저하의 문제점, 결로문제 등을 주로 다루고자 한다. 물론 그 중요도에서 본다면 발코니 확장의 문제점으로 방재 및 피난, 냉난방에너지의 증가에 따른 국가적인 에너지수급관리 문제 등이 중요하게 인식될 수 있으나 실제 입주자가 직접적으로 감지할 수 있는 문제로는 본 고에서 다루고 있는 열쾌적저하, 결로문제가 아닌가 생각한다.

열적 쾌적성

재실자가 실내 공간에서 열적으로 쾌적한지 불쾌한지를 평가하는 것은 그리 단순하지는 않다. 왜냐

하면 이것은 우리가 일반적으로 어떤 공간의 쾌적성을 언급하면서 그 대표적인 참고치로 생각하는 온도만의 문제가 아니라, 여러 가지 요소가 복합적으로 작용을 하기 때문이다. 그동안 많은 연구가들이, 현재까지도 이러한 공간에서의 복잡한 열쾌적에 관련된 요소를 단순하면서도 실제 재실자가 느끼는 것과 가장 근접하게 평가하기 위해 많은 개념들을 제시해 오고 있다. 그 중에서 현재 가장 많은 사람들이 사용하는 개념이 PMV(predicted Mean Vote, 예상 평균 온열감)이다. PMV는 덴마크 공대의 P.O., Fanger교수에 의해 제시된 개념으로 복잡한 열환경의 쾌적성을 규정하는 요소로 4가지 물리적 요소(온도, 습도, 기류(풍속), 복사온도)와 2가지의 거주자 특성치(착의량, 활동량)에 기반하고 있다. PMV는 현재 실내 공간의 열적 쾌적성을 평가하는 가장 보편적인 기준(ISO Standard¹⁾)로 되어 있다.

결로

결로는 통상 표면결로와 내부결로로 구분이 되는데, 기본적으로 결로현상은 공기중의 수증기량과 구조체의 온도와 관련이 있다. 표면온도의 경우, 주로 육안으로 관찰될 수 있는 창호나 벽체의 표면에서 발생하는데, 창호나 벽체의 표면온도가 인접한 공기층의 노점온도보다 낮아지면 결로가 발생한다. 즉 표면결로 발생조건을 식으로 정리하면 식 (1)과 같다.



$$T_{si} \leq T'' \quad (1)$$

T_{si} : 창호나 벽체의 표면온도[°C]

T'' : 노점온도[°C]

따라서, 창호나 벽체의 단열성이 저하되어 표면온도가 낮아지면 표면결로가 발생할 수 있는 가능성이 높아지게 된다. 여기서 또 한가지 주목해야 할 것이 노점온도이다. 노점온도라 특정상태(특정온도, 특정습도) 공기 중의 습도가 높아지거나 온도가 낮아져서 특정상태의 상대습도가 100%가 되면 그 시점에서부터 결로가 발생한다. 즉 표면결로는 습도와도 밀접한 관련이 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 발코니확장과 같은 창호나 벽체의 온도저하와 함께 실내에서 발생한 습기가 제대로 배출되지 못하는 것 또한 결로발생에 큰 원인이라 할 수 있다.

표면결로의 경우 육안으로 감지될 수 있는 부분에 발생하기 때문에 사용자가 적절히 대처할 수 있으나, 내부결로의 경우 구조체 내부에서 발생하기 때문에 쉽게 발견되지 않으며 내부결로는 구조체의 기능을 저하시키는 물론 내부에서 곰팡이 등이 발생하여 소위 헌집 증후근의 원인이 되어 최근 외국에서

는 내부결로의 문제를 매우 심각하게 받아들이고 있다. 내부결로의 발생 조건은 위 표면결로와 같이 구조체 내 특정부위(주로 구조체내 재료의 접합부)의 표면온도가 노점온도 이하이거나 그 지점의 수증기분압이 포화수증기압 이하가 되는 경우의 두가지 조건에 대해 발생한다. 즉 두가지 중 하나만이라도 성립하면 내부결로가 발생하는 것이다. 이것을 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$T_{si} \leq T'' , \quad f_{ia} \leq f_{ias} \quad (2)$$

T_{si} : 창호나 벽체의 표면온도[°C]

T'' : 노점온도[°C]

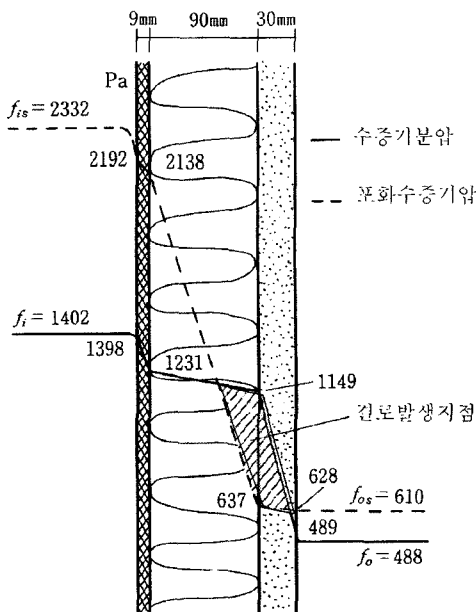
f_{ia} : 구조체 내 a지점의 수증기 분압[Pa]

f_{ias} : 구조체 내 a지점의 포화수증기압[Pa]

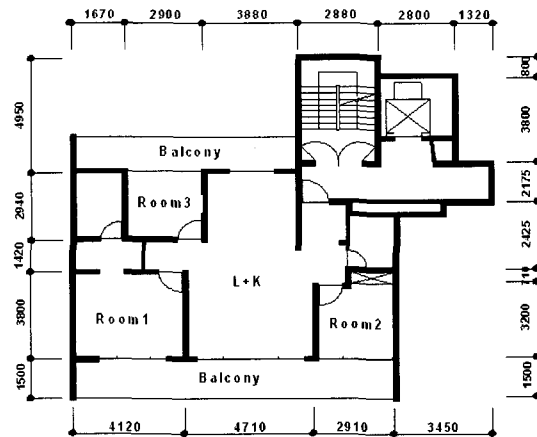
실태조사

성균관대 건축환경연구실(<http://btu.skku.edu>)에서는 아파트 발코니확장에 따른 열환경 측면에서의 문제점을 실측 및 시뮬레이션을 통해 검토하였다.

먼저 측정은 경기도 의왕시 소재 D건설사의 공동주택 32평형 세대를 대상으로 하였다. 공동주택은 준공된 지 1.5개월 된 것으로 측정세대는 23층 중 9층이며 측정당시 미 입주상태 이었다.



[그림 1] 구조체 내 결로(내부결로)의 발생



[그림 2] 측정 대상공간

측정의 내용

- 실측 기간 : 2005년 1월 23일 ~ 27일(5일간)
- 측정 대상 공간 : 침실, 침실전면 발코니
- 측정 시간대 : 21:00 ~ 10:30 (취침시간대)

발코니 확장에 따른 실내 열환경 변화를 검토하기 위해 겨울철 취침시간대 침실공간을 주 측정대상으로 하였다. 측정 스케줄과 측정항목은 표 1과 같다.

측정방법

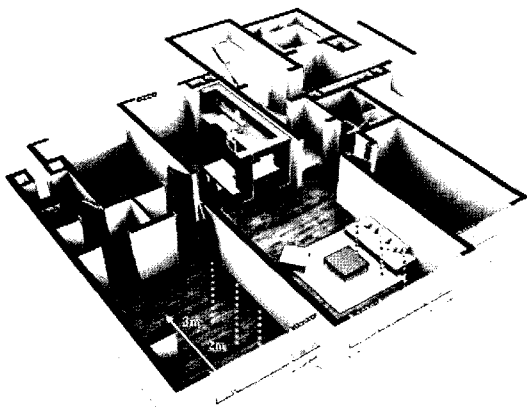
그림 3에 보이는 바와 같이 기존 발코니형 평면 침실에 대해 발코니 공간과 침실사이의 내측창을 제거하고 발코니바닥과 벽을 단열처리하여 확장형 평

면을 구현하였다. 확장이 합법화된 현시점에서 확장의 경우 대안적인 창호시스템이 제안될 것으로 사료되나 측정 당시에는 기존의 발코니 창을 활용하여 단순 확장되는 것이 일반적이어서 본 연구에서 실시한 실측도 기존 발코니창을 전제로 단순 확장한 상태에서 실시되었다. 측정기간 동안 측정 대상공간인 침실 1의 실온을 24℃ 로 설정하여 연속운전 난방을 실시하였다.

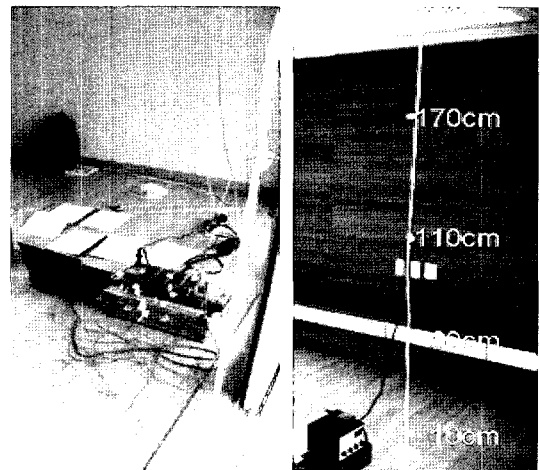
그림 3에 보이는 바와 같이 발코니 창으로부터 1 m, 2 m, 3 m, 4 m 간격으로 수평온도분포를 측정하여 발코니 확장/비확장시의 실온 분포를 측정하였다. 수직측정높이는 10 cm(착석시 발목 높이), 60 cm(착석시 복부 또는 취침시 침대높이), 110 cm(착

<표 1> 측정스케줄 및 측정항목

| Day/ Time | Measurement item | Test area |
|--------------------------|---|-------------------------------|
| January 23 | Equipment setting | |
| January 24 21:00 pm - | - outdoor temp./RH - outdoor wind velocity | Bedroom+balcony(with Balcony) |
| January 25 10:30 am | - indoor temperature distribution | Outdoor |
| January 26 21:00 pm - | - indoor RH - indoor globe temp. | Bedroom (without balcony) |
| January 27 10:30 am | - indoor air velocity - PMV | Outdoor |



a) Measurement Point



b) Record Device and Sensor

[그림 3] 실측 전경



석시 머리부분), 170 cm(서있을 경우 머리부분)로 하여 10분 간격으로 측정하였다. 또한 거주자의 온열감(PMV)을 평가하기 위해 실온, 기류속도, 상대습도, MRT(mean radiant temperature)를 측정하였다.

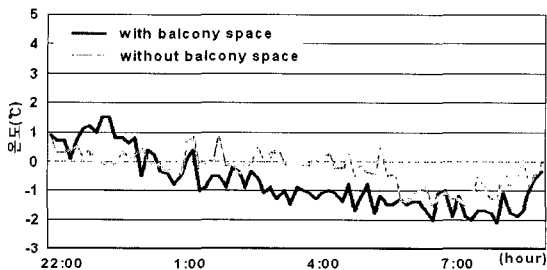
측정 결과 - 발코니 확장 / 비확장에 따른 실내 온도변화

그림 4에 측정당시 외기온도의 변화를 보이고 있다. 외기온도는 각각 -2℃ ~ 2℃의 온도변화를 나타냈다. 동일한 공간에 대해 발코니 확장, 비확장 케이스에 대한 온도분포를 측정하였기 때문에 측정은 각각 다른 날짜에 진행되었다. 따라서 측정케이스 별

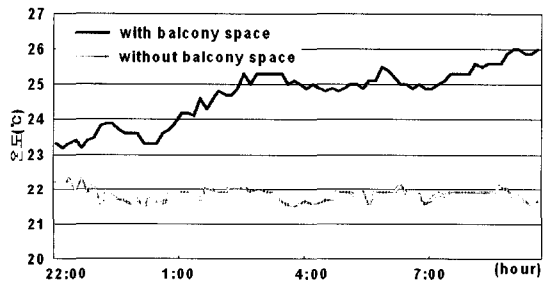
로 외기온도 변화에 다소 차이가 발생하였다.

그림 5는 발코니 외창으로부터 거리 3 m, 높이 60 cm 지점에서 측정한 침실부분의 온도이다. 실온을 24℃로 설정한 상태에서 비확장 시 실온이 23℃ ~ 26℃의 변화를 나타내고 있는 것에 반해 확장 시 실온은 21.5℃ ~ 22.5℃로 다소 낮은 분포로 나타났다. 확장, 비확장에 따른 실온차이는 1℃ ~ 4℃로 나타났다.

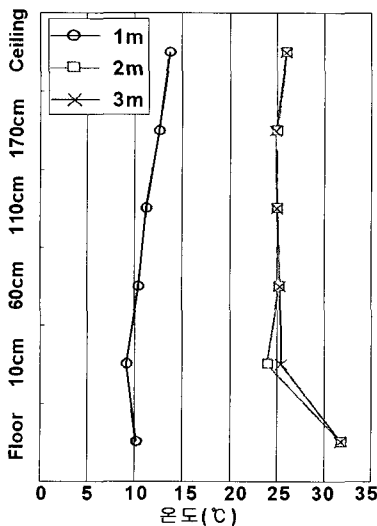
그림 6은 새벽 2시경의 외측창으로부터 이격거리 별 수직온도분포를 나타내고 있다. 발코니를 확장하지 않은 경우 발코니 공간과 안방 공간이 각각 독립적으로 비교적 균일한 온도 분포를 보이고 있으나 발코니를 확장한 경우 확장부분의 낮은 벽면온도 및



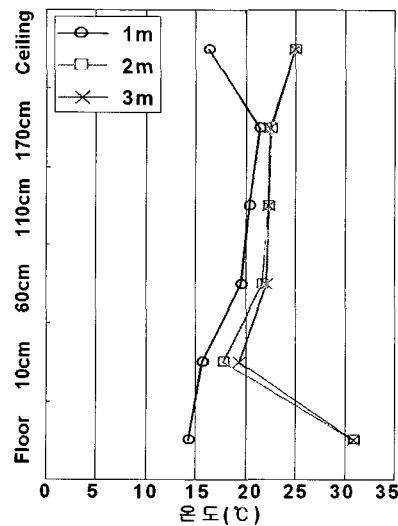
[그림 4] 외기온도변화



[그림 5] 발코니 확장 / 비확장에 따른 실온 변화



a) 발코니가 있는 경우



b) 발코니가 없는 경우

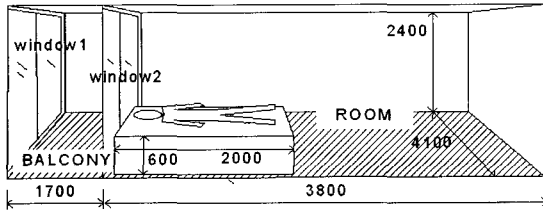
[그림 6] 수직온도 분포

그에 따른 열손실로 인해 실온 저하를 초래하여 실내중양부(이격거리 2, 3 m지점)의 온도가 비확장의 경우와 비교하여 최대 5℃ 정도 낮게 나타났다.

CFD 시뮬레이션을 통한 실내 온열환경 평가

선행된 실측결과를 바탕으로 한 CFD 시뮬레이션을 통해 발코니 확장/비확장에 따른 실내 온도분포를 상세히 검토하고 이 결과를 토대로 하여 거주자의 열쾌적성(PMV)을 비교, 평가하였다.

해석 대상공간



[그림 7] CFD해석 대상 공간

실측 대상공간과 동일하게 침실 1을 대상으로 하였다(그림 7 참조). 분석은 표 2와 같이 두 CASE로 나누어 실시하였다.

해석 조건

CFD 시뮬레이션을 위한 경계조건을 표 3에 보이고 있다. 표 3의 경계조건은 선행된 실측결과를 바탕으로 한 것이다. 단 표 3의 경계조건에서 CASE 2의 발코니 확장 공간에 해당하는 부분(* 부분)의 온도는 실측의 경우, 기존의 발코니 부분에 대한 난방을 하지 않고 단지 단열조건하에서 이루어진 점을 감안하여, 그에 대한 보완 시뮬레이션(ESP-r)을 통해 발코니 부분 이외의 공간에 대해서는 실측치를 적용하고, 또한 실측과 동일한 외기온도조건, 벽면조건

<표 2> CFD 시뮬레이션 케이스

| | Explanation |
|--------|---|
| CASE 1 | With balcony (room[heating]+balcony[no heating]) |
| CASE 2 | Without balcony (heating) |

<표 3> CFD 시뮬레이션 경계조건

| | | CASE 1 | CASE 2 |
|-----------------|-----------------|------------------------|---------|
| | | Surface temperature[℃] | |
| Exterior window | Window(up) | 9.8 | 16.0(*) |
| | Window(middle) | 9.3 | 17.9(*) |
| | Window(down) | 8.3 | 14.2(*) |
| Balcony space | Floor | 10.1 | 32.0(*) |
| | Right side wall | 13.0 | 22.6(*) |
| | Left side wall | 12.7 | 23.3(*) |
| | Ceiling | 13.7 | 25.0(*) |
| Inner window | Window(up) | 20.6 | - |
| | Window(middle) | 27.3 | - |
| | Window(down) | 20.2 | - |
| Room 1 | Floor | 32.0 | 32.0 |
| | Right side wall | 23.9 | 22.6 |
| | Left side wall | 24.3 | 23.3 |
| | Rear side wall | 26.0 | 25.0 |
| | Ceiling | 24.4 | 23.0 |



등을 적용한 상태에서 발코니공간에 침실과 동일하게 난방을 실시한다고 가정한 상태에서 추출된 벽면 온도를 경계조건으로 하였다. 이 결과는 발코니 공간 이외의 벽체온도에 대한 ESP-r 시뮬레이션 결과와 실측치가 거의 유사하게 나타난 시뮬레이션 모델링 결과에서 추출된 결과로 상당한 신뢰성을 가진다고 사료된다.

시뮬레이션 결과-실내 온도분포 (그림 8)

그림 8과 같이 기존형(CASE 1)의 경우 창 주변온도는 23℃ ~ 25℃로 나타났다. 하지만 확장형(CASE 2)의 경우 창 주변온도는 17℃ ~ 19℃로 창측 주변이 열환경 측면에서 불리함을 알 수 있다.

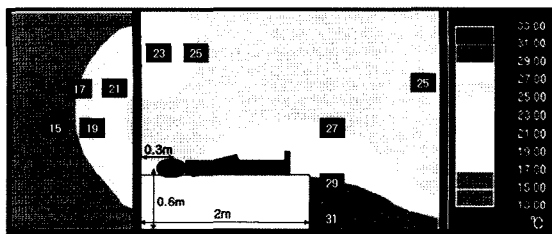
시뮬레이션 결과-실내 PMV 분포 (그림 9)

PMV 평가를 위한 각 지점의 온도는 그림 8의 시뮬레이션을 통한 결과를 이용하였다. PMV 산출을 위한 조건은 표 4와 같다. PMV의 6요소 중 건구온도를 제외한 나머지 5요소(상대습도, MRT, 착의량, 대사량, 기류속도)는 표 4에 나타난 외기온도가 가장 낮은 시간대(새벽 2시 경)의 실측값을 바탕으로 하여 각 지점의 온도변화와 PMV와의 상관식을 도

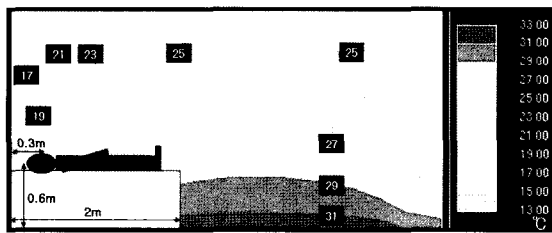
출하였다. CFD시뮬레이션에서 산출된 온도분포를 바탕으로 표 4의 가정에 대한 PMV 산출결과는 그림 9와 같다. PMV 산출결과 동일한 온도조건의 바닥난방 상태에서 발코니 확장한 경우, 비 확장에 비해 PMV가 약 0.35정도 낮게 나타났다. 창측 주변에서의 PMV값은 CASE 1이 -1(Slightly cool)인 것에 반해 CASE 2는 -2.5(Cool)로 나타났다. 이 결과를 통해 외피시스템의 추가적인 보완이 없는 단순확장은 상당한 열적 불쾌감을 유발할 수 있음을 시사하고 있다.

<표 4> PMV 산출 조건

| | | | |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Cloth(CLO) | 1.0 | | |
| Activity(MET) | 0.8(Sleeping on the bed) | | |
| Air velocity (m/s) | 0.1(Measured) | | |
| Relative humidity(%) | 40(Measured) | | |
| MRT [°C] | With balcony (center of room 1) | With balcony (center of balcony) | Without balcony (center of room 1) |
| | 25 (Measured) | 12.1 (Measured) | 22.5 (Measured) |

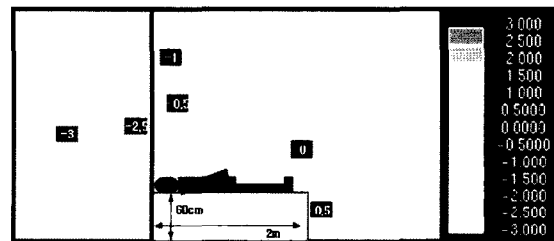


a) CASE 1 (발코니 형)

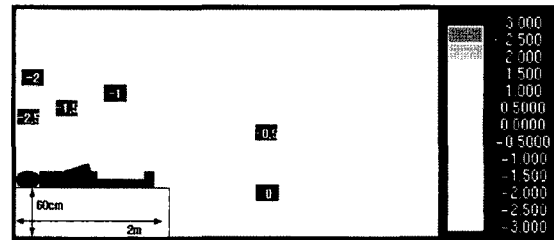


b) CASE 2 (발코니 확장형)

[그림 8] CFD 시뮬레이션 결과-실내 온도 분포



a) CASE 1 (발코니 형)



b) CASE 2 (발코니 확장형)

[그림 9] CFD 시뮬레이션 결과-실내 PMV 분포

TRNSYS 시뮬레이션을 통한 실내 창측 표면 결로 발생을 비교

분석대상 공간 및 케이스

시뮬레이션을 위한 건물 모델링은 선행된 실측대상 세대의 평면, 벽체 구성과 동일하게 하였다. 검토 케이스는 표 5와 같이 침실 1, 거실, 침실 2의 전면 발코니 확장 유무와 확장시 외창의 물성치에 따른

냉난방부하, 열환경 변화를 비교검토 하였다.

CASE 1은 기존의 발코니가 있는 경우에 관한 것이며 CASE 2는 CASE 1의 발코니창을 전제로 단순 확장한 경우, CASE 3은 확장 시 발코니창의 보완책으로 Low-e 유리를 사용한 경우, CASE 4는 Low-e에 Argon 충전한 경우를 모사하고 있다.

시뮬레이션 조건 및 발코니창의 물성치는 표 5 ~ 7과 같다.

<표 5> TRNSYS 시뮬레이션 케이스

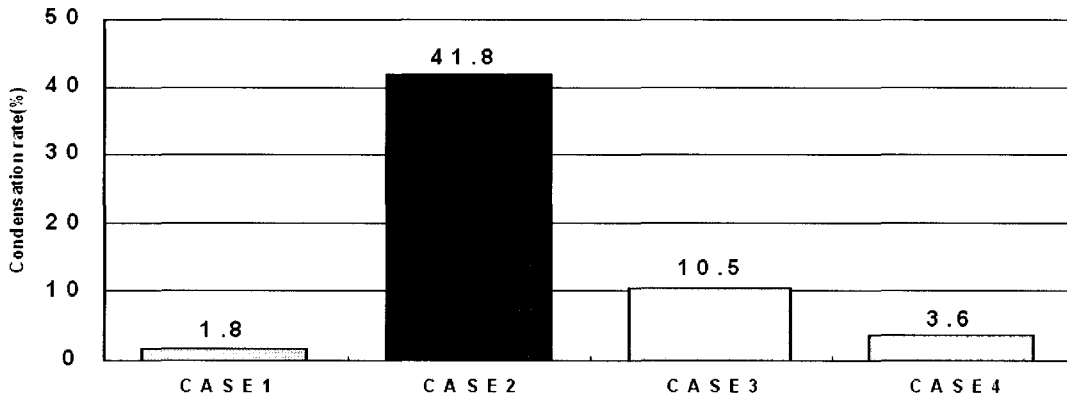
| | Composition |
|--------------------------|--|
| CASE 1 (With balcony) | Double glazing+Double glazing (Exterior window+Inner window) |
| CASE 2 (Without balcony) | Double glazing (Exterior window) |
| CASE 3 (Without balcony) | Double glazing(Low-e) (Exterior window) |
| CASE 4 (Without balcony) | Double glazing(Low-e, Argon) (Exterior window) |

<표 6> window 물성치

| Window type | U-value (W/m ² °C) | Shading coefficient (-) | Thickness (mm) |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------|
| Double | 2.95 | 0.777 | 2.5/12.7/2.5 |
| Double (Low-e) | 1.76 | 0.597 | 3/12.7/2.5 |
| Double (Low-e, Argon) | 1.43 | 0.596 | 3/12.7/2.5 |

<표 7> TRNSYS 시뮬레이션 조건

| | Base condition |
|-------------------|--|
| Weather data | Standard weather data (The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea) |
| Location | Top floor, adjacent house neighborhood |
| Heating set point | 20°C, 40% |
| Cooling set point | 26°C, 60% |
| Internal gain | Person Seated at rest Sensible heat: 60 W Latent heat: 40 W L+D+K : 4 person Room 1 : 2 person Room 2-3 : 1 person |
| | Computer Room: 20 W/m ² L+D+K : 23 W/m ² |
| | Lighting Room : 10 W/m ² L+D+K : 13 W/m ² |
| Ventilation | 0.7 times/h |



[그림 10] 발코니 확장 / 비확장 및 확장시 창호 특성에 따른 결로 발생을 비교

시뮬레이션 결과-결로발생을 (그림 10)

시뮬레이션 결과 난방부하가 걸리는 기간(11월 15일 ~ 4월 15일)에 대한 침실 1의 내측창 표면에서의 결로발생 여부를 1시간 단위로 검토하여 그림 10의 결과를 얻었다. CASE 1(기존형 발코니)은 총 검토시간에 대한 결로발생 비율은 1.8%, CASE 2(확장형 복층유리)는 41.8%, CASE 3(확장형 Low-e유리)은 10.5%, CASE 4(확장형 Low-e+Argon주입유리)는 3.6%로 각각 나타났다. 검토한 CASE 중 단순 확장한 CASE 2가 결로 발생률이 가장 높게 나타났다.

결론

본 연구에서 발코니 확장에 따른 실내 열환경 변화를 실험과 시뮬레이션을 통해 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실측 결과 확장된 발코니 공간이 기존의 발코니가 있는 공간에 비해서 겨울철 실온이 낮게 나타났다. 이는 확장형 발코니가 외부로의 열 손실이 상대적으로 많은 것을 의미한다.
- (2) 실측결과를 바탕으로 한 CFD 시뮬레이션 분석 결과, 분석 대상공간(침실 1)의 PMV치는 확장형이 기존 발코니형에 비해 약 0.35 정도 낮게 나타났다. 특히 확장형의 경우 창측 주변의 PMV가 낮아 재실자의 열적불쾌감을 유발할 수 있다.

(3) TRNSYS 시뮬레이션 분석결과 발코니 확장 시 비확장형에 비해 약 40%의 결로발생을 증가를 보였다. 확장 시 Low-e 유리를 사용하는 등 외측창의 열적 성능을 강화함으로써 결로발생율을 상당부분 줄일 수 있었다.

참고문헌

1. Fanger, P. O., 1970, Thermal Comfort, Danish Technical Press.
2. 송두삼 외 2인, 공동주택의 발코니 확장이 실내 온열환경 및 냉난방 부하에 미치는 영향, 대한설비공학회 2006 하계학술발표대회 논문집, 2006. 6, pp. 847-853.
3. 건설교통부 건축법 시행령 제2조 제1항 제15호 및 제46조 제4항 제4호의 규정
4. TRNSYS reference manual, 2000, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.
5. Libraries were created with the program WINDOW 4.1 from the Lawrence Berkeley Laboratory, USA.
6. ASHRAE 2001, ASHRAE Handbook Fundamentals(SI): THERMAL COMFORT, Atlanta, USA. (☉)