

# 4 공동주택의 결로 대응 성능에 관한 현장 측정

## — 결로 고시 시행 전 준공현장을 중심으로

글 박철용 \ 건축기술팀 차장 \ 전화 02-3433-7731 \ E-mail cypark@ssyenc.com

### 1. 머리말

1975년 473.4만호였던 국내 주택 호수가 2010년 1,388.4만호에 이르기까지 국내의 주택보급은 급격히 이루어졌다. 그 중 공동주택의 보급은 1975년 25.4만호(전체의 5%)에서 1995년 452.5만호(전체의 49%)로 증가하여 대표적인 주거형식으로 자리잡기 시작했으며, 2010년 993.5만호로 전체의 72%까지 증가하였다.<sup>①</sup>

최근 공동주택의 건설 증가와 더불어 건설 관련 소송 또한 증가하고 있다. 아울러 정보화 사회의 영향으로 입주자가 쉽게 건설기술 및 관련 법규 등을 접할 수 있게 되면서 입주자는 판례 및 기술자료를 근거로 공동주택의 하자에 대한 보수를 요구하고 있지만 사업주체의 대처는 미흡하여 분쟁이 빈발하는 계기가 되고 있다. 이러한 하자분쟁은 당사자 간의 원만한 합의에 의해 해결하기보다 법적 소송을 통해 해결하려는 경향이 높다. 공동주택 하자 관련 소송은 2003년 60건 정도가 발생하였으나 해마다 증가하여 2009년에는 600건이 발생하였으며, 소송금액은 약 1조원에 달하는 등 사회경제적 문제를 초래하고 있다.<sup>②③</sup>

건축공사의 하자 발생빈도를 살펴보면 창호공사 「3,717건(14.8%), 도배공사 2,840건(11.3%), 가구공사 2,830건(11.3%), 결로 2,448건(9.7%), 롱카펫 2,380건(9.5%), 타일공사 2,208건(8.8%), 누수 2,120건(8.4%), 도장공사 1,565건(6.2%), 미장공사 1,391건(5.5%) 순으로 나타나고 있다.<sup>④</sup> 이 중 2007년~2009년까지 공동주택 결로 하자발생에 관련된 법원판례를 조사한 결과 다음 [표 1]과 같이 결로와 관련된 소송은 급격히 증가하고 있다.

이처럼 결로 관련 소송이 증가하는 이유 중 하나는 사업주체에서

결로 발생원인을 입주자의 생활습관에 따른 문제로 인식하고 있기 때문이다.

표 1 결로 하자 소송현황

구분	2007년	2008년	2009년
소송건수	167	290	600
결로 관련 소송건수	3	33	130
비율	2%	11%	22%

이와 같이 결로 발생원인에 대한 이해관계를 원칙적으로 해결하여 입주자에게 쾌적한 주거환경을 제공함과 동시에 결로로 인한 분쟁을 저감시키기 위하여 정부에서는 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」(2013년 12월 27일)을 제정 고시(이하 결로 고시)하였다. 본 고시는 실내 온·습도(25℃, 50%)와 외부 온도(지역 I 은 -20℃, 지역 II -15℃, 지역 III -10℃)의 조합별로 결로 발생여부를 확인할 수 있는 온도저하율(TDR) 도입, [표 2]와 같이 벽체 모서리, 창 및 문 등 부위별 온도저하율(TDR) 기준 규정, 부위별 온도저하율(TDR) 산정위치, 세부 측정방법 및 설계도서에 포함하여야 할 결로 방지 상세도 등의 내용을 담고 있다.

① 통계청, 1975~2010년, 주택 총 세대수 조사 통계자료

② 정희수, 2010, 주택법 개정 관련 대표 발의안

③ 조영선, 2011, 공동주택 하자 기술폭소에 대한 건설사 사전 대응모델 개발 연구

④ 이찬식 외, 2010, 하자판정 매뉴얼 보고서 개발

표 2 결로 고시 [별표 1] 주요 부위별 결로 방지 성능기준

대상부위			TDR값 <sup>주1), 주2)</sup>		
			지역 I	지역 II	지역 III
출입문	현관문 대피공간 방화문	문짝	0.30	0.33	0.38
		문틀	0.22	0.24	0.27
벽체 접합부			0.23	0.25	0.28
외기에 직접 접하는 창	유리 중앙 부위	0.16 (0.16)	0.18 (0.18)	0.20 (0.24)	
	유리 모서리 부위	0.22 (0.26)	0.24 (0.29)	0.27 (0.32)	
	창틀 및 창짝	0.25 (0.30)	0.28 (0.33)	0.32 (0.38)	

주1) 각 대상부위 모두 만족하여야 함  
 주2) 괄호안은 알루미늄(AL)창의 적용기준임

따라서 본 연구에서는 결로 고시 내용을 바탕으로 결로 고시 시행 전 준공된 공동주택을 대상으로 결로 고시에서 요구하는 부위들에 대한 온도저하율(TDR)을 산정을 통해 기존 공동주택의 결로 대응 성능에 대한 현황조사를 실시하였다.

## 2. 측정 내용 및 방법

본 연구에서는 '공동주택 결로방지를 위한 설계기준(국토교통부고시 제2013-845호)'에 따라 측정 환경 및 부위 등을 각 기준에 맞추어 신축건물의 결로 발생현황을 조사하고, 그에 따른 대안을 제시하기 위하여 측정을 실시하였다.

측정 대상 현장은 2012년에 준공된 서울 소재 A현장(쌍용건설), 인천 소재 B현장(한라), 경기도 소재 C현장(현대산업개발) 이상 3개 현장을 선정하였으며, 외기 온도가 가장 최저일 때를 선정하여 2014년 1월~3월 측정을 실시하였다(온도는 지역 II 기준인 -15°C 일 때의 시점을 특정하기 어려워 법규 기준보다는 높은 외기온도에서 측정을 실시함).

측정 전 실내 온습도 조건을 결로 고시 기준과 동일하도록 각 현장 별로 난방 및 가습기를 이용하여 실내온도 25°C, 습도 50%로 설정한 후 [표 4]와 같이 법규에 제시되어 있는 위치를 최대한 참고하였으나 장비 측정 개수의 한계와 부위별 온도의 유사성 등을 고려하여 측정 위치를 선정하였고, 추가 측정으로 법규에는 제시되어 있지 않지만 외기 간접 창의 결로 발생 가능성 현황 파악을 위해 안방 창도 측정하였다.

표 3 실측 세대 세부사항


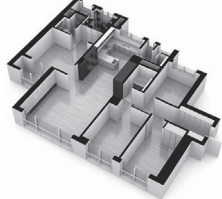
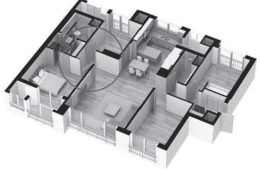
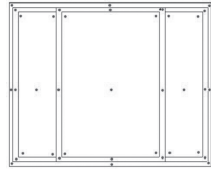
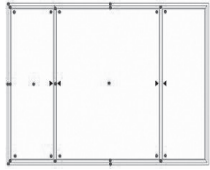



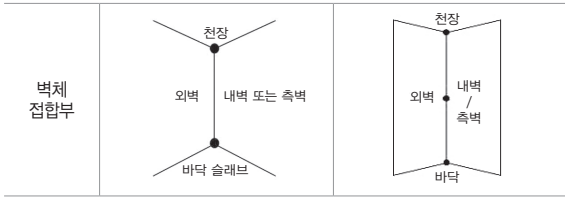
쌍용건설	 <p>129㎡ / 판상형 / 중간층 / 남향                      설계기준 : 건축물의 에너지절약설계기준                      (국토해양부고시 제2008-652호)</p>
한라	 <p>101㎡ / 탑상형 / 최상층 / 남향                      설계기준 : 건축물의 에너지절약설계기준                      (국토해양부고시 제2008-652호)</p>
현대산업개발	 <p>100㎡ / 탑상형 / 최상층 / 남향                      설계기준 : 친환경 주택의 건설기준 및                      성능(국토해양부고시 제2009-1014호)</p>




표 4 현장별 표면온도 측정현황

구분	결로 고시	대상 현장
창 (거실)		
창 (안방)	외기 간접 창 제외	
현관문 · 대피 공간문		



각 부위별 표면온도와 실별 온·습도를 실시간으로 측정 및 기록하기 위해서는 다음과 같은 측정값 저장기능이 있는 열전대와 온습도계를 이용하였다.

표 5 주요 측정장비

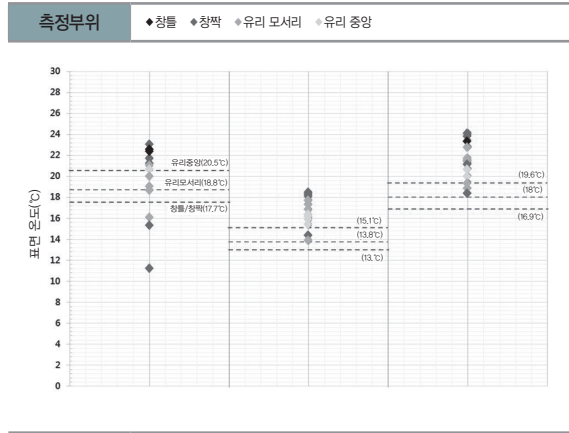
장비명	주요 장비 기능설명		
표면온도 기록계 (Data logger)	 [DX200]	 [GL 700]	 [TMA 201]
	▷ 30CH • 정밀도 : 온도 ± 0.37°C • 측정시간 : 10초~24시간 • PC Interface 제공	▷ 20CH • 정밀도 : 온도 ± 1.0°C • 측정시간 : 1초~24시간 • PC Interface 제공	▷ 8CH • 정밀도 : 온도 ± 1.0°C • 측정시간 : 1초~24시간 • PC Interface 제공
	 [MHT-381SD] <ul style="list-style-type: none"> <li>• 측정범위 : 온도 0~50°C, 습도 10~95%</li> <li>• 측정시간 : 1초~1시간</li> <li>• 표시 Sampling Time : 1초</li> <li>• PC Interface 제공</li> </ul>		
온습도계 (Data logger)			

### 3. 측정결과

#### 1) 거실창호(외기에 직접 접하는 창)

외기에 직접 접하는 확장세대 거실창호를 결로방지 설계기준 측정위치에 따라 각 부위별 TDR 기준인 유리중양(0.18), 유리모서리(0.24), 창틀/창짝(0.28)으로 구분하여, 현장별 측정조건에 따른 표면온도 기준을 설정 후 실측한 결과를 아래 [표 6]과 같이 비교 및 분석하였다.

표 6 현장별 거실창호 표면온도

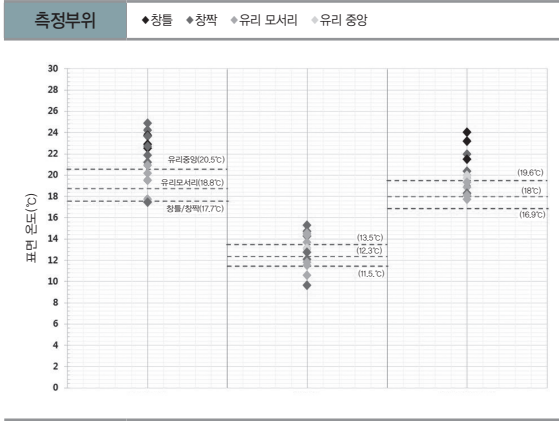


- 창틀 부위는 모든 현장에서 TDR 성능기준의 표면온도보다 약 5°C 이상 높게 측정되어, 부위에 상관없이 결로 범규기준을 충분히 만족하였다.
- 창짝 부위 또한 대부분 현장에서 TDR 성능기준을 만족하였으나, 공통적으로 창짝 중앙 하단부위의 표면온도가 다른 부위에 비해 현저히 낮게 측정되었다. 이것은 창틀의 경우 골조에 부착되어 설치되는 반면 창짝은 별도의 구성을 지니기 때문인 것으로 판단된다.
- 유리 중앙부의 경우 모든 현장에서 TDR 기준 표면온도보다 약 1°C 높게 측정되어 기준에는 만족하지만, 그 차이가 매우 근소하여 생활환경 조건의 변화에 따라 결로가 발생할 수 있다. 유리 모서리는 현장마다 동일하게 창짝이 겹치는 부위에서 기준에 불만족하거나, 기준과의 차이가 근소하다. 즉, 두 창짝 사이의 틈새로 누기가 발생하여 그 부위의 유리 표면온도가 떨어져 결로가 발생할 수 있는 것으로 나타났다.

#### 2) 안방창호(외기에 간접 접하는 창)

발코니가 설치된 안방창호는 외기에 간접적으로 접하는 창으로 결로 방지 설계기준에 해당하지 않는 부위지만, 거실창호의 이중창과 달리 단창으로 설치되어 열적 성능 및 기밀도가 낮아 간접 외기로 인한 결로가 발생할 가능성이 있다. TDR기준은 거실창호와 동일하게 설정하여, 각 부위별로 표면온도 기준을 산출 후 실측한 결과를 아래 [표 7]과 같이 비교 및 분석하였다. 단, 안방창호와 직접 면한 외부온도는 발코니 온도지만, 결로방지 설계기준의 TDR 기준은 외기온도로 정해져 있으므로 거실창호와 동일한 조건을 적용하였다.

표 7 현장별 안방창호 표면온도

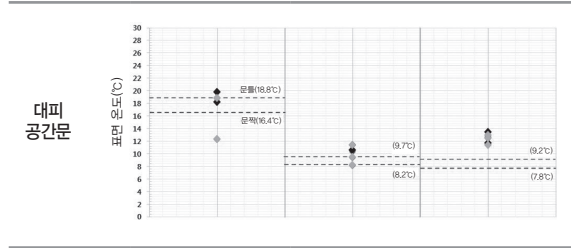
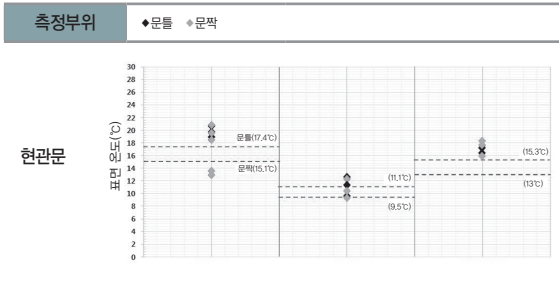


- ① 창틀 부위는 거실창호와 마찬가지로 모든 현장에서 TDR 성능 기준의 표면온도보다 약 5°C 이상 높게 측정되어, 부위에 상관 없이 결코 법규기준을 충분히 만족하였다.
- ② 창짝의 경우 현대산업개발 현장은 모두 기준에 만족하였고, 그 외 2곳 현장에서도 대부분의 측정부위에서 법규기준을 만족하는 것으로 나타났으나, 창짝이 서로 겹치는 부위는 외부에서 유입되는 외기로 표면온도가 다른 부위에 비하여 상대적으로 낮게 나타나 결로 발생에 대한 고려가 필요한 부위로 나타났다.
- ③ 유리 중앙부의 경우 TDR 기준 표면온도와 약 ±1°C 범위 내 측정되었고, 모든 현장의 유리 모서리 경우 창이 서로 겹치는 부위에 TDR 기준 이하의 표면온도가 측정되었다. 결과적으로 유리의 경우 창틀과 창짝에 비해 결로에 취약한 부위로 나타났다.

### 3) 출입문(현관문 및 대피공간문)

상대적으로 단열성능의 차이가 발생하는 문틀과 문짝을 구분하여, 그에 해당하는 TDR 기준 문틀(0.24), 문짝(0.33)에 따라 각 현장별 실측조건(실내외 온도)을 반영한 표면온도 기준을 산출하여 실측한 결과를 아래 [표 8]과 같이 비교 및 분석하였다.

표 8 현장별 출입문 표면온도

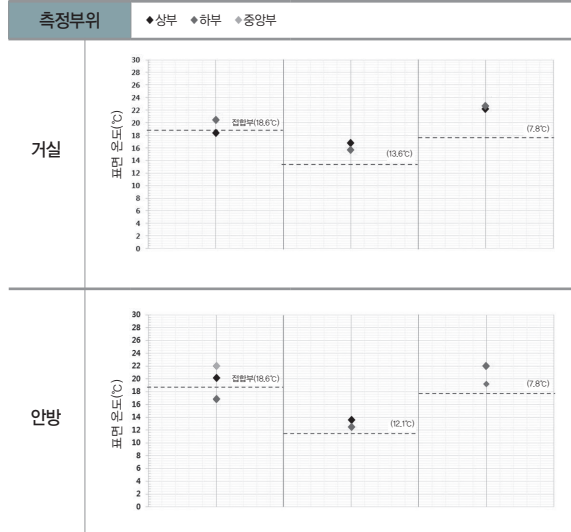


- ① 문틀 및 문짝 측정결과와 현장에 따라 TDR 법규기준 만족 여부가 차이를 보였다. 법규 기준을 만족하지 못하는 현장의 경우 문짝 하부, 문틀 하부에서 기준 이하의 표면온도가 측정되었다. 이는 하부의 찬 공기와 기밀성능 저하에 따른 외부공기 유입으로 인한 것으로 판단된다.
- ② 모든 현장에서 현관문 및 대피공간문은 문틀과 문짝에 관계없이 문 안쪽보다 개폐되는 부위의 표면온도가 가장 낮고, 상부 보다 하부의 온도가 현저하게 낮게 측정되었다. 출입문 자체 모든 부위의 TDR 성능이 같다고 가정하면, 누기를 차단하는 문틀의 개스킷 성능이 결코 발생여부를 결정하는 것으로 판단된다.

### 4) 벽체접합부(거실 및 안방)

세대내 볼투명 구조체 중에서 최저 표면온도를 나타낼 가능성이 가장 높은 부위인 외기에 직접 접하는 벽체와 세대 내 천정 및 바닥이 동시에 만나는 벽체접합부의 상중하부를 대상으로 TDR 기준(0.25)에 따라 표면온도를 산출하여, 실측한 결과를 아래 [표 9]와 같이 비교 및 분석하였다.

표 9 현장별 벽체접합부 표면온도



- ① 실벽 벽체 접합부 측정결과 대부분 현장에서 TDR 기준에 만족하였고, 상부와 하부의 TDR 성능은 현장별로 공통된 특징은 없었다. 다만, 최상층이 외단열인 현장은 하부가 상부보다 TDR 성능이 우수한 반면, 내단열인 현장은 상부가 하부보다 우수하였다. 이는 최상층 외단열 시공으로 벽체와의 단열 끊김에 의한 열교가 발생하였기 때문으로 판단된다.
- ② 벽체 접합부의 중앙부는 TDR 기준의 표면온도 보다 약 2°C, 다른 부위보다도 1°C 높게 측정되었다. 이는 상하부와 달리 천장과 벽체, 바닥과 벽체 단열재의 이음부가 없기 때문에 단열재 틈을 충전하는 상하부 보다는 TDR 성능이 우수한 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

국토교통부에서는 결로 발생원인에 대한 이해관계를 원칙적으로 해결하여 입주자에게 쾌적한 주거환경을 제공함과 동시에 결로로 인한 분쟁을 저감시키기 위하여 「공동주택 결로 방지를 위한 설계 기준」(2013.12.27)을 제정 및 고시하였고, 이를 계기로 쌍용건설, 한라, 현대산업개발 이상 3개 건설회사가 대응방안 마련을 위한 공동연구를 수행하였다.

본 연구에서는 결로현상에 대한 이론적 고찰, 결로 판정방법 및 대책, 3개 건설회사별 준공현장에서의 실내 온·습도 및 외부온도와 결로 고시에서 요구하는 부위별 표면온도 측정을 실시하였으며, 이를 바탕으로 결로 고시를 만족시킬 수 있는 가이드라인을 마련하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 기후변화에 대한 관심이 높아지면서 건축물에서 사용되는 에너지에 대한 관심도 높아짐에 따라 패시브 하우스 또는 제로에너지 건축물 등이 등장하기에 이르렀다. 이러한 에너지 절약적인 건축물은 기본적으로 고단열 및 고기밀 성능이 요구되는데, 이에 따라 깨끗한 외부공기를 유입시키고 더러운 실내공기를 배출시키기 위해서 필연적으로 환기설비를 설치하게 되었다.

그러나 공동주택에서는 이러한 환기설비를 인식 부족 및 전기요금 상승, 소음 발생 등의 이유로 거의 가동하지 않고 있으며, 이에 따라 실내의 상대습도를 환기를 통해서 조절할 수 있는 가능성이 낮아졌고 따라서 외부온도가 낮아질 경우 결로문제가 급격하게 많이 발생하기에 이르렀다. 이에 국토교통부에서는 표준적인 실내 온습도 조건과 지역별 외부온도 설정을 통하여 그 조건에서 결로 취약 부위가 지녀야 할 최소 성능을 온도저하율(TDR) 기준으로 제시하게 되었다.

둘째, 외기에 직접 접하는 거실 창호를 대상으로 현장 측정된 결과, 창틀 및 창짝은 대부분 온도저하율(TDR) 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 다만 1개 현장에서 창짝의 중앙 하단부에서 온도저하율(TDR)이 다른 부위에 비해 현저히 낮았다. 유리 중앙부위는 모든 현장에서 온도저하율(TDR) 기준을 만족하고 있었으며, 유리 모서리 부위는 모든 현장에서 동일하게 창짝이 겹치는 부위에서 가장 취약한 것으로 나타났다. 이것은 미서기 창의 특성상 두 창짝 사이의 틈새로 침기가 발생하였기 때문으로 판단된다. 따라서 미서기 창의 겹침부위에 모헤어 설치 등 기밀성을 확보하는 것이 필요하다.

셋째, 현관문과 대피공간 방화문을 대상으로 현장 측정결과, 모든 현장에서 문 안쪽보다 개폐되는 부위의 표면온도가 가장 낮고, 상부보다는 하부의 온도가 현저하게 낮게 측정되었다. 따라서 이중 개스킷 설치 등과 같이 문의 기밀성을 확보하는 것이 필요하다.

넷째, 벽체 접합부를 대상으로 현장 측정결과, 대부분 현장에서 온도저하율(TDR) 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 다만 최상층이 외단열일 경우 상부 접합부의 표면온도가 상대적으로 낮고, 내단열일 경우 하부 접합부의 표면온도가 상대적으로 낮게 나타나는 특징을 보였다.

이상의 현장 측정결과로부터 결로 고시 제정 이전에 설계되어 준공된 현장이더라도 결로 고시에서 요구하는 온도저하율(TDR)을 대부분 만족하는 것으로 나타났으며, 따라서 최근 개정된 「건축물 에너지절약설계기준」과 「친환경 주택 건설기준 및 성능」 등과 같은 에너지 제도를 준수할 경우 결로 고시는 만족시킬 수 있을 것으로 예상된다. 다만, 미서기 창의 겹침 부위 및 창의 롤러와 레일부가 만나는 부위, 현관문의 기밀성능, 벽체 모서리 부위의 단열재 이음부 밀착정도 등에 따라 결로기준 성능을 만족하지 않는 경우도 발생할 수도 있으므로 이러한 부위에 대한 상세도 작성 및 철저한 시공관리가 필요할 것으로 판단된다. S

※ 본 연구는 쌍용건설(박철용, 전현도), 한라(최준석, 이용대), 현대산업개발(최지혜)의 공동연구 내용을 요약 및 재편집한 것입니다.