



### 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원 저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리와 책임은 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)



工學碩士學位論文

공동주택 세대내부 결로 발생 하자 방지를 위한  
단열재 시공 개선방안에 관한 연구

Improvement of Insulation Works for Defect Prevention of Internal  
Dew Condensation Occurrence in  
Apartment Housings



仁荷大學校 工學大學院

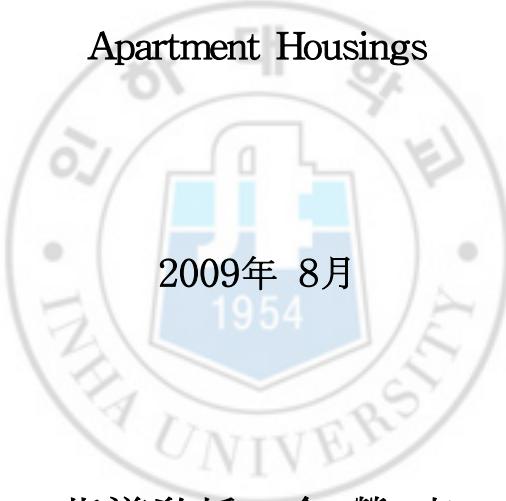
建築工學科

表 錢 南

工學碩士學位論文

공동주택 세대내부 결로 발생 하자 방지를 위한  
단열재 시공 개선방안에 관한 연구

Improvement of Insulation Works for Defect Prevention of Internal  
Dew Condensation Occurrence in  
Apartment Housings



指導教授 金 榮 穎

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함

仁荷大學校 工學大學院  
建築工學科  
表 鉉 南

이 論文을 表鉉南의 碩士學位 論文으로 認定함

2009年 8月

主審 : \_\_\_\_\_ (인)

副審 : \_\_\_\_\_ (인)

委員 : \_\_\_\_\_ (인)

## 국문요약

공동주택은 1960년과 70년대를 지나오면서 공급 되었으며 1980년대 이후 도시인구의 급증과 경제성장에 따라 지속적으로 공급되어 주거문화의 한 축을 형성하게 되었다.

그러나 고층화에 따른 양적 팽창과 소비자의 눈높이가 높아짐에 따른 고품질화로 많은 문제점이 제기되고 있으며 그 중에서도 결로로 인해 발생하는 하자가 크게 나타나고 있다. 위와 같은 결로 하자는 과거 비 단열구역의 결로하자가 주를 이루었을뿐 단열부위의 결로 하자가 크게 대두되지 않았다. 하지만 최근 들어 단열재의 단열성능 향상과 건축물 구조체의 밀실시공, 외부창호의 밀폐력 증가로 실내의 습기 증대와 실내·외의 온도차이가 크게 벌어져 단열재 결손으로 발생하는 세대 내부 결로 하자가 급증하고 있다. 이 같은 세대내부의 단열재 시공불량으로 발생하는 결로하자는 거주자나 설계자의 책임이 아닌 건설사의 책임임에도 불구하고 거주자에게 금전적 피해와 건강에 악영향을 주고 있다. 또한 이러한 세대 내부 결로 하자는 건설사에게 하자보수 비용 및 피해보상비의 증가로 이어지며 나아가 수주 활동 및 건설사 신뢰도 하락에도 큰 영향을 준다. 그러므로 단열재 시공 불량으로 발생하는 결로를 방지하기 위한 단열재 시공 개선안이 제시 되어야 한다.

본 연구에서는 L사의 공동주택현장 하자보수팀이 실시한 세대 내부 결로하자 보수현황을 조사하여 결로하자를 유형별로 나누어 발생원인과 하자 보수방법을 분석하였다. 분석한 결과를 기초로 하여 세대 내부 단열재 시공불량발생 원인을 찾아 세대 내부 결로 방지를 위한 단열재 시공 개선방안을 제시하였다. 결로하자 보수 후 결로 재발생 여부를 하자유형별로 조사하여 본 연구에서 제시한 단열재 시공 개선안에 대한 보다 객관적인 자료를 제시하여 본 연구에 대한 검증을 하였다.

이렇게 제시된 단열재 시공 개선방안은 세대 내부 단열재 시공불량을 감소

시켜 결로 하자를 최소화 하여 거주자에게는 쾌적한 환경에서 생활할 수 있도록 해주며, 건설사는 하자보수 비용 및 피해보상비의 절감으로 금전적인 피해를 최소화 할 수 있다. 또한 제시된 세대 내부 결로방지를 위한 단열재 시공 개선안은 거주자의 만족도를 높이며, 나아가 건설사의 인지도를 높일 수 있는 계기가 될 것으로 본다.



## ABSTRACT

Apartment buildings began to be provided in 1960s and 1970s, and they have come to constitute an axis of residential culture as they have been offered constantly since 1980s with rapid increase in urban population and economic growth.

However, with quantitative expansion resulted from high-rise apartments and high quality arising from rise in consumer insight, many problems are being raised and among them, defect occurrence due to condensation are appearing very much. Condensation defects mentioned above did not take place much in the parts of heat insulation in the past, but they appear mainly in the balcony, which is non-heat insulation area. But recently, Condensation defects are increasing sharply, which are arising from damage of the heat insulation material as indoor humidity increases and differences between outdoor and indoor thermal conditions become even more dramatic owing to improvement of the performance of heat insulation materials and retentive construction of building structure, and increase in the retentive force of exterior doors and windows. Although the residents or designers are not responsible for condensation defects resulting from false construction of heat insulation material in apartment buildings and the construction companies are accountable for that, residents suffer financial damage and their health is threatened. In addition, these condensation defects lead to increase in defect repair expenses and compensation for damage compensation for construction companies and further, affect order-receiving activity and reliability of the

construction company as well. Therefore, improvement methods of constructing heat insulation material should be provided in order to prevent condensation arising from false construction of it.

For this study, we completed repairing defects after judging whether there was or not condensation of the surface visiting the houses with condensation occurrence through the defect repair team of the company and based on this, dividing defects into each type and analyzing the reason of occurrence and the actual status and methods of defect management, we found the causes of occurrence of false construction of heat condensation material inside the house and based on these results, provided improvement methods of constructing heat insulation material in order to prevent condensation arising from false construction of it. Each defect type was surveyed dividing into 5 tools about whether or not it takes place again after managing condensation defects. The present research was verified by providing more objective data of improvement methods of constructing heat insulation material proposed in this study.

Improvement methods proposed as mentioned above could minimize condensation defects by reducing false construction of heat insulation material inside the apartment building and provide life environment for dwellers to live in comfortably, and minimize financial damage through decrease in defect repair expenses and damage compensation. It is projected that this will elevate residents' satisfaction, and further, be a moment to enhance consumer awareness of the construction company.

# 목 차

국문요약 -----	i
Abstract -----	iii
목 차 -----	v
표 목 차 -----	vii
그림목차 -----	viii
제1장 서론-----	1
1.1 연구의 배경 및 목적-----	1
1.2 연구의 범위 및 방법-----	2
제2장 결로에 관한 이론적 고찰-----	4
2.1 결로의 정의-----	4
2.2 결로-----	7
2.2.1 결로 발생의 유형-----	7
2.2.2 결로 발생에 따른 영향-----	13
2.2.3 결로 발생의 원인-----	19
2.2.4 결로 발생 원인에 대한 일반적 대책-----	27
2.3 국내외 연구동향 분석-----	30
제3장 공동주택 세대 내부 단열재 시공불량으로 인한 결로하자 유형조사 및 분석-----	32
3.1 세대 내부 단열재 시공 불량으로 인한 결로 하자유형 및 원인 분석-----	32
3.1.1 단열재의 정의 및 일반사항-----	32
3.1.2 공동주택 세대 내부 결로 발생에 따른 하자사례 유형조사---	36

3.1.3 하자사례 유형별 단열재 시공불량 원인 분석-----	44
3.2 세대 내부 단열재 시공 시 중점 관리 사항-----	52
<b>제4장 공동주택의 세대 내부 결로 발생 방지를 위한 단열재 시공 개선방안-----</b>	<b>55</b>
4.1 세대 내부 결로 발생 하자 보수현황 및 방법분석-----	55
4.1.1 결로 발생 하자사례 유형별 원인에 따른 하자보수 현황-----	55
4.1.2 하자보수 현황에 따른 방법 분석-----	62
4.2 세대 내부 결로 발생 방지를 위한 단열재 시공 개선방안-----	63
<b>제5장 결론 -----</b>	<b>70</b>
<b>참고문헌 -----</b>	<b>72</b>



## 표 목 차

표 2-1. 결로의 원제인공자에 따른 분류-----	8
표 2-2. 결로의 발생 시기에 따른 분류-----	9
표 2-3. 결로의 발생 온·습도표-----	10
표 2-4. 결로 발생 부위에 따른 분류-----	12
표 2-5. 수증기의 포화수증기압-----	16
표 2-6. 습도의 주요 표시 방법-----	19
표 2-7. 결로 발생 조건-----	19
표 2-8. 실내의 습기 발생요인과 발생량-----	20
표 2-9. 작업상태별 인체의 수분 발생량(g/h)-----	20
표 2-10. 조리에 의한 수분 발생량(g/h)-----	21
표 2-11. 일반적 결로방지 대책-----	28
표 2-12. 구조체 결로방지 대책-----	29
표 2-13. 공동주택 결로 방지에 대한 연구동향 분석-----	31
표 3-1. 단열재의 열전도율 비교-----	33
표 3-2. 단열재의 두께(중부지역)-----	34
표 3-3. 단열재의 등급 분류-----	35
표 3-4. 결로하자 유형별 단열재 시공 시 관리사항-----	53
표 4-1. 결로 하자보수 현황 및 재 발생 현황-----	61
표 4-2. 결로 발생 유형별 보수현황 분석-----	62
표 4-3. 건축 생산주체별 하자방지를 위한 고려사항-----	64

## 그 림 목 차

그림 1-1. 연구의 흐름도-----	3
그림 2-1 결로현상 설명도-----	4
그림 2-2 지하주차장 바닥에 발생한 결로-----	5
그림 2-3 지하주차장 천정에 발생한 결로-----	5
그림 2-4 발코니 천정 결로-----	6
그림 2-5 발코니 벽체 결로-----	6
그림 2-6 내부결로 결로현상 설명도-----	12
그림 2-7 다용도실 벽면 곰팡이 발생-----	14
그림 2-8 거실 결례받이 상부 곰팡이 발생-----	14
그림 2-9 벽체의 결로현상 설명도-----	15
그림 2-10 발코니 결로 발생으로 인한 도장탈락-----	17
그림 2-11 발코니 결로 발생으로 인한 곰팡이 발생-----	17
그림 2-12 유리면에 발생한 결로-----	22
그림 2-13 냉수배관 표면에 발생한 결로-----	22
그림 2-14 평면 접합부 열교부위 전열특성-----	24
그림 3-1 세대내부 결로 유형별 발생건수-----	36
그림 3-2 조사대상 결로 발생 구역-----	37
그림 3-3 벽지 곰팡이 발생-----	39
그림 3-4 전화기 단자함 결로-----	39
그림 3-5 결로로 인한 마루변색-----	39
그림 3-6 거주자 생활용품 훠손-----	40
그림 3-7 거주자 구입 가구 훠손-----	40

그림 3-8 천정 도배지 오염-----	41
그림 3-9 최상층 벽 상부 도배지 오염-----	41
그림 3-10 천정등 기구 부식-----	41
그림 3-11 환기덕트 조적벽에 면한 창고내부 곰팡이 발생-----	42
그림 3-12 파이프덕트 조적벽에 면한 냉박이장 내부 곰팡이-----	42
그림 3-13 단열재 사이의 수직 빈틈-----	45
그림 3-14 단열재 사이와 방바닥 사이의 수평 빈틈-----	45
그림 3-15 단열재 사이의 수직 빈틈-----	45
그림 3-16 전화단자박스 주변 단열재 결손-----	46
그림 3-17 전화단자박스 설치 부위의 단면도-----	46
그림 3-18 최상층 열교부위 단열재 누락-----	47
그림 3-19 천정 단열재 사축불량-----	47
그림 3-20 단열재 사이 콘크리트 유입-----	48
그림 3-21 천정 단열재 사이에 발생한 결로-----	48
그림 3-22 천정등박스 주변 단열재 결손-----	49
그림 3-23 천정등박스 설치 단면도-----	49
그림 3-24 플라스틱관을 통해 유입된 냉기로 발생한 결로-----	50
그림 3-25 냉기 유입 경로-----	50
그림 3-26 파이프덕트 내부 단열재 누락-----	51
그림 3-27 파이프덕트 조적벽 단열재 누락-----	51
그림 4-1 벽체 단열재 빈틈 우레탄폼 충진-----	56
그림 4-2 전화단자박스 우레탄폼 충진-----	56
그림 4-3 열교부위 단열재 재시공-----	57
그림 4-4 열교부위 단열재 빈틈 우레탄폼 사축-----	57

그림 4-5 단열재 빈틈 우레탄 폼 사출-----	58
그림 4-6 단열재 빈틈 우레탄 폼 사출2-----	58
그림 4-7 천정등박스 주변 사출 및 단열보강-----	59
그림 4-8 우레탄 폼 주입기계-----	59
그림 4-9 옥상총 슬리브 빈틈 발생-----	60
그림 4-10 환기턱트 조적벽에 면한 창고내부 단열재 시공-----	60
그림 4-11 기존 단열재 단면-----	65
그림 4-12 개선된 “L” 자 단면의 단열재 -----	65
그림 4-13 일반 칼-----	66
그림 4-14 열선 커터기-----	66
그림 4-15 기존 매립형 전기박스-----	67
그림 4-16 결로 방지용 콘센트 박스-----	67
그림 4-17 기존 단열재 시공도면[내단열]-----	68
그림 4-18 개선된 단열재 시공도면[내단열+외단열]-----	68
그림 4-19 파이프덕트 조적벽 단열재 시공-----	69
그림 4-20 파이프덕트 조적벽 단열재 시공-----	69

# 제1장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건강에 대한 국민들의 인식이 크게 제고되어, 쾌적하고 안전한 실내 공기질 유지와 이에 따른 친환경 건축물 구축이 사회적인 이슈가 되고 있다. 국가에서도 공동주택의 경우 주민들의 입주 전 실내공기 오염물질을 측정해 공고하도록 규정하는 등의 노력을 기울이고 있다. 이에 대한 노력의 일환으로 친환경 자재의 사용이 크게 증가되고, 결로 방지 및 에너지 절약차원에서 단열성능이 향상된 설계와 시공이 이루어지고 있다. 이러한 건축 환경의 변화로 최근 건물 내 곰팡이 발생이 촉진되고 그로 인한 거주자의 호흡기 질환과 아토피성 피부 질환 등을 야기 하여 오히려 인체 건강을 위협할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 실제로 최근 준공된 공동주택에서 곰팡이 관련 하자 보수 건수가 증가하고 민원 및 소송으로까지 이어지는 사례가 나타나고 있다.<sup>1)</sup>

이와 같이 곰팡이 발생의 원인인 결로를 방지하기 위한 대책으로 기존 연구에서는 보통 환기 및 단열 강화 등의 방법이 사용되고, 또한 재료의 배열 순서를 실내측에서 실외측으로 갈수록 단열 저항을 크게 하고 투습저항은 실외측으로 갈수록 작게하여 설계, 시공하는 것이 올바른 방법이다. 하지만 통상 공동주택의 외벽 및 측벽은 내단열로 구성되어 상기 원칙을 충족시키지 못함과 동시에 내단열의 단열재 시공불량으로 발생한 단열재 결손은 결로가 발생하게 한다. 이러한 결로는 미생물의 발생 환경을 제공하여 부식세균이 번식되게 하고, 구조부위의 유기재료를 손상시켜 건물전체의 수명을 단축시킨다. 또한, 곰팡이류가 직접 피부에 닿거나 호흡기를 통해 인체에 침입하여 각종 염증이나 알레리기성 피부질환을 유발하여 인체에 악영향을 끼칠 뿐만 아니라 보수 시에는 다른 내장 재료를 함께 시공해야 하므로 더 많은 하자보수 비용이 발생된다. 더욱이 이러한 결로하자는 건설사의 이미지 실추와 분양률 저하 등의 문제를 야기할 수 있으므로 더욱 주의해야 할 것이다. 이에 본 연구는 L사의 공동주택현장의 하자보수팀이 실시한 세대 내부 결로하자

1) 문현준의 3명, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 공동주택 현관문 벽체에서의 곰팡이 발생 위험도 분석  
대한 건축학회, 2007년

보수 실태를 조사하여 단열재 시공불량으로 발생한 결로 하자를 유형별로 나누어 그 원인을 분석하고 유형별로 해결책을 제시함으로써 시공품질 향상과 더불어 소비자의 건설사에 대한 불신을 감소시키고, 또한 건설사의 하자보수 및 피해보상비용 절감을 도모하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

공동주택은 각 부위 별로 조건에 맞게 결로 방지 대책이 제시되어 있지만 현실적으로 현장에서 이론과는 딱 맞는 않는 시공 상의 어려운 점이 많이 있다. 하지만 기존의 결로 저감관련 연구들은 실내·외의 온도차, 단열재의 단열성능 저하에 따라 발생하는 결로 현상의 이론적 해석을 위한 실험적 내용이 주를 이루고 있었다. 이에 본 연구에서는 결로에 관한 일반적인 이론고찰을 하고, 고찰한 내용을 토대로 L사의 공동주택현장의 하자보수팀이 실시한 결로하자 보수 실태를 조사하여, 이를 유형별로 나누어 원인과 하자보수 현황 및 방법을 분석하였다. 분석한 결과를 토대로 세대 내부 결로발생 방지를 위한 단열재 시공 개선방안을 제시하였다. 본 연구의 진행은 그림1-1과 같은 흐름으로 진행되며, 이에 따른 연구의 세부내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 이론적 고찰에서는 결로의 정의, 결로 발생의 유형, 결로 발생에 따른 영향, 결로 발생의 원인에 대하여 분석하여 일반적인 결로방지 대책을 제시한다. 또한 국내의 연구동향을 분석하여 그 한계와 문제점 등에 대하여 고찰한다.
- 2) 단열재 시공불량으로 발생한 결로하자 사례 조사를 통하여 유형별 하자의 원인을 분석하고 단열재 시공 시 관리해야하는 일반적인 관리 사항을 제시한다.
- 3) 세대내부 단열재 시공 불량으로 발생한 유형별 결로 하자를 보수한 현황을 기초로 하자보수 방법을 분석한다.
- 4) 분석된 하자보수 방법을 토대로 세대 내부 결로 발생 방지를 위한 단열재 시공 개선방안을 제시한다.

이상과 같은 연구의 흐름을 도식화하면 그림 1-1과 같다.

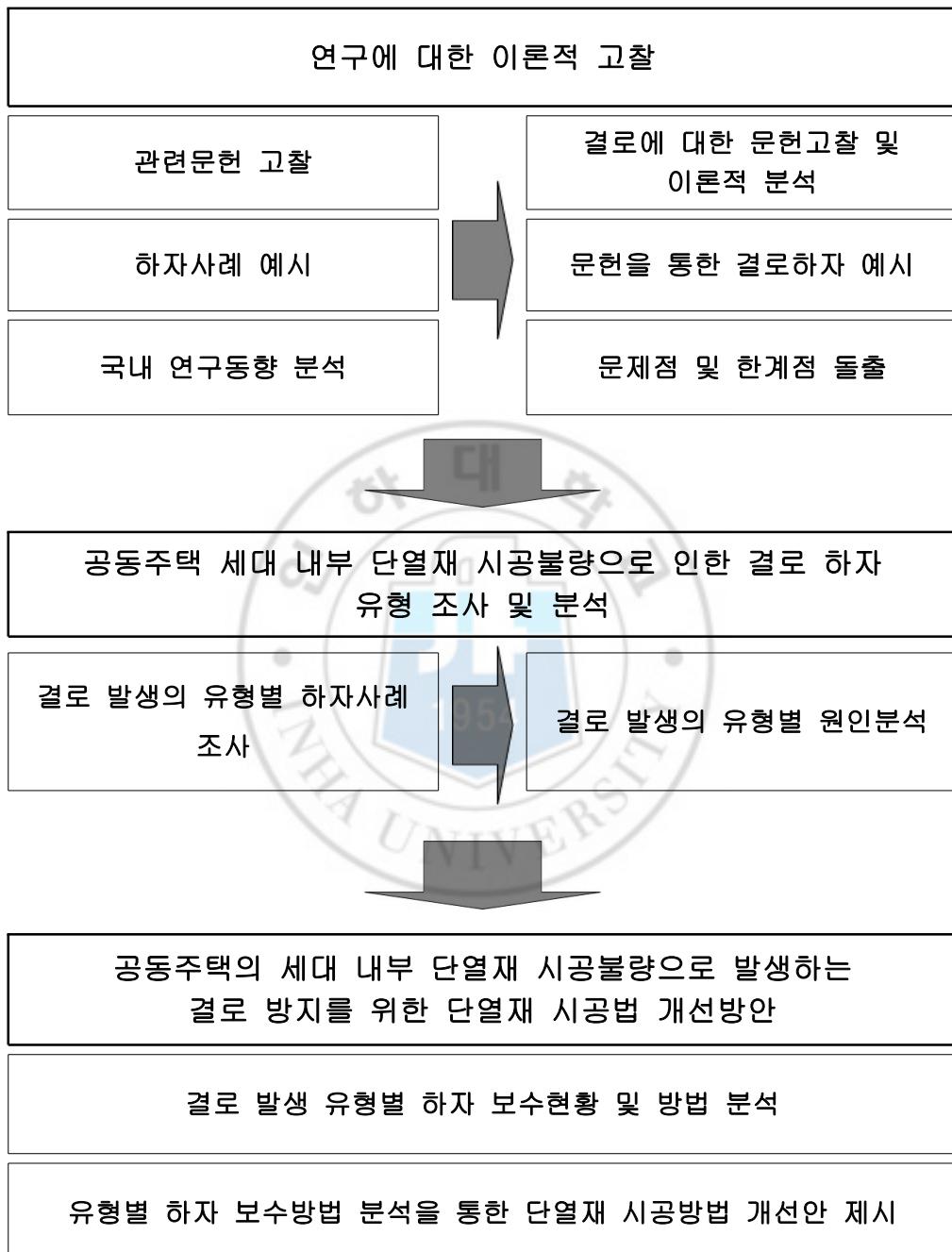


그림 1-1 연구의 흐름도

## 제2장 결로에 관한 이론적 고찰

본 장에서는 결로의 정의 및 발생 유형과 결로 발생에 따른 영향, 결로 발생의 원인에 대하여 알아본다. 결로 발생의 유형은 원인 제공자, 발생의 시기, 발생 부위에 따라 종류를 구분하고, 결로 발생에 따른 영향은 곰팡이 발생에 대한 영향, 건물에 대한 피해, 건강에 대한 영향으로 나누어 알아본다. 그리고 결로 발생의 원인에서는 결로를 발생시키는 원인에 대해 분석하여 결로 예방에 대한 일반적인 대책을 제시 한다. 마지막으로 결로하자 방지에 대한 국내의 연구동향 분석을 통해 기존 연구의 한계점을 알아본다.

### 2.1 결로의 정의

결로란 수증기를 함유하고 있는 공기(이하 습공기라 함)가 그 공기의 노점온도와 같거나 낮은 온도의 표면과 접촉할 때, 공기에 포함된 수증기가 응축하여 물방울이 맷히는 현상이다.<sup>2)</sup> 결로 현상은 공기의 온도가 높아질수록 포화수증기량이 증가하여 수증기를 많이 포함한 공기가 저온의 표면과 만나면 포함할 수 있게 된 수증기가 물방울이 되어 표면에 맷히게 되는 것이다. 이와 같은 현상을 결로현상이라 하고 이때 결로가 생기기 시작하는 온도를 노점온도라 한다. 그림2-1은 결로의 발생 현상을 보여주는 그래프이다.<sup>3)</sup>

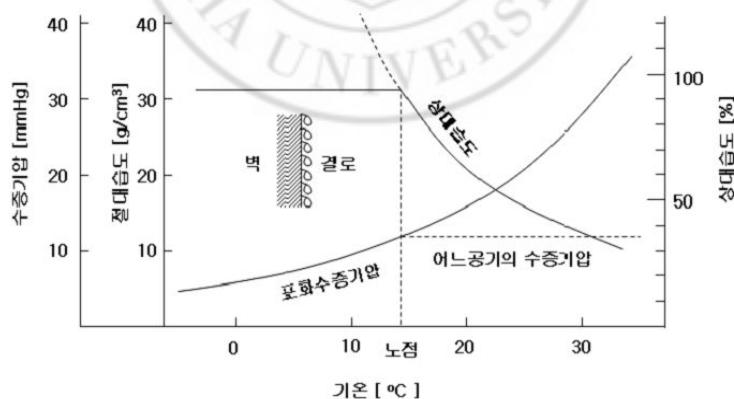


그림 2-1 결로현상 설명도<sup>4)</sup>

2) 이정민, 초고층 아파트의 결로와 환기에 관한 연구, 연세대학교 대학원, 2003년

3) 한호석, 이글루탄약고의 결로 감소를 위한 연구, 충남대 산업대학원, 2007년

4) 한호석, 이글루탄약고의 결로 감소를 위한 연구, 충남대 산업대학원, 2007년

위와 같은 결로현상은 고온다습한 여름철 공동주택의 지하주차장 바닥과 천정에 많이 발생하고, 또한 겨울철에는 표면온도가 낮은 외기에 면한 벌코니 벽면에서 많이 발생한다. 그림 2-2와 그림 2-3은 여름철에 발생하는 대표적인 결로 사례로 고온다습한 외부공기가 지하주차장으로 유입되어 바닥 및 천정에 결로가 발생한 것이다.



그림2-2 지하주차장 바닥에 발생한 결로



그림2-3 지하주차장 천정에 발생한 결로

아울러 그림2-4와 그림 2-5는 겨울철 공동주택 발코니에 발생한 대표적인 결로현상으로 찬 외기에 때문에 표면온도가 낮아진 발코니 벽면과 천정에 발생한 결로이다. 이 같은 결로현상은 단열 및 방습조치 없이 외부로 설계된 발코니를 거주자가 실내와 동일하거나 이와 유사한 조건으로 사용하기 때문에 발생하는 것이다.



그림2-4 발코니 천정 결로



그림2-5 발코니 벽체 결로

## 2.2 결로

### 2.2.1 결로 발생의 유형

결로는 공기중의 수분이 응축하는 현상이며, 그 원인을 물리적으로 단순히 설명하자면 공기중에 수분이 많은 실내에서 어떤 부위의 표면 또는 내부 온도가 공기의 노점온도에 비해 낮은 경우에 발생하는 것이라고 말할 수 있다. 그러나 결로는 건물 구조만이 아닌 외부환경, 난방방식, 거주양식 등 여러 가지 조건이 복합적으로 반영되어 나타나는 현상으로 원인을 실제 건축물에서 규명하는 것은 결코 단순한 작업이 아니다. 따라서 결로를 정확히 이해하기 위해서는 결로의 발생 원인별, 발생 시기별, 발생 부위별로 나누어 분류하는 것이 도움이 된다.<sup>5)</sup>

#### 1) 결로의 원인제공자에 따른 분류

공동주택은 계획단계부터 준공 후 사용단계에 이르기까지 설계자, 시공자, 거주자를 거치게 되며 이들은 각 단계에서 결로 발생의 원인제공자로서의 역할을하게 된다.<sup>6)</sup> 설계자에 의해 결정되는 건물 내부의 평면계획과 건물의 방향, 단면계획에의 단열재 결함 및 불연속부위 발생, 재료선정에서의 높은 함수율의 자재 선정, 설비계획에서의 난방 및 환기력 부족 등의 설계는 결로 발생의 위험성을 제공한다. 또한 벽체의 단열 및 방습 계획의 실수는 결로 발생의 위험성을 더 높아지게 한다. 또한 시공사의 건물 양생기간 부족과 단열 및 방습에 대한 시공정밀도의 부족은 결로발생의 위험성을 높인다. 특히 설계도서에 제시된 시방서를 실제로 얼마나 준수하여 시공하였는지에 따라 결로방지 성능을 결정하는데 큰 요인이 된다. 위의 내용과 같이 결로 발생은 설계자의 완벽하지 않은 설계도서와 시공사의 정밀하지 않은 시공에 의해 영향을 받는다. 그러나 한편으로는 그 건물을 사용하는 거주자의 잘못된 생활 패턴 또한 결로발생의 원인이라 할 수 있다. 일상 생활에서 발생한 수증기는 최근 맞벌이 부부의 증가로 실내의 환기 부족과 구조체의 밀실 시공으로 실내에 적체되어 상대습도를 상승시켜 노점온도보다 낮은 온도의 표면에 결로가 발생하게 한다. 표2-1은 위와 같이 결로의 원인제공자에 따라 발생할 수 있는 문제점을 정리한 것이다.

5) 이승언, 건축물에서의 결로 발생 유형과 대책

6) 유선용, 발코니 확장형 공동주택의 결로 방지를 위한 외피 설계, 연세대학교 공학대학원, 2007년

표2-1 결로의 원인제공자에 따른 분류

설계자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평면계획(실내온도차발생, 북측벽에 면한 벽장 등)</li> <li>• 단면계획(단열재부족, 단면내 파이프 등의 배치로 인한 단열 결함)</li> <li>• 재료선정(높은 함수율의 자재 사용 등)</li> <li>• 설비계획(난방 능력 부족, 환기성능 미비 등)</li> </ul>
시공자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시공양생(강우대책의불충분, 양생기간부족, 시공중의 결로 등)</li> <li>• 시공정밀도(단열 및 방습 시 정밀도의 부족)</li> </ul>
거주자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수증기과다발생(난방기기의선택,가습습관,환기습관,배습부족 등)</li> <li>• 온도분포(난방기기선택,기구및가구의배치,개구부의개폐관습 등)</li> <li>• 온도변동(간헐, 난방 등의 운전조건)</li> <li>• 거주자특성(유아가 있는 가정, 노약자가있는 가정은 환기를 꺼림)</li> </ul>

자료 : 건축물에서의 결로 발생 유형과 대책, 이승언

## 2) 결로의 발생 시기에 따른 분류

결로를 발생 시기에 따라 분류한다면 입주 후 바로 발생하는 초기 결로와 콘크리트의 완전 건조 후에 발생하는 일반 결로로 구분할 수 있다.<sup>7)</sup> 초기 결로는 구조체의 완전한 건조가 되지 않은 입주 후 1~2년 사이에 발생하는 결로이다. 위와 같은 초기결로의 발생원인은 공기단축과 겨울철 공사에서 구조체에 대한 충분한 건조없이 공사가 진행된 경우 추후 거주자의 난방으로 실내 온도가 높아져 구조체에서 방출되어지는 습기이다. 일반 결로는 실내측의 상대습도가 높아짐에 따라 외기에 면한 구조체나 유리에 결로가 발생하는 겨울형과 이와 반대로 외기측의 상대습도 상승으로 발생하는 여름형 결로가 있다. 특히, 여름형 결로는 장마철 공동주택의 지하실 및 지하주차장 벽, 천정, 바닥 등에서 많이 발생한다.

7) 유선용, 발코니 확장형 공동주택의 결로 방지를 위한 외피 설계, 연세대학교 공학대학원, 2007년

표2-2 결로의 발생 시기에 따른 분류

초기결로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 준공후 1~2년 사이에 발생</li> <li>• 건축자재로부터의 방습(목재, 콘크리트, 단열재 등)</li> <li>• 함수율증가에 따른 열저항 감소(단열재, 콘크리트 등)</li> </ul>
일반결로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 동계결로(실내가 높은 습도일 때 발생하는 결로)</li> <li>• 하계결로(외기가 높은 습도일 때 발생하는 비정상결로)</li> </ul>

자료 : 건축물에서의 결로 발생 유형과 대책, 이승언

### 3) 결로 발생 부위에 따른 분류

결로는 건물의 표면 온도가 접촉하고 있는 공기의 노점 온도보다 낮을 때에 그 구조체의 표면에 발생하는 표면결로와 구조체의 내부에서 발생하는 내부결로로 구분할 수 있다.<sup>8)</sup> 표면결로는 겨울철 발코니의 벽면이나 외부창이 유리면과 같이 낮은 표면온도를 가지고 있는 곳에 물방울이 맷이이는 현상이다. 위와 같은 표면결로가 발생한 벽에는 얼룩이 발생하여 변색되고, 곰팡이가 발생하며, 마감재의 탈락이나 목재부분의 부식 등의 피해를 입게 된다.

표면결로 판정식은 다음과 같다.

$$Q_{si} = t_i - (t_i - t_o) \times (R_{si} / R_t) \quad (식) 2-1$$

여기서,  $Q_{si}$  : 실내측 표면온도( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_i$  : 실내기온( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_o$  : 실외기온( $^{\circ}\text{C}$ )

$R_{si}$  : 실내측 표면 열전달저항 ( $\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ )

$R_t$  : 실내측, 실외측 표면전달저항을 포함한

벽체 총열관류 저항 ( $\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$ )<sup>9)</sup>

표 2-3은 온도와 습도에 따른 표면 결로의 발생 온·습도를 나타낸 것으로, 실내의 온도와 습도의 변화에 따라 결로가 발생할 수 있는 표면의 노점

8) 유선용, 발코니 확장형 공동주택의 결로 방지를 위한 외피 설계, 연세대학교 공학대학원, 2007년

9) 최정민 외2명 공동주택에 있어서 외벽 및 측벽의 결로방지에 관한 연구,

온도를 나타낸 것이다. 표에서 예를 들면 실내온·습도가 24°C와 60퍼센트 이라고 가정한다면 표면온도가 15.8°C 이하의 표면에는 결로가 발생 한다는 것을 나타내고 있는 것이다. 그러나 실내온도를 높여 구조체 및 마감재의 표면온도를 높이게 되면 상대습도의 증가로 공기중의 포화수증량이 증가하여 결로가 더 많이 발생할 수 있다. 표 2-3은 위와 같이 세대 내부에서 발생한 결로하자가 거주자의 습기 과다 방출로 인한 높은습도 때문인지, 시공사의 단열재 시공불량에 의한 단열재 결손 때문인지를 나누어 볼수 있는 지표가 된다.

표2-3 결로의 발생 온·습도표

온도 \ 습도	결로 발생 온도 (°C)													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
30	10.5	12.9	14.9	16.8	20.0	20.0	21.4	22.7	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	29.1
29	9.7	12.0	14.0	15.9	19.0	19.0	20.4	21.7	23.0	24.1	25.2	26.2	27.2	28.1
28	8.8	11.1	13.1	15.0	18.1	18.1	19.5	20.8	22.0	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1
27	8.0	10.2	12.2	14.1	17.2	17.2	18.6	19.9	21.1	22.2	23.3	24.3	25.2	26.1
26	7.1	9.4	11.4	13.2	16.3	16.3	17.6	18.9	20.1	21.2	22.3	23.3	24.2	25.1
25	6.2	8.5	10.5	12.2	15.3	15.3	16.7	18.0	19.1	20.3	21.3	22.3	23.2	24.1
24	5.4	7.6	9.6	11.3	14.4	14.4	15.8	17.0	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3	23.1
23	4.5	6.7	8.7	10.4	13.5	13.5	14.8	16.1	17.2	18.3	19.4	20.3	21.3	22.2
22	3.6	5.9	7.8	9.5	12.5	12.5	13.9	15.1	16.3	17.4	18.4	19.4	20.3	21.2
21	2.8	5.0	6.9	8.6	11.6	11.6	12.9	14.2	15.3	16.4	17.4	18.4	19.3	20.2
20	1.9	4.1	6.0	7.7	10.7	10.7	12.0	13.2	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3	19.2
19	1.0	3.2	5.1	6.8	9.8	9.8	11.1	12.3	13.4	14.5	15.5	16.4	17.3	18.2
18	0.2	2.3	4.2	5.9	8.8	8.8	10.1	11.3	12.5	13.5	14.5	15.4	16.3	17.2
17	-0.6	1.4	3.3	5.0	7.9	7.9	9.2	10.4	11.5	12.5	13.5	14.5	15.3	16.2
16	-1.4	0.5	2.4	4.1	7.0	7.0	8.2	9.4	10.5	11.6	12.6	13.5	14.4	15.2
15	-2.2	-0.3	1.5	3.2	6.1	6.1	7.3	8.5	9.6	10.6	11.6	12.5	13.4	14.2
14	-2.9	-1.0	0.6	2.3	5.1	5.1	6.4	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.4	13.2
13	-3.7	-1.9	-0.1	1.3	4.2	4.2	5.5	6.6	7.7	8.7	9.6	10.5	11.4	12.2
12	-4.5	-2.6	-1.0	0.4	3.2	3.2	4.5	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.4	11.2
11	-5.2	-3.4	-1.8	-0.4	2.3	2.3	3.5	4.7	5.8	6.7	7.7	8.6	9.4	10.2
10	-6.0	-4.2	-2.6	-1.2	1.4	1.4	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.2

자료 : 이윤규, 공동주택 외벽체의 결로 방지를 위한 실험적 연구, 연세대학교, 2001년

실내가 외부보다 절대습도가 높고 벽체가 투습력이 있으면 벽체 내에 수증기기압구배가 생기게 되고, 또한 겨울철에 외부온도가 실내온도보다 낮으면 벽체 내에 온도구배가 생긴다. 벽체 내에 수증기압구배의 노점온도가 온도구배의 건구온도보다 높게 되면 내부 결로가 발생한다. 이와 같이 벽체는 습기를 계속 흡수하여 구조체 내에서 수증기가 응결되는데 이것을 내부결로현상이라 한다.<sup>10)</sup> 내부 결로는 다음식을 사용하여 결로의 발생 유무를 판정할 수 있다.

$$fa \geq fs : \text{내부 결로 발생} \quad (\text{식) } 2-2$$

$$fa \leq fs : \text{내부 결로 발생하지 않음} \quad (\text{식) } 2-3$$

여기서,  $fa$  : 해당층의 실재 수증기압 (mmHg)

$fs$  : 해당층의 온도에 대응하는 포화수증기압(mmHg)

이때 실재 수증기압  $fa$ 는 다음 식을 사용하여 구한다.

$$fa = fi - (fi - fo) \times (R'a / R't) \quad (\text{식) } 2-4$$

여기서,  $fi$ ,  $fo$  : 벽체 양면의 습압 (mmHg)

$R'a$  :  $fi$  면에서 해당층 까지의 투습저항 합 ( $m^2\text{hmmHg/g}$ )

$R't$  : 전투습저항 ( $m^2\text{hmmHg/g}$ )<sup>11)</sup>

---

10) 이정민, 초고층 아파트의 결로와 환기에 관한 연구, 연세대학교 대학원, 2003년

11) 최정민 외2명 공동주택에 있어서 외벽 및 측벽의 결로방지에 관한 연구,  
대한건축학회 논문집 7권 2호, 1987년

그림 2-6은 내부 결로의 발생에 대해 나타낸 것이며, 결로된 부분의 온도가 0°C 이하로 되면 빙결하여 팽창하고 그 구조를 파괴할 수도 있는 것을 보여준다.

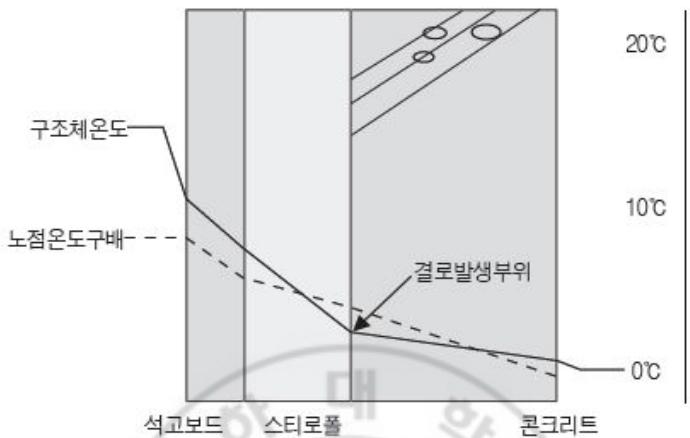


그림2-6 내부결로 현상 설명도<sup>12)</sup>

표2-4 결로 발생 부위에 따른 분류

표면결로 표면결로	<ul style="list-style-type: none"> <li>구조체의 단열부족에 의해 발생하며 주위온도가 표면의 노점온도 이하가 될 경우에 부위의 표면에 발생하는 결로           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 비 난방공간 창호의 주변, 외벽에 접한 가구의 배면, 불박이장의내부, 복측, 벽의 모서리하부 및 상부, 베란다내의 창고 등 단열이 되지 않은 공간의 외기애 면한 부위 등</li> </ul> </li> </ul>
내부결로	<ul style="list-style-type: none"> <li>방습처리가불가하여 구조체 내부온도가 낮은 부위에 수증기가 침투할 경우에 발생</li> </ul>

자료 : 건축물에서의 결로 발생 유형과 대책, 이승언

위의 표2-4는 결로 발생 부위에 따른 표면결로와 내부결로의 발생원인에 대하여 정리한 것이다.

12) 나태준, 단열 및 결로에 대한 세대 마감공사 개선안, 건축도시연구정보센터, 2005년

### 2.2.2 결로 발생에 따른 영향

결로 발생은 실제 건물구조, 용도 등에 따라 결로의 발생 유무, 발생량의 대소 등에 차이가 있으나 공동주택에서 결로 발생으로 벽체에 곰팡이가 발생하게 되어 마감재를 훼손시키거나, 바닥재, 내벽 그리고 가구의 부패 등의 피해를 초래하고 있다. 이러한 곰팡이의 발생은 단순히 마감재의 오염뿐만 아니라 냄새를 내는 포자가 실내로 퍼지기 때문에 거주자의 위생상 극히 좋지 않은 환경을 조성하게 된다. 또한 구조체 내부에서 발생할 경우 단열재의 습기 흡수으로 성능 저하 및 열화를 초래하는 등 여러 가지 피해를 유발하게 된다. 특히 이러한 곰팡이의 발생에 영향을 주고 있는 결로 발생 하자는 최근 거주자들의 건설사에 대한 불신과 소송까지 이루어지고 있으며, 건설사에서는 이러한 피해에 대한 피해보상 및 하자보수 비용 증가와 신의도 하락에 영향을 끼치고 있다. 이에 본 절에서는 결로하자 발생에 따른 영향을 곰팡이 발생에 끼치는 영향과 건축물에 대한 피해 및 거주자의 건강에 끼치는 영향에 대해 알아본다.

#### 1) 곰팡이 발생에 끼치는 영향

곰팡이는 생육조건에 필요한 온도, 습도, 영양, 산소 등의 기본 4대 조건이 적합한 곳이라면 어디라도 발생 하고 있다. 그러므로 곰팡이는 마감재의 유기질 성질의 영양소와 따뜻한 실내공기와 산소를 가지고 있는 공동주택의 세대내부에서 결로로 인해 발생한 습기는 곰팡이의 생육에 필요한 기본 4대 조건을 갖추게 하여 곰팡이 발생에 큰 영향을 준다. 결로로 인해 발생한 곰팡이는 위생상, 미관상 많은 문제를 야기시키며, 우리 일상생활에도 좋지 않은 영향을 끼친다.

위와 같이 공동주택에서 결로로 인해 발생한 습기는 공기 중에 포함되어 있는 곰팡이 포자가 정착하기 좋은 조건을 갖는 것이 일반적이다. 결로 부위에 발생한 습기를 기반으로 정착한 곰팡이는 생육에 필요한 조건이 충족되면 광범위하게 활동을 시작한다. 즉 건축물에 존재하고 있는 곰팡이의 포자는 습기가 발생하는 장소면 어디든지 정착하여 곰팡이를 발생시킨다. 예를 들면 방수 문제로 발생한 누수부위와 결로로 인해 발생한 물방울이 맺힌 부위, 특히 화장실 내부의 실리콘 및 메지 부분에 많이 발생한다. 아울러 실내의 벽면에 발생하는 곰팡이는 거주자들에게 금전적, 정신적, 건강에 악영향을 끼친다. 이와 같이 건축물에 발생된 곰팡이는 인간과 건축물에 심각한 피해를 유

발하고 있다. 아래의 그림 2-7와 2-8는 결로로 인해 발생한 곰팡이 피해사례이다.<sup>13)</sup>



그림2-7 다용도실 벽면 곰팡이 발생

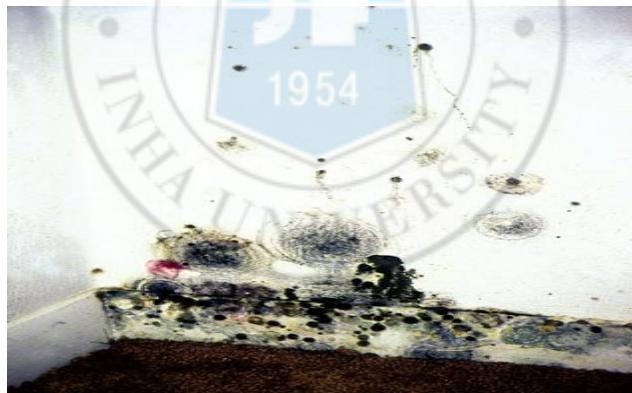


그림2-8 거실 걸레받이 상부 곰팡이 발생

## 2) 건축물에 대한 피해

결로가 발생하면 건축 재료의 합수량이 증가하여 여기서 발생한 물은 높은 열전도율에 기인하여 단열성능을 급격하게 저하시키는 등 재료의 성능 저하

13) 유선용, 발코니 확장형 공동주택의 결로 방지를 위한 외피 설계, 연세대학교 공학대학원, 2007년

를 초래한다. 아울러 공기중의 유해한 물질, 예로 염소나 이산화탄소의 용이한 침투에 기인하여 재료의 열화현상이 가속화되며, 또한 곰팡이 등을 통해 마감재의 얼룩과 비위생적 환경을 조성한다.<sup>14)</sup> 결로에 의한 대표적인 피해사례는 곰팡이 발생으로, 마감재의 오염과 박리, 거주자의 생필품 파손, 석고보드의 붕괴 등과 같은 실내 측에서 발생하는 피해와 구조체 내부 발생하는 내부 결로에 의한 구조체의 훼손 등이 있다. 이러한 결로하자는 건축물의 성능을 크게 저하시키게 된다.

일반적인 주택환경에서 결로가 발생하는 부위의 온도는 15°C 전후로서 이것은 미생물의 생육에 유리한 조건이다. 결로에 의한 피해 중 가장 위험한 것은 미생물의 발생으로 건물 구조체를 손상시키는 것이다. 합습율이 높은 부위에 부식세균이 번식하여 구조체의 유기재료를 손상시켜 건물 전체의 수명을 단축시키기도 한다.<sup>15)</sup> 위의 내용과 같이 결로는 건축물의 마감재 및 구조체 등에 전반적으로 좋지 않은 영향을 주어 수명을 단축시키고 있다. 그림 ▲9는 투과 수증기압과 포화 수증기압을 통하여 내부 결로 현상을 설명한 것이다.

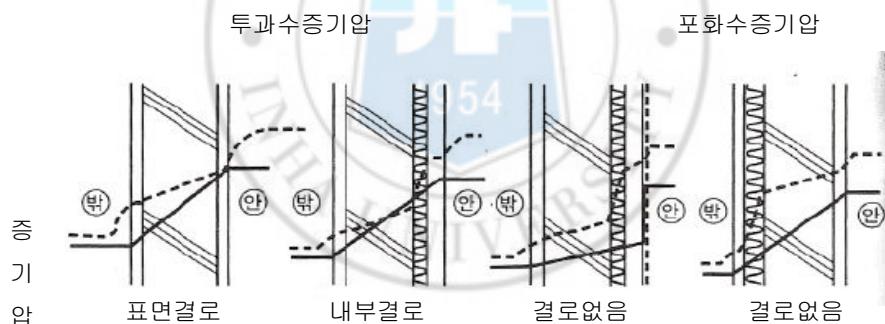


그림2-9 벽체의 결로현상 설명도<sup>16)</sup>

벽체 결로현상 설명도의 점선은 투과 수증기압으로서 안에서 밖으로 이동 할수록 벽체 구성 성분에 따라 아래로 내려간다. 이를 실온의 변화라 보아도 되며, 아울러 벽체의 각 부분에서 가질 수 있는(각 부분이 온도가 허용하는) 수증기의 양도 점점 적어진다. 실선은 포화수증기압으로서 실제로 공기중에

14) 유선용, 발코니 확장형 공동주택의 결로 방지를 위한 외피 설계, 연세대학교 공학대학원, 2007년

15) 이승언, 건축물에서의 결로발생 유형과 대책, 한국건설기술연구원, 2007년

16) 도서출판 건설도시, 지붕과 벽의 구법 시스템

포함되어 있는 수증기양, 단열층의 존재 여부에 관계없이 일정 비례로 안에서 바깥쪽으로 감소한다. 하지만 방습층을 만나면 포화수증기량은 급격하게 떨어진다.<sup>17)</sup>

위에서 다룬 포화수증기압(Saturated vapour pressure)은 어떤 공기가 주어진 온도에서 액체가 증발하는 분자의 수와 응축하는 분자의 수가 같아지는 상태로 공기가 포함할 수 있는 최대한의 수증기압을 말한다. 즉 어떤 온도 상태 하에서 공기가 더 이상의 수증기를 함유할 수 없어 기체 상태에서 액체 상태로 변화하기 직전까지의 수증기압을 말한다. 포화수증기압은 온도에 따라 고정된 값을 갖으며 온도가 상승할 때 포화수증기압은 증가하고 온도가 하강할 때 포화수증기압은 감소한다. 표 2-5는 온도에 대한 포화수증기압을 나타낸 값이다.<sup>18)</sup>

표2-5 수증기의 포화수증기압

온도(°C)	포화수증기압 (mmHg)	온도(°C)	포화수증기압 (mmHg)	온도(°C)	포화수증기압 (mmHg)
0	4.58	10	9.21	20	17.66
1	4.93	11	9.85	21	23.77
2	5.29	12	10.52	22	31.85
3	5.68	13	11.23	23	55.38
4	6.10	14	11.99	24	92.63
5	6.54	15	12.79	25	149.59
6	7.01	16	13.64	26	234.00
7	7.51	17	14.53	27	355.62
8	8.04	18	15.48	28	526.39
9	8.61	19	46.48	29	733.95

자료 : 박창섭 외, 건축환경계획, 보성각, 2001, pp. 92

17) 도서출판 건설도시, 지붕과 벽의 구법 시스템

18) 이홍식, 공동주택에 있어서의 발코니 단열 및 결로에 대한 현장사례 연구  
연세대학교 공학대학원, 2006년

그림2-10과 그림2-11은 앞에서 다루어진 결로로 인하여 발생한 건축물의 피해 사례이다.



그림2-10 발코니 결로 발생으로 인한 도장탈락



그림2-11 발코니 결로 발생으로 인한 곰팡이 발생

### 3) 거주자의 건강에 대한 영향

일반 주거 환경 하에서 발생하는 곰팡이의 종류는 약300종에 달한다고 한다. 이중에서 건축물과 인간에게 가장 해를 끼치는 곰팡이는 “검은 곰팡이”로 곰팡이의 포자가 공기 중에 떠다니기 쉽고, 가장 중요한 번식 조건인 습도가 우리의 생활문화 속에 항상 존재하기 때문에 빠른 속도로 번식한다.<sup>19)</sup>

19) 유선용, 발코니 확장형 공동주택의 결로 방지를 위한 외피 설계, 연세대학교 공학대학원, 2007년

이러한 곰팡이는 앞에서 다루어진 내용과 같이 건축물에만 심각한 피해를 주는 것은 아니다. 결로로 인해 발생한 곰팡이는 실내 공기를 오염시켜 호흡을 통해 인체에 침입하여 각종 염증 및 알레리기성 피부 질환을 유발하는 등 건강에 악영향을 끼치고 있다.

이러한 곰팡이가 증식되는 온·습도 환경은 진드기 증식에도 적당한 환경이며 곰팡이를 먹이로 하는 진드기도 생식되기 때문에 곰팡이와 진드기는 비슷한 환경에 공존한다고 한다. 예를 들어 에어컨 내부, 특히 웜 부분에는 냉방 시 결로가 생기면 공기의 순환으로 인해 실내에 곰팡이가 확산된다. 에어컨은 또한 필터에 퇴적된 먼지에 곰팡이가 증식되어 공기 순환에 따라 실내 공기를 오염시키고 있다. 우리 주변에서 이렇게 에어컨에 증식된 곰팡이로 인해 알레르기 질환을 호소하는 경우가 빈번한 점을 볼 때 곰팡이가 알레르기성 질환의 원인임을 간접적으로 알 수 있다.<sup>20)</sup>



---

20) 유선용, 밸코니 확장형 공동주택의 결로 방지를 위한 외피 설계, 연세대학교 공학대학원, 2007년

### 2.2.3 결로 발생의 원인

결로는 공기의 노점온도가 이와 접하는 온도보다 높을 때 발생한다. 노점온도란 불포화상태(해당 공기 온도에서 함유할 수 있는 최대 수증기량보다 적게 수증기를 함유한 상태, 즉 상대습도가 100퍼센트 미만)의 공기를 냉각시켜 포화상태(최대 수증기량을 함유한 상태, 즉 상대습도 100퍼센트)로 될 때의 온도를 의미한다. 공기가 함유할 수 있는 최대 수증기량은 온도가 낮아질수록 줄어들게 되므로, 공기 중의 수증기 절대량에 변화가 없어도 온도가 낮아지면 포화상태에 도달하게 되고 그 이상 온도가 낮아지면 결로가 발생하게 되는 것이다. 노점온도는 공기 중의 수증기 함유량, 즉 절대습도 혹은 수증기압에 의해 결정되며, 수증기 함유량이 많을수록 노점온도가 높아져 결로가 발생할 가능성이 높아진다.<sup>21)</sup>

표2-6 습도의 주요 표시 방법

용 어	단 어	정 의
절대습도 (Absolute Humidity)	$\text{kg/kg}$ (Dry Air)	습공기 중 건조공기(Dry Air) 1kg에 대한 수증기의 질량비
수증기압 (Vapor Pressure)	$\text{kPa}, \text{mmHg}$	습공기 중의 수증기압력
상대습도 (Relative Humidity)	%	현재의 수증기압( $P$ )와 동일 온도의 포화수증기압( $P_s$ )간 백분율 = $(p/P_s) \times 100$
노점온도 (DewPoint Temperature)	°C	불포화 습공기를 냉각시켜 포화상태로 될 때의 온도

자료 : 김광우, 송승영, 공동주택에서의 결로발생 및 대책

표2-7 결로 발생 조건

구 분	결로 발생 여부
$T_d(\text{노점온도}) < T_s(\text{구조체온도})$	결로 발생 안함
$T_d(\text{노점온도}) > T_s(\text{구조체온도})$	결로 발생 함

자료 : 김광우, 송승영, 공동주택에서의 결로 발생 및 대책

21) 김광우, 송승영, 공동주택에서의 결로 발생 및 대책

위와 같이 결로는 습기의 증가, 표면의 낮은 온도 등의 복합적 원인으로 발생한다. 이렇게 결로가 발생하는 원인은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 실내 습기의 과다발생
- 2) 실내외 온도차
- 3) 건물이 사용패턴 변화에 의한 환기부족
- 4) 구조체의 열적특성
- 5) 시공직후 구조체 미 건조 상태
- 6) 단열재 시공불량

#### 1) 실내 습기의 과다발생

일반적으로 실내 공기 중 수증기의 발생 요인은 사람, 음식물 조리, 청소 및 사람의 작업 상태에 따라 발생량이 다르다. 표 2-8, 표2-9, 표2-10는 이러한 습기 발생요인과 발생량을 나타내는 것이다.

표2-8 실내의 습기 발생요인과 발생량

습기 발생요인	요리와 접시닦기	운동	집안청소	샤워	식물성장
습기량	2.7kg/day	2.3kg/인·day	0.15kg/m <sup>2</sup> ·회	0.23kg/회	0.9kg/m <sup>2</sup> ·day

자료 : H. David Egan. Concepts in thermal comfort, 1975

표2-9 작업상태별 인체의 수분 발생량(g/h)

작업상태	수분발생량(g/h)	실내온도						
		5	10	15	20	25	30	35
취침	-	-	45	55	67	81	-	
정좌	28	28	28	34	57	94	132	
경동작(輕動作)	41	45	73	109	162	206	250	
중동작(中東作)	18	66	107	158	252	266	311	
중동작(重動作)	96	141	190	270	324	363	385	

자료 : 박창섭 외, 건축 환경계획, 보성각, 2001, p.95

표2-10 조리에 의한 수분 발생량(g/h)

구 분	시 간	아침식사	점심식사	저녁식사
요리음식물(g/h)		461	342	608
연료(가스)(g/h)		341	295	338
합계(g/h)		802	637	946

자료 : 박창섭 외, 건축환경계획, 보성각, 2001, p.95

최근 공동주택 시설의 개선과 거주자의 생활습관이 변함에 따라 샤워, 세탁, 조리 등의 수증기를 많이 발생시키는 활동의 빈도수가 증가하고 있다. 샤워의 경우 과거에는 평형이 큰 아파트를 제외하고는 욕실 수가 2개가 이상이 되지 않았다. 그러나 최근에는 작은 평형의 아파트에도 욕실 수가 늘어남에 따라 면적에 비하여 수증기의 발생량이 증가하고 있다.

또한, 세탁물의 경우 과거에는 태양에 의해 외기에서 건조를 시켰으나 최근에는 세탁물을 실내에서 건조시키며 심지어는 빨래 자동건조기의 등장으로 실내의 수증기 발생량이 증가되어 결로의 발생율이 매우 높아졌다. 일반 가정에서 호흡과 조리 및 세탁 등의 활동으로 인하여 하루 평균 약 12kg의 수증기가 발생한다.<sup>22)</sup>

## 2) 실내외 온도차

건물의 실내외의 온도차이는 여름철 보다는 난방을 하는 겨울철에 더 큰 온도차이를 보인다. 또한 더운 공기가 찬 공기보다는 더 많은 수증기량을 포함하고 있으나 그 자체로만은 결로가 발생되지 않는다. 하지만 더운 공기 중에 포함되어 있는 과다한 수증기가 냉각되거나 표면온도가 낮은 면에 달라붙어 냉각되어 결로가 발생한다. 예를 들어 수증기가 많이 발생하는 주방에서는 결로가 발생하지 않으나 낮은 표면온도를 가지고 있는 창문이나 냉수 배관 표면에 습기가 닿으면 물방울이 맷이는 결로가 발생한다. 그림2-12과 2-13은 온도차이로 창문 유리면과 냉수 배관면에 결로가 발생한 것이다.

22) 이홍식, 공동주택에 있어서의 발코니 단열 및 결로에 대한 현장사례 연구, 연세대학교 공학대학원  
2006년



그림2-12 유리면에 발생한 결로



그림2-13 냉수배관 표면에 발생한 결로

### 3) 건물의 사용패턴 변화에 의한 환기부족

주거 생활의 고급화에 의해 열환경의 쾌적과 공기의 청정을 요구함에 따라 낮은 속도의 기류를 필요하여 건물의 기밀성이 높아졌다. 또한 에너지 절약 차원에서 단열이 강화되고 환기에 의한 손실을 줄이기 위해 건물의 층고도 낮아지고 창문이 밀폐식으로 변하게 되어 환기부족으로 결로의 발생이 증가되고 있다.<sup>23)</sup>

---

23) 이홍식, 공동주택에 있어서의 발코니 단열 및 결로에 대한 현장사례 연구

위와 같은 건축물의 변화에 따라 공기의 순환량이 낮아지고 있으며, 또한 거주자 수가 대가족에서 소가족으로의 변화와 맞벌이 부부의 증가로 건물의 사용 주기가 저녁과 밤에만 이루어지는 패턴으로 바뀌고 있다. 이러한 생활 패턴으로 조리나 세탁을 짧은 시간 내에 하고, 창문이 닫힌 상태에서 생활을 하므로 실내의 환기가 거의 이루어지지 못하고 있다. 특히 주간에는 방범상의 문제로 창문을 닫아 놓기 때문에 맞벌이 부부와 같은 경우에는 평일에 환기를 못한다고 할 수 있다. 이와 같은 생활 습관과 건물의 사용패턴 변화로 인해 발생한 환기부족은 결로의 발생율을 높아지게 한다.

#### 4) 구조체의 열적특성

구조체에 의해 발생하는 결로의 원인은 구조체의 열용량과 열교현상으로 구분 할 수 있다.

##### ① 열용량

열용량이란 물질이 보유할 수 있는 열의 양을 말한다. 열용량은  $\text{kJ/kgK}$ 로 표시되며 1kg의 물질이  $1^{\circ}\text{K}$ 의 온도변화를 일으키는데 필요한 에너지량을 뜻한다. 열용량이 큰 벽돌 벽이나 콘크리트 바닥과 같은 중량 구조체는 경량 구조체 보다 난방에 대한 반응이 늦기 때문에 난방 하는 도중에 잠시동안 결로가 발생할 수 있다. 따라서 중량 구조체의 실내측에 단열재를 위치함으로써 표면온도의 상승을 보다 빠르게 할 수 있다.<sup>24)</sup>

##### ② 열교현상

열교현상이란 설계 오류로 인한 단열 시공 장애, 시공상의 오류 등으로 단열재가 불연속 되거나 연결 철물 등에 의한 단열재 관통으로 건축물 내외부의 열적(thermal) 연결경로(bridge)가 생기는 것을 말한다. 동절기의 경우 열손실이 증가하여 실외측에 비해 내측 표면 온도가 낮아짐으로써 외기에 면한 벽체 주변부의 실내 공기가 노점 온도보다 낮아져 이를 맷 힘 현상이 발생 한다.<sup>25)</sup> 아래 그림2-14는 콘크리트조의 외기에 면

24) 이홍식, 공동주택에 있어서의 발코니 단열 및 결로에 대한 현장사례 연구, 연세대학교 2006년

25) 송승영, 공동주택 외피접합부 열교부위의 최적 단열상세 결정 방법에 관한연구, 서울대학교 1998년

한 칸막이벽으로 대표적인 하자 유형을 분석한 것이다. 아래 그림 2-14 와 같이 단열재의 연속 시공이 불가능한 경우 외벽체와 내부 칸막이벽의 콘크리트가 직접 연결 되므로 열전달이 심하여 동절기 열교현상이 심하게 발생한다.

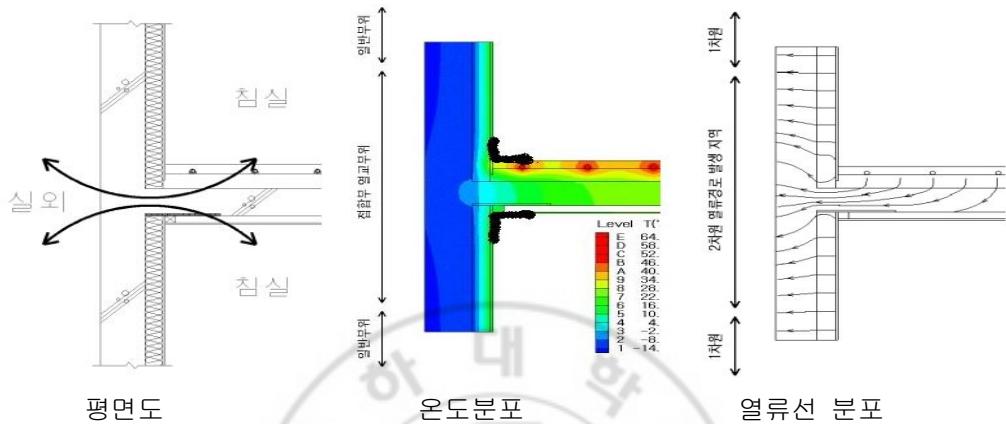


그림 2-14 평면 접합부 열교부위 전열특성<sup>26)</sup>

##### 5) 시공직후 구조체의 미건조 상태

시공직후 콘크리트는 자체 합습률이 매우 높다. 이것은 공기 단축으로 콘크리트 구조체의 충분한 건조 없이 공사를 진행하였기 때문이다. 일반적으로 입주 후 겨울에는 난방으로 인해 콘크리트의 실내방습이 가속화되어 실내의 습기량을 높이며, 또한 구조체의 밀실시공과 창호의 밀폐력 증가, 거주자의 건축물 사용주기 변화로 발생하는 환기 부족은 습기가 빠져나가지 못하고 적체되게 한다. 이렇게 실내에 머무르고 있는 과다한 습기는 표면온가 낮은 벽면 및 유리창에 물방울이 맷이는 결로현상으로 이어진다.

타설 후 콘크리트의 수분량은 콘크리트구체의 10%전후인데, 40년이 경과한 콘크리트의 수분량은 3%이하였다는 연구결과가 있다. 이는 실내 환경측면에서는 방대한 양이며, 장기에 걸친 습기의 방출이 일어나고 있다고 할 수 있는 결과이다.

위의 방습량을 실제 주택에서의 현상과 비교하기 위하여 바닥과 벽의 두께 200mm의 콘크리트조로 이루어진 5m×4m×2.4m 방이 있다고 가정하고 계산

26) 송승영, 공동주택 외피접합부 열교부위의 최적 단열상세 결정 방법에 관한연구, 서울대학교 1998년

하면 실체적은 식2-5에 의해  $48m^2$  이며

$$5m \times 4m \times 2.4m = 48m^3 \quad (\text{식) } 2-5$$

콘크리트 체적은 식2-6에 의해  $16.64m^3$  된다.

$$5m \times 4m \times 2.4m \times 2.884 = 16.64m^3 \quad (\text{식) } 2-6$$

콘크리트에서 방출되는 방습량이  $10g/m^2\text{day}$ 라고 가정하면

총방습량은 식2-7에 의해  $166.4/m^2\text{day}$ 가 된다.

$$16.64m^3 \times 10g/m^2\text{day} = 166.4/m^2\text{day} \quad (\text{식) } 2-7$$

이중 절반만 실내측으로 방출된다고 가정하면  $83.2g/m^2\text{day}$ 가 방출된다고 볼 수 있다. 실체적이  $48m^2$ 이고,  $20^\circ\text{C}$  공기는  $1.1682\text{kg}/m^3$ 이므로

하루동안 방출된 습기량은 식2-8에 의해  $1.48g/kg$  (건공기)가 된다.

$$83.2g/48m^2 = 83.2g/(48 \times 1.1682)\text{kg} = 1.48g/kg \quad (\text{식) } 2-8$$

일반적으로 공동주택의 실내 조건은  $20^\circ\text{C}$ , 상대습도는 50% 정도로 볼 때, 실내공기에 있는 습기양은  $7.262g/kg$ (건조공기)이고, 여기서 콘크리트에서 방출된 습기가 추가된 셈이므로 총 습기발생량은 식 2-9에 의해  $8.75g/kg$ 이다.

$$1.48g/kg + 7.262g/kg = 8.75g/kg \quad (\text{식) } 2-9$$

이를 역산하면 실내공기는  $20^\circ\text{C}$ , 상대습도 60%가 된다. 콘크리트에서 방출된 습기가 상대습도를 10% 상승시킨 결과인 것이다. 상대습도 10%의 증가로 인하여 결로가 발생하는 노점온도가  $9.27^\circ\text{C}$ 에서  $12^\circ\text{C}$ 로 높아지게 되어 결로 발생의 위험이 증가하는 것을 알 수 있다.<sup>27)</sup>

## 6) 단열재 시공불량

국내 주거건물은 주로 콘크리트벽을 내력벽으로 하는 벽식구조로서 시공되고 있으며, 구조체 구성은 철근콘크리트 조적조 혹은 철근콘크리트조로 되어 있는 경우가 많다. 기존의 건물에서 외피 또는 접합부에 따라 열교부위의 발생여부가 나타나게 되는데 이는 단열재의 구조형태에 따라 열손실의 많고 적

27) 이홍식, 공동주택에 있어서의 발코니 단열 및 결로에 대한 현장사례 연구, 연세대학교 2006년

음이 판가름 된다. 따라서 각 부위의 단열설계는 주로 단열관련 법규에서 정하고 있는 기준에 의해 이루어지고 있음에도 불구하고 단열재가 시공되어지는 세대 내부에 결로가 많이 발생한다. 이러한 세대 내부 결로는 마감재 및 가구 등에 발생하여 거주자에게 피해를 주고 있으며, 건설사에는 하자보수 및 피해보상 비용 상승과 건설사 이미지 실추 등의 막대한 피해를 주고 있는 실정이다. 단열재 불량시공으로 발생하는 결로는 앞 절에서 언급한 결로 발생의 원인제공자의 분류에 따르면 거주자가 결로의 원인을 제공하는 것이 아니기 때문에 건설사에서 100% 책임을 지어야 하는 입장이므로 건설사는 큰 피해를 보고 있는 실정이다. 또한 세대 내부 결로하자 보수를 위해서는 마감재를 제거하고 다른 내장재료 까지 같이 설치하여야 하므로 거주자의 생활에도 큰 피해를 주고 있다. 아울러 이러한 결로하자는 건설사와 거주자 모두에게 정신적, 금전적 등으로 피해를 주고 있다. 이렇게 거주자와 건설사에게 큰 피해를 주고 있는 세대 내부 결로하자의 발생 원인에 대해서 분석하고 해결책을 제시함으로써 거주자의 쾌적한 주거환경과 함께 건설사의 하자보수 비용 절감과 나아가 인지도 상승을 도모하고자 한다.



#### 2.2.4 결로 발생에 대한 일반적 방지 대책

결로발생의 원인은 앞에서 살펴본 것과 같이 실내 습기의 과다발생, 실내의 온도차, 건물이 사용되는 패턴변화에 의한 환기부족, 구조체의 열적특성, 시공직후 구조체 미건조 상태, 단열재 시공불량이 있다. 이와 같은 원인으로 발생한 결로를 방지하기 위한 일반적인 대책은 여러 가지가 있다. 첫째 창문을 열어두어 환기를 시켜 습기를 제거하여 결로발생율을 낮추는 방법이 있다. 하지만 최근 핵가족화로 건물 사용 시간이 저녁에 주로 이루어져 낮 동안은 환기를 시킬수 없으므로 적절한 환기를 위해 외부창에 환기창을 두어 창문을 열지 않아도 환기가 되도록 하는 것도 대책이 될 수 있다. 두번째로 난방에 의한 결로방지는 구조체 및 마감재의 표면 온도를 높여 표면 노점온도를 높임으로써 결로를 방지하는 방법이다. 하지만 표면 온도를 높이기 위해 실내 온도를 높이면 공기중의 상대습도가 증가해 결로가 발생할 수 있으므로 주기적인 환기가 필요하고, 또한 난방은 장시간동안 실시하여 구조체의 온도를 천천히 올려야 결로 예방에 좋다. 마지막 방법은 단열재 설치 방법으로 실외로 설계된 발코니에 대한 결로방지 대책이다. 단열재가 설치되지 않은 발코니의 벽과 천정에 단열재를 설치하여 실내외와 열차단을 하고, 실내 공기와 마감재 표면온도를 빠르게 상승시키므로 결로 발생을 줄일 수 있다. 위와 같은 결로 발생에 대한 일반적 방지대책을 환기, 난방, 단열의 방법으로 나누어 표2-11과 같이 정리하였다.

표2-11 일반적 결로방지 대책

결로방지 방법	내 용
환기에 의한 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>환기는 결로를 발생시킬 가능성이 있는 습한 공기를 제거 한다.</li> <li>환기는 수증기의 발생원 부근에서 하는 것이 가장 효과적이다.</li> <li>환기창을 설치하여 창문을 열지 않아도 환기가 되도록 한다.</li> <li>환기 시 유출된 습한 공기가 다른 방으로 유입되지 않도록 한다.</li> <li>각 실의 환기창은 기밀성이 우수하고 에너지의 손실을 최대로 억제 할 수 있는 구조로 되어야 한다.</li> </ul>
난방에 의한 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>난방을 통해 실내 표면온도 상승으로 실내의 공기가 노점온도 보다 높게 유지된다.</li> <li>난방을 통해 더위진 공기에는 더욱 많은 수증기를 포함하므로 환기를 주기적으로 해주는 것이 좋다.</li> <li>난방은 높은 온도로 단시간 난방 하는 것보다는 낮은 온도로 장시간 난방 하는 것이 결로 방지에 유리하다.</li> </ul>
단열에 의한 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>단열은 벽체에 흐르는 열손실을 줄여주며, 실내 표면온도를 일정한 수준으로 유지시켜 준다.</li> <li>단열재를 내부표면측에 설치 할 경우 실내공기온도 및 벽체 표면온도를 빠르게 상승시키므로 결로 발생을 줄일 수 있다.</li> <li>단열재를 내부표면측에 설치 할 경우에는 내부 결로 발생 가능성이 있으므로 벽체내부에 방승총을 설치해야 한다.</li> </ul>

또한 결로중 구조체에 발생하는 결로는 표면결로와 내부결로로 나눌수 있다. 표면결로는 구조체의 표면온도가 노점온도보다 낮을 때 발생하는 것으로 벽체의 접합부 및 단열재 시공이 연속적으로 이루어지지 않는 열교부위에서 많이 일어난다. 표면결로의 방지대책은 기본적으로 모서리 부분의 단열재 정밀시공과 열교부위 발생의 최소화, 외기에 면한 내부벽 모서리의 공기를 순환시키는 것이 있다. 아울러 표면결로방지에 대한 대책이 이루어지지 않으면 곰팡이 발생으로 인한 피해를 끼치고, 또한 결로수가 벽체에 흡수되어 내부

결로를 발생시키는 원인이 되기도 한다. 벽체내의 온도와 수증기압 분포에 의해 발생여부가 결정되는 내부결로는 심하면 구조체의 내부에서 응결이되어 구조체의 파괴를 가져올수도 있다. 이러한 내부결로 방지를 위해서는 외측단열 공법으로 외부에서 구조체로 흡수되는 습기를 차단하고, 내부에서는 벽체의 표면온도를 노점온도 이상으로 유지하여 구조체의 표면에 결로가 발생하지 못하게 해야한다.

표2-12 구조체 결로방지 대책

결로발생 부위	결로방지 대책
표면결로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실내공기의 절대습도를 낮춘다. (수증기 발생 억제, 제습기 사용, 환기)</li> <li>• 단열재를 사용하여 벽체의 열관류 저항을 크게하여 벽면온도의 저하를 방지한다.</li> <li>• 구조적으로 발생한 냉교부위에 냉교현상이 일어나지 않도록 주의 한다.</li> <li>• 외부에 면한 구조체의 내부 표면 주변에 공기가 정체되지 않고 계속 순환될 수 있도록 한다.</li> </ul>
내부결로	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 각 재료층의 열저항값이 외부에 면한 방향으로 점차 커지게 구성한다.</li> <li>• 각 재료층의 투습저항값이 외부에 면한 방향으로 점차 작아지게 구성한다.</li> <li>• 구조체의 재료구성이 효과적으로 배열되지 못한 경우에는 방습층을 내부쪽에 설치한다.</li> <li>• 단열재의 위치를 방습층보다 내부쪽에 두지 않도록 한다.</li> <li>• 외부 표면은 방수 처리를 하더라도 내부의 수증기가 밖으로 배출될 수 있도록 한다.</li> </ul>

## 2.3 국내의 연구 동향 분석

본 절에서는 기존 국내의 연구 동향 내용 분석을 통하여 본 연구의 필요성을 돌출하기 위해 기존 연구의 한계점을 제시한다. 결로방지에 대한 연구동향 분석은 다음에 제시되어지는 세가지 논문에 대하여 실시하였다.

첫 번째, 논문명 건축물은 외벽 모서리 부위의 결로방지 공법에 관한연구로써 공동주택의 외벽 모서리 부위에 발생하는 결로만을 연구 범위로 정하여 결로방지 공법을 시공적 조건과 물리적 조건을 동시에 충족하는 방법을 제시하였다. 기존 열교부위 결로방지의 단열재의 투습성과 함습성, 구조체의 리쎄스에 의한 내구성 저하 등의 문제점을 돌출 하였고, 노점온도 이상을 유지할 수 있는 단열재의 두께와 열전도율을 산출하여 내장 공사에 영향을 주지 않는 계단형, 쇄기형의 단열재를 제작 하였다. 결로 방지 성능을 검증하기 위해 인공 기후실에 제작되어 있는 모델하우스에서 직접 실험을 실시 하였다. 그러나 제시되어진 변형된 형태의 단열재는 지역별 단열재 뚜께변화에 대한 방안과 단열재 성형에 대한 경제성을 고려하지 않은 한계점을 나타냈다.

두 번째, 논문은 공동주택에 있어서 외벽 및 측벽의 결로방지에 관한연구로 과천지역 5층의 공동주택을 선정하여 거주자 설문 조사를 통해 결로발생 현황을 파악해서 위치별, 난방공간, 비난방공간, 부위별로 나누어 결로하자 발생 실태을 분석하였다. 결로발생 요인 분석을 단열부위와 비단열 부위로 나누어 검토하여 단열부위는 외벽에 흡수성이 없은 단열재를 비단열부위에는 표면결로 방지를 위한 부가 단열재 사용을 제안하였다. 외벽에 사용되는 단열재는 시공방법이 제시되지 않고, 발코니에 설치되는 단열재는 재료의 성질과 시공법이 제시되지 않는 문제점을 발견했다.

세 번째, 논문명 국내 조립식 아파트의 결로방지대책 및 실태조사에 관한 연구는 서울과 수도권의 5개 회사의 13개 공동주택과 판넬생산공장을 방문하여 결로방지대책 실태조사를 하였다. 이것을 종합하여 각부위별 설계개선, 결로방지용 특수재료 사용과 습기배출을 통한 결로방지 대책을 제안하였다. 또한 각 부위별 표면온도 실측을 통해 결로방지를 위한 적절한 온·습도를 제안 하였으며, 결로방지성능향상을 위한 세부평가항목을 제안하였다. 그러나 시공 시 발생하는 현장 여건은 반영하지 않은 결로방지대책을 제시하였으며, 또한 결로방지성능향상 세부평가 항목에 시공기준평가에 대한 세부사항이 제시되지 않은 한계점을 나타냈다. 표2-13은 위에서 분석된 논문을 간략하게

정리한 것이며, 세가지 연구에서 보이는 공통적인 한계점은 세대내부 단열재 시공 불량으로 발생할 수 있는 결로 방지대책은 다루어지지 않은 것을 알 수 있다. 이는 본연구가 더욱 필요한 이유가 되겠다.

표2-13 공동주택 결로 방지에 대한 연구동향 분석

논문명	연구내용	연구의 한계점
건축물 외벽 모서리 부위의 결로방지 공법에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 결로방지 공법을 시공적, 물자적 요구 조건으로 나누어 연구</li> <li>• 건물의 외벽 모서리 결로방지 대책연구</li> <li>• 기존 열교부 결로방지의 문제점(단열재료의 투습성과 향습성, 구조체 리ஸ에 의한 내구성 저하)을 도출</li> <li>• 단열재 형태를 변화시킴 (계단형, 쪄기형 단열재)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건물의 모서리의 열교부위 한 부분에 대해서만 연구됨.</li> <li>• 단열재 형태(계단형, 쪄기형)변화에 따른 실내 마감을 고려하지 않음</li> <li>• 지역별 단열재 두께변화에 대한 방안이 모색되지 않음</li> <li>• 단열재 성형에 대한 경제성을 고려하지 않음</li> </ul>
공동주택에 있어서 외벽 및 椽벽의 결로 방지에 관한 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설문조사를 통해 결로 실태 조사</li> <li>• 조사내용을 토대로 결로발생요인을 단열 부위와 비 단열 부위로 나누어 분석</li> <li>• 분석을 통해 외벽에는 흡수성이 없는 단열재 사용을 제안</li> <li>• 비단열부위에는 표면 결로를 방지하기 위해 부가 단열재 사용을 제안</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부위별 정확한 결로방지 대책 수립이 미흡</li> <li>• 외벽에 시공되는 단열재의 재료의 성질에 대해서만 제시가 되고 정확한 시공방법이 제안 되지 않음</li> <li>• 비단열부위는 부가적인 단열재의 성질과 시공방법이 제안 되지 않음</li> </ul>
국내 조립식 아파트의 결로방지대책 및 실태조사에 관한연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 실태조사를 통하여 부위별 결로방지 대책 제안</li> <li>• 결로방지용 특수재료에 의한 결로방지 대책 제안</li> <li>• 습기 배출을 통한 결로방지 대책 제안</li> <li>• 결로발생 각부위별 표면온도 실측과 분석을 통해 결로방지를 위한 적절한 온도와 습도 제안</li> <li>• 결로방지성능 향상을 위한 세부평가항목 제안</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 결로방지 대책을 설계도서 수정안과 특수재료 사용, 습기 배출과 적절한 온도와 습기 유지를 제안, 시공 시 발생 할수 있는 현장 여건은 반영되지 않음</li> <li>• 결로방지성능 향상을 위한 세부평가항목중 시공 기준평가에 대한 세부적 기준이 없음</li> </ul>

## 제3장 공동주택 세대 내부 단열재 시공불량으로 인한 결로하자 유형조사 및 분석

### 3.1 세대 내부 단열재 시공 불량으로 인한 결로하자 유형 및 원인 분석

본 장에서는 공동주택 세대 내부 단열재의 역할과 시공기준에 대하여 먼저 알아보고 이것을 토대로 조사대상 공동주택의 단열재 설계가 기준에 맞게 설계 되고 시공되었는지 확인한다. 아울러 조사대상의 공동주택 세대 내부 단열재 시공불량으로 발생하는 결로 하자유형을 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자, 세대 내부 최상층 천정 결로하자, 세대 내부 환기덕트와 파이프덕트 조작벽에 면한 벽면 결로하자 세 가지로 나눈다. 이를 토대로 하자유형별로 단열재 시공불량 원인을 분석하고, 단열재 시공 시 관리자들의 일반적인 관리사항에 대하여 알아본다.

#### 3.1.1 단열재의 역할 및 시공기준 1954

본 연구는 세대 내부에서 발생하는 결로, 즉 단열구역에서 발생하는 결로하자유형을 조사 분석해야 함으로 먼저 단열재의 역할과 시공기준 등에 대하여 좀 더 구체적으로 알아본 후 결로 발생 하자유형에 대하여 알아 보도록 한다. 건설교통부령 건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙과 훈령고시지침에 따르면 에너지 절약 설계기준 등에 의거하여 건축물의 단열 기준이 강화되고 있는 추세이다. 또한 건축물의 기밀성이 증대되어 건축물 내·외부의 온도차가 크게 벌어지게 되고, 또한 이것으로 인해 표면결로 및 구조체 내부결로가 문제시 되고 있다. 이는 거주환경에 대한 거주자들의 눈높이가 높아지고 있는 가운데, 세대 내부 결로는 중대민원사항이 될 수 있으므로 설계, 시공단계에서 반드시 검토되어야 할 사항이다.

##### 1) 단열재의 정의 및 일반사항

대부분의 건물에서는 구조체나 개구부, 환기, 틈새 등을 통해 열손실 및 열획득이 일어난다. 단열이란 벽체, 유리창, 지붕 및 바닥 등 외부에 면하는 부

분들의 열저항을 증가시켜 외부에서 내부로 혹은 내부에서 외부로 열의 이동을 최소화 시켜주는 것으로 여름에는 거주지를 시원하게 하고 겨울에는 따뜻하게 해주는 것이다. 또한 단열시공의 효과로는 주택의 경우 에너지 손실의 40~50%를 절감할 수 있어 적은 에너지의 사용으로 우수한 열적 쾌적감을 성취할 수 있으며, 사용되는 재료의 특성에 따라 소음 피해도 줄일 수 있다.<sup>28)</sup> 조사대상의 공동주택내부에 시공된 단열재는 압출법 보온판이며, 상표명은 골드폼으로 불리는 것으로 같은 체적내에 독립기포의 수가 작고 치밀하게 되어 있어 우수한 단열 효과와 탁월한 압축강도를 나타내는 유기질 단열재이다.

또한 단열재는 열의 이동을 방지할 수 있는 열전도율 0.06kcal/mh°C 이하의 건축자재를 의미하며 표3-1은 단열재의 열전도율을 비교하기 위하여 우레탄폼 100mm의 성능과 같은 두께의 값을 비교한 것이다.<sup>29)</sup>

표3-1 단열재의 열전도율 비교

구 분	열전도율	우레탄폼 100mm와 같은 성능의 두께
우레탄폼	0.018	100
발포스티렌	0.030	167
유리섬유	0.039	211
암면	0.038	211

자 표 : 나태준, 단열 및 결로에 대한 세대 마감공사 개선안, 2005년 pp34

우리나라의 대부분의 주거건물인 공동주택은 콘크리트 벽식구조로 이루어져 있으며, 각 부위의 단열기준에 대한 법적인 근거는 건축법의 하위 법령인 건축법 시행령 제91조 건축물의 에너지 이용과 폐자재의 활용에 관한 시행령과 건설교통부령의 건축물 설비기준 등에 관한 규칙에 의거한다. 아래의 표

28) 환경 친화형 복합단열 벽체 개발(최종보고서), 산업자원부, 2003년

29) 나태준, 단열 및 결로에 대한 세대 마감공사 개선안, 2005년

3-2는 조사대상 지역의 단열재 기준이며 표3-3은 단열재 등급 분류이다.

표3-2 단열재의 두께(중부지역)

건축물의 부위 / 단열재의 등급		단열재 등급별 허용 두께(mm)			
		가	나	다	라
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우	65	75	85	100
	외기에 간접 면하는 경우	45	50	55	65
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥 난방인 경우	90	105	120
		바닥 난방인 아닌 경우	75	90	100
	외기에 간접 면하는 경우	바닥 난방인 경우	55	65	75
		바닥 난방인 아닌 경우	50	55	65
최상층 거실바닥 (지붕)	외기에 직접 면하는 경우	110	125	145	165
	외기에 간접 면하는 경우	75	85	100	110
공동주택의 측벽	-	90	105	120	135
공동주택 층간바닥	바닥 난방인 경우	30	35	45	50
	기타	20	25	25	30

중부지역 : 서울 특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도(영동군 제외), 충청남도(천안시), 경상북도(청송군)

자료 : 나태준, 단열 및 결로에 대한 세대 마감공사 개선안, 2005년 pp35

표3-3 단열재의 등급 분류

등급 분류	열전도율의 범위 (KS L 9106 또는 KS F 2277에 의한 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 시험조건에 의한 열전도율)		KS M 3808, 3809 및 KS L 9102에 의한 해당 단열재 및 기타 단열재
	W/mK	kcal/mh°C	
가	0.034 이하	0.029 이하	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 압출법보온판 특호, 1호, 2호, 3호</li> <li>- 경질우레탄폼보온판 1종 1~3호 및 2종 1~3호</li> <li>- 기타 단열재</li> </ul>
나	0.035 ~ 0.040	0.030 ~ 0.034	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 비드법보온판 1호, 2호, 3호</li> <li>- 암면보온판 1호, 2호, 3호</li> <li>- 유리면보온판 2호</li> <li>- 기타 단열재</li> </ul>
다	0.041 ~ 0.046	0.035 ~ 0.039	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 비드법보온판 4호</li> <li>- 기타 단열재</li> </ul>
라	0.047 ~ 0.051	0.040 ~ 0.044	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기타 단열재로서 열전도율이 <math>0.047 \sim 0.051 \text{ W/mK}</math> (<math>0.040 \sim 0.044 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}</math>)이하인 경우</li> </ul>

자료 : 건설부, 건축법령집 (2003년 개정판)

### 3.1.2 공동주택 세대내부 결로 발생에 따른 하자사례 유형조사

#### 1) 조사방법

조사 대상은 민간 업체인 L사가 인천광역시 남동구에 건설한 4076세대 공동주택이다. 조사대상의 공동주택 구조 및 평형은 철근콘크리트조이며  $85m^2 \sim 165m^2$  평형으로 구성되어 있다. 자료의 조사 시기는 2007년 11월부터 2009년 5월에 이르기까지 약 18개월에 걸쳐 수행하였으며 하자사례 조사의 구체적 내용은 건설업체 하자 보수팀을 통하여 수집하였다. 조사는 세대 내부 결로 발생 세대를 방문 표면 결로의 발생 여부를 판단하고, 거주자의 결로 발생에 대한 원인제공 여부 판단을 위해 실내의 온도 및 습도에 대한 기준치 초과 여부를 확인한다. 확인 후 건설사의 하자보수팀에서 마감재를 철거하고 단열재 시공 불량을 확인하여 하자유형 및 원인을 조사하였다. 2007년 11월부터 2009년 5월까지 약 18개월 기간 동안 조사한 내용은 그림3-1에서 보는 것과 같이 결로하자 351건이 발생하였으며, 이것을 세대 내부 외기애 면한 벽면 결로하자, 세대 내부 최상층 천정 결로하자, 세대 내부 환기덕트와 파이프덕트의 조적벽에 면한 벽면 결로 하자로 나누어 표기 하였으며 발코니 부위에 발생한 결로는 본 연구에서 검토하는 하자유형에 포함되지 않으므로 다루지 않았다. 조사 분석 결과 아래 그림 3-1과 같이 세대 내부 외벽에 면한 벽면 결로자가 다른 하자유형에 비해 높은 비율로 조사되었다.

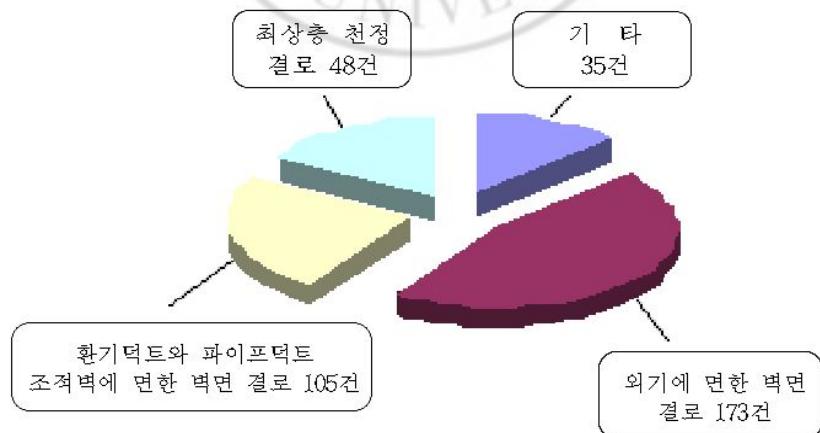


그림3-1 세대 내부 결로 유형별 발생건수

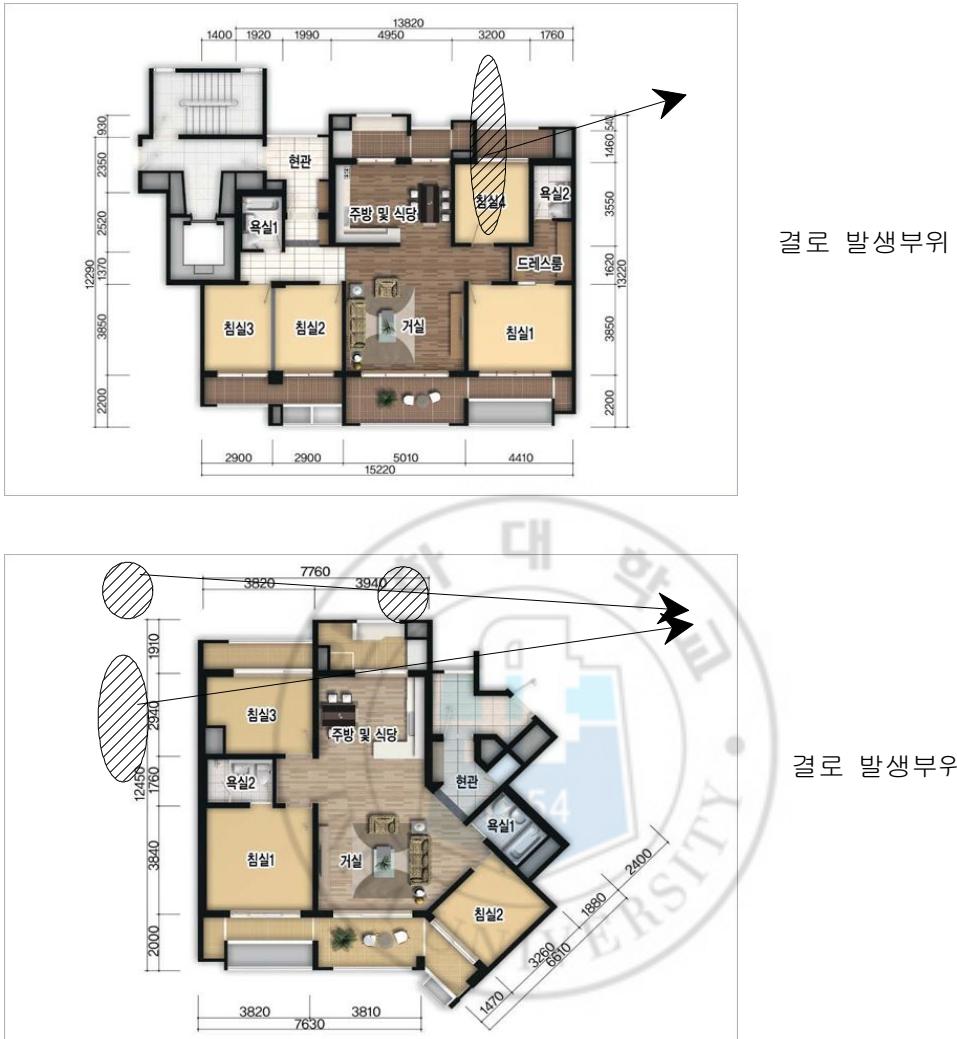


그림3-2 조사대상 결로 발생 구역

## 2) 결로 발생 유형별 하자사례

결로는 발생구역에 따라 비난방구역과 난방구역으로 나눌 수 있으며 그 중 본 연구에서 난방구역 내에서 발생하는 결로 즉, 세대 내부 단열재 시공부위에서 발생하는 표면 결로 하자유형에 대하여 사례 조사를 하였다. 표면 결로는 서론 부분에서 언급한바와 같이 건물의 표면 온도가 접촉하고 있는 공기의 노점 온도보다 낮을 때 그 저온의 표면에 물방울이 맷이느 현상을 말한

다. 최근 건축되는 공동주택은 단열성능 향상과 외부창호의 밀폐력 강화와 함께 건물의 자체 통풍이 이루어지지 않아 실내에 많은 양의 습기가 정체되어 있으며, 또한 입주 초기 콘크리트 구조체에서 발생하는 습기량 또한 상당하다. 이러한 상황에서 단열재 시공불량으로 발생한 결손부위는 찬 공기의 유입으로 이어져 세대 내부 마감재와 입주민의 가구 등에 결로가 발생하게 하며, 또한 인체에 좋지 않은 곰팡이 발생하는 하자등을 발생시켜 입주민의 민원이 증가하고 있는 실정이다. 이와 같이 세대 내부 결로가 발생 할 수 있는 원인 중 하나인 단열재 시공불량의 발생을 방지하기 위해 세대 내부 결로 하자 유형에 대하여 사례를 조사, 분석하였다. 하자 사례는 아래와 같이 크게 세가지로 분류 하였다.

- (1) 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자
- (2) 세대 내부 최상층 천정 결로하자
- (3) 세대 내부 환기덕트와 파이프덕트 조적벽에 면한 벽면 결로하자

#### (1) 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자

세대 내부 외기에 면한 벽면 중 발코니와 같이 절충 공간이 있는 부위는 결로 발생이 거의 일어나지 않으며 대부분의 결로 발생은 외기와 직접 닿는 외벽에서 많이 발생하고 있다. 위 사항은 최근 건축되고 있는 확장형 발코니 외부창호 주위의 단열시공 부위와 동일하게 보아도 된다. 외기에 바로 노출되는 세대 내부 측벽의 경우 단열재의 작은 결손 부위만 있어도 찬 공기의 유입으로 석고보드 및 도배지 면의 표면온도를 낮추는 결과를 초래하게 되는 것이다. 위와 같이 표면온도가 낮아지면, 그 표면에 공기 중에 포함되어 있는 습기가 물방울로 변하여 맷이는 결로현상이 발생한다. 결로 현상으로 인하여 도배지에 곰팡이 발생과 동시에 실내의 쾌적한 환경을 유지할 수 없게 되어 입주민들의 생활에 큰 피해를 초래하게 된다. 또한 전화기 단자함 결로의 경우는 감전으로 거주자의 생명 까지도 위협하게 된다. 다음 그림은 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로 하자 사례들이다.



그림3-3 벽지 곰팡이 발생

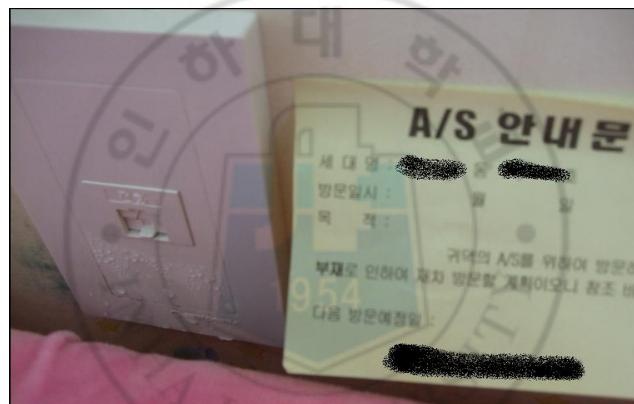


그림3-4 전화기 단자함 결로

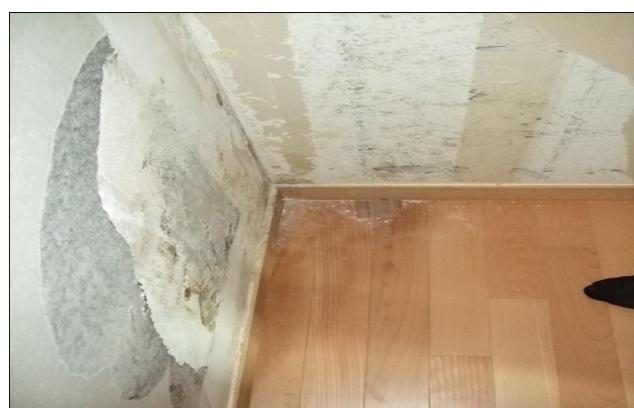


그림3-5 결로로 인한 마루변색



그림3-6 거주자 생활용품 훼손



그림3-7 거주자 구입 가구 훼손

## 2) 세대 내부 최상층 천정 결로하자

최상층의 결로하자는 천정등 주변의 도배지 변색, 세대 누전, 벽과 몰딩부위 벽지 변색과 화장실 천정 내부 악취 발생과 천정재 오염 및 부식 등이 있다. 이러한 세대 내부 최상층 천정 결로하자는 내부의 단열재 빈틈에서 발생한 물방울이 천정 석고보드로 떨어져 목상 및 석고보드를 쓰지 못하게 만들며, 세대내부에 누전을 유발할 위험성을 지니고 있다. 또한 부자재를 부식 시킴으로 천정재의 탈락위험까지 초래하고 있다. 아래 그림3-8과 3-9는 세대내부 최상층 천정 결로 발생으로 인한 마감재 오염 사례이며 그림3-10은 천정등의 부식 피해 사례이다.



그림3-8 천정 도배지 오염



그림3-9 최상층 벽 상부 도배지 오염



그림3-10 천정등 기구 부식

### 3) 세대 내부 환기덕트와 파이프덕트 조적벽에 면한 벽면 결로하자

세대 내부의 환기덕트와 파이트덕트는 조적 시공 시 단열재를 시공하는 부위로서 직접적으로 벽면에 결로 발생하여 곰팡이가 발생하는 경우는 거의 없다. 하지만 벽면전체의 냉기로 불박이장 내부의 곰팡이 발생과 콘센트를 통한 냉기유입은 입주자들의 건강에 좋지 않은 영향을 주고 있다. 아래 그림 3-11과 3-12은 세대내부 환기덕트와 파이프덕트의 조적벽에 면한 창고와 불박이장 내부에 곰팡이가 발생한 피해 사례이다.



그림3-11 환기덕트 조적벽에 면한 창고내부  
곰팡이 발생



그림3-12 파이프덕트 조적벽에 면한 불박이장  
내부 곰팡이 발생

앞의 사례들에서 보는 것과 같이 세대 내부 결로는 비난방구역인 발코니 결로 와는 비교 될 수 없을 만큼 입주민들에게 큰 피해를 주고 있다. 결로 하자로 발생하는 곰팡이는 입주민의 건강과 쾌적한 환경개선에 좋지 않은 영향을 주는 것으로 나타나고, 또한 2차적인 피해로 입주민의 가구 및 생활용품에 곰팡이 및 부식 피해를 주고 있다. 또한 이러한 결로하자는 누전으로 화재의 위험성과 감전의 위험성까지 내포하고 있다. 그러므로 이러한 결로하자 피해는 곧바로 건설사에 대한 거주자들의 불신으로 이어지며, 동시에 건설사의 하자보수비용 증가로 이어져 건설사는 막대한 피해를 보고 있는 상황이다. 다음 절에서는 이와 같이 거주자와 건설사에 큰 피해를 주고 있는 결로 발생의 원인인 단열재 시공불량이의 원인에 대하여 분석하고 대책을 찾고자 한다.



### 3.1.3 하자사례 유형별 단열재 시공불량 원인 분석

결로발생 하자사례 유형은 결로하자 보수 시 발견된 단열재 시공불량 부위에 대해 불량시공이 발생하게 되는 원인을 시공단계에서 찾아 발생 가능한 여러 가지 여건을 유형별로 분류하고 그에 대한 원인을 분석하고자 한다.

#### 1) 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자

세대 내부 외기에 면한 벽면 즉 세대내부 측벽의 결로하자 발생의 원인을 살펴보면 단열재와 단열재 사이의 공간부위 사축불량과 단열재의 규격화로 하단부를 잘라 시공함으로 결손부위가 발생하며, 단열재 고정용으로 사용된 콘크리트 못 주위에 결로가 발생한다. 또한 전화 단자에서 결로가 발생 결로수가 흘러나와 감전의 위험을 초래하며, 이러한 경우 철재박스 매입시공과 단열층 파손부위의 보강불량으로 결로가 발생하였다. 위와 같은 단열재의 결손부위로 유입되는 냉기는 구조체 및 마감재의 표면온도를 결로가 발생할 수 있는 노점온도까지 떨어지게 하여 공기 중의 습기가 저온의 표면에 달라붙어 표면결로가 발생하는 것이다.

그림 3-13은 단열재 사이의 수직 조인트에 발생한 빈틈이며 3-14는 단열재의 높이 규격 때문에 하부에 잘라 붙인 것으로 단열재 사이의 사축 불량과 제단 불량으로 최하단부에는 단열재와 방바닥 사이에 심하게 빈틈이 발생하여 결로의 원인인 찬 공기가 유입할수 있는 경로가 발생하였다. 또한, 그림 3-15우레탄 폼 견을 사용하므로 작업자들은 5mm도 되지않는 단열재와 단열재 사이에 깊이100mm 대해서 사축을 하기에는 어려움이 따라 단열재의 결에만 사용을 하여 단열성능 저하의 원인이 된다.



그림3-13 단열재 사이의 수직 빈틈

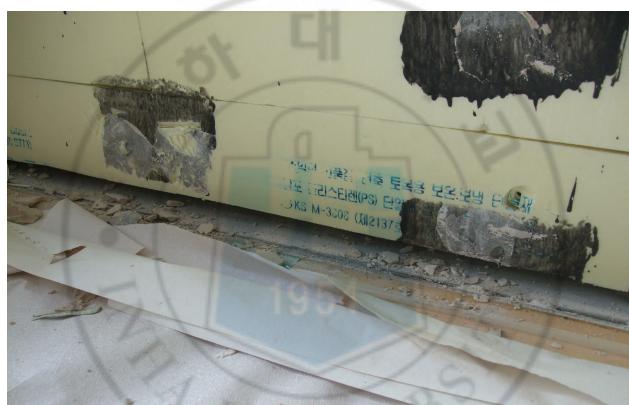


그림3-14 단열재 사이와 바닥 사이의 수평 빈틈



그림3-15 우레탄폼 건

또한 그림 3-16은 전화단자박스 부위의 단열재 결손으로 단열재와 전화단자박스 사이에 빈틈이 발생한 사진이며, 그림 3-17은 전화단자박스 설치 부위의 단면도로 전화박스가 콘크리트내에 매입되어 있음을 알수 있다. 그러므로 전화단자박스를 사용하기 위해 단열재를 제거한 후 단열 보강이 이루어지지 않아 외기에 직접면한 부위에서 냉기가 유입되어 전화단자박스에 결로가 발생하였다.

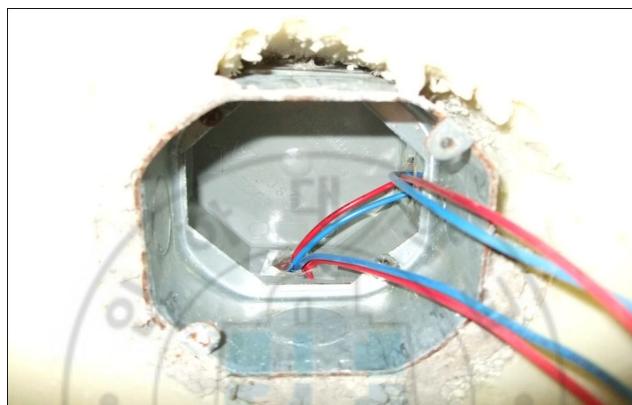


그림3-16 전화단자박스 주변 단열재 결손

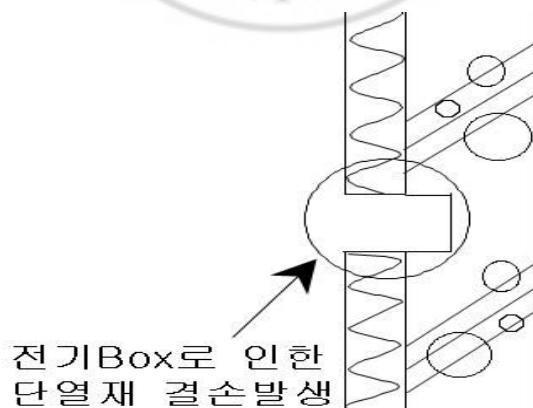


그림3-17 전화단자박스 설치 부위의 단면도

## 2) 세대 내부 최상층 천정 결로하자

세대 내부 최상층 천정에서 발생한 결로하자는 단열재 접착불량과 콘크리트 타설시 단열재 고정 불량으로 단열재와 단열재 사이에 콘크리트가 유입되어 단열층이 파손되고, 또한 천정등박스 주변과 콘크리트에 매설되어 있는 플라스틱관 내부에 결로가 발생하였다. 그림 3-18, 3-19는 최상층의 내부벽면 상부의 열교 부위에 대해 L사의 기술연구소 자료를 토대로 하여 그 결과 보다 두꺼운 단열재를 사용해 시공하였으나 탈락과 시공누락 및 사축불량으로 결로가 발생한 사례이다.



그림3-18 최상층 열교부위 단열재 누락



그림3-19 천정 단열재 사축불량

천정 단열재는 콘크리트 타설전 슬라브 합판에 고정 설치되는 단열재로 콘크리트 타설시 고정이 완벽하게 되지 않으면 단열재와 단열재 사이가 벌어져

콘크리트가 유입되어 그대로 굳어버려 거푸집 해체 이후에도 단열 보강이 어려운 하자이다. 아래의 그림 3-20는 단열재의 벌어진 틈으로 콘크리트가 유입된 것이며, 그림 3-21은 벌어진 단열재 사이로 냉기가 유입하여 결로가 발생한 사례이다.



그림3-20 단열재 사이 콘크리트 유입



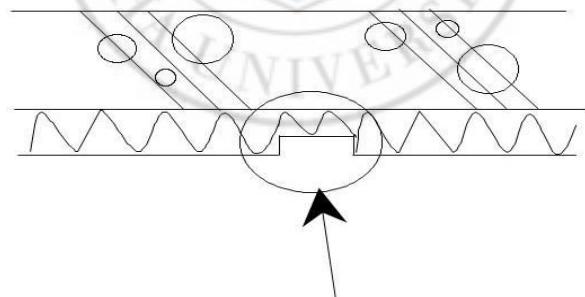
그림3-21 천정 단열재 사이에 발생한 결로

천정에 매입된 천정등박스 주변에 발생하는 결로의 원인 첫번째는 콘크리트 타설 전 슬라브에 시공되어진 100mm 단열재를 천정등박스 고정을 위해 등박스 크기만큼 단열재를 제거하고 단열 보강이 되지 않은것과 단열재와 천

정등박스 사이의 결손부위가 결로 발생의 원인이 된다. 아래 그림 3-22는 천정등박스 주변 단열재 결손으로 결로가 발생한 사례이며, 그림3-23는 천정등박스가 매설된 부위의 단면도로 최상층 슬라브 단열재의 단열층 파손 정도를 보여준다.



그림3-22 천정등박스 주변 단열재 결손



천정등박스 설치로 발생한  
단열층 파손

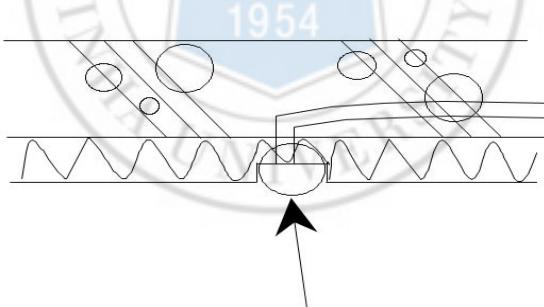
그림3-23 천정등박스 설치 단면도

두번째로 그림3-25의 단면도에서 보는 것과 같이 천정에 매입되어있는 천정등박스와 연결된 플라스틱관 내부를 통해 찬 공기가 유입되어 결로를 발생시키거나 관 내부에서 결로가 발생하여 결로수가 떨어지는 경우도 있다. 이

같은 현상은 플라스틱관이 콘크리트에 매입되어 외기에 그대로 노출되어 있기 때문이다. 그림3-24은 최상층의 천정등박스와 연결된 플라스틱관 내부를 통해 찬 공기가 유입되어 결로가 발생하여 1차로 우레탄 폼으로 천정등박스 내부를 밀실하게 충진 했으나 결로가 재 발생한 사례이다.



그림3-24 플라스틱관을 통해 유입된 냉기로  
발생한 결로



천정등박스와 연결된 플라스틱관을 통해  
찬 공기유입

그림3-25 냉기 유입 경로

### 3) 세대 내부 환기덕트와 파이프덕트 조적조에 면한 벽면 결로하자

환기덕트와 파이프덕트 조적조에 면한 벽면 결로하자는 조적부위의 사축 불량으로 인한 것도 있지만 조적벽 내부에 외기에 면한 벽체의 단열재 시공불

량과 최상층의 경우 옥상 벤츄레타를 통해 지속적으로 들어오는 차가운 공기 때문이다. 이 차가운 공기는 환기덕트와 파이프덕트 조적벽에 면한 벽면 기온을 낮추어 불박이장 내부에 결로가 발생하게 한다. 그림3-26는 조적벽 내부에 외기에 면한 벽면의 단열재가 누락된 사례이며, 그림3-27은 조적벽에 단열재가 시공되지 않은 사례로 물탈 사출이 잘되어도 차가운 공기가 옥상 벤츄레타를 통해 유입되어 환기덕트와 파이프덕트 조적벽의 벽면의 표면온도를 낮추워 불박이장 내부에 결로가 발생하게 한다.



그림3-26 파이프덕트 내부 단열재 누락



그림3-27 파이프덕트 조적벽 단열재 누락

### 3.2 세대내부 단열재 시공 시 중점 관리 사항

건축물의 단열공사란 단열성능을 갖춘 재료를 구조물의 요소에 설치하여 건축물의 내·외부간에 열적성능교환 즉, 필요한 열의 유출과 불필요한 열의 유입을 차단시키는 공사를 의미한다. 여기서 열의 이동을 차단하기 위해 사용되는 것이 단열재(thermal insulating material)라 하며, 일반적으로 크게 무기질계와 유기질계로 나눌 수 있다.

조사대상 공동주택은 일반적으로 사용되고 있는 판상형으로 제작된 압출법 보온판을 사용하여 내단열 공법으로 시공되었다. 판상형으로 제작된 압출법 보온판은 접합부의 발생으로 빙틈이 발생 하며, 재질이 딱딱하여 현장 가공시 똑바로 잘라지지 않아 결손부위가 발생하게 한다. 또한 내단열 공법은 단열재를 구조체 내부에 설치하는 것으로 시공이 간편하고 공사비가 비교적 저렴하며 공기에 영향을 받지 않을 수 있으나 단열의 효율성이 낮고 내부결로 발생 우려가 높다. 그러므로 단열공사는 그 재료의 선택과 품질관리에 따라서 단열성능에 큰 차이를 보이게 되는데 이러한 요구 성능을 구현하기 위해서는 단열 재료의 요구 성능과 단열공법의 선정 그리고 시공 시의 품질관리가 종합적으로 이루어져야 한다. 특히 단열성능을 확보하기 위하여 우수한 단열재를 두껍게 사용한다고 해도 시공이 불량하게 되면 단열성능이 저하되고 목적하는 바의 품질을 얻을수 없으므로 효율적인 시공관리계획이 반드시 필요하다. 다음의 표3-4는 단열재 시공 시 일반적으로 시공관리자가 관리해야하는 사항으로 결로하자 유형을 바탕으로 정리한 것이다.

표3-4 결로하자 유형별 단열재 시공 시 관리사항

결로 발생의 유형	단열재 시공 시 관리사항
세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단열재 시공 전 구조체벽 면 정리 (타이 및 철물 제거와 할석)</li> <li>• 시방서상의 단열재 본드 사용</li> <li>• 단열재 고정용 끗 사용</li> <li>• 단열재 시공부위 누락여부</li> <li>• 단열재 사이 빈틈 사축 철저</li> <li>• 사축 후 방열 테이프 시공</li> <li>• 열교부위 단열재 시공</li> </ul>
세대 내부 최상층 천정 결로하자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 타설 전 슬라브 단열재 고정</li> <li>• 콘크리트 타설 전 천정등박스 주위 단열보강</li> <li>• 내부 천정 시공 전 열교부위 단열재 시공과 사축 철서</li> <li>• 내부 천정 시공 전 단열재 사이 콘크리트 유입 후 굳은 콘크리트 제거</li> <li>• 단열재 빈틈 사축 철저</li> </ul>
세대 내부 환기턱트와 파이프덕트 조작조에 면한 벽면 결로하자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 단열재 시공 전 구조체벽 면 정리 (타이 및 철물 제거와 할석)</li> <li>• 조적 시공 전 외기에 면한 벽면 단열재 시공</li> <li>• 조적 시공 전 열교부위 단열재 시공</li> <li>• 조적 시공 전 단열재 빈틈 사축 철저</li> <li>• 조적 시공 후 빈틈 몰탈사축 철저</li> <li>• 조적면에 단열재 시공과 사축 철저</li> </ul>

구조체가 완성되고 나면 가장 중요한 사항은 방수 공사와 단열 공사가 있다. 단열 공사가 제대로 되지 않으면 외기에 의한 열손실과 냉·난방부하의

상승으로 불필요한 에너지 손실이 발생하며 이것을 건물생애기간의 소요비용인LCC(life cycle cost)관점에서 보면 유지관리비 부분에서도 적지 않은 문제점을 가지게 된다. 또한 단열과 밀접한 관련을 갖고 있는 결로 발생에서도 내부 결로는 구체의 열화현상을 촉진하고, 표면 결로는 곰팡이를 유발시키는 등 쾌적한 실내 환경 조성에 악영향을 끼친다. 이러한 결로를 방지하기 위해서는 효율적인 단열 공법이 필요하다. 그러나 단열공법의 적용시 효율성도 중요하지만 아무리 좋은 단열재를 사용한다 해도 제대로 된 정밀시공이 이루어지지 않으면 단열성능을 저하시킬 수 있다. 그러므로 완벽한 단열공사가 되도록 시공관리가와 정밀한 시공이 이루어져야만 목적하는 바 품질구현이 가능할 것으로 생각된다.



## 제4장 공동주택의 세대 내부 결로 발생 방지를 위한 단열재 시공 개선방안

### 4.1 세대 내부 결로 발생 하자 보수현황 및 방법분석

본 장에서는 앞 장에서 다루어진 세대 내부 단열재 시공불량으로 발생한 하자 유형과 원인 분석을 토대로 세대 내부 결로하자로 보수한 현황을 조사하였다. 조사한 보수현황을 근거로 보수방법을 분석하여 세대내부 단열재 시공 시 발생되어지는 여러 가지 현장 여건을 고려하여 세대 내부 결로 발생 방지를 위한 단열재 시공 개선방안을 제시한다. 그리고 하자 발생 및 처리 현황을 기록하여, 다음해 겨울에 결로 재 발생 여부를 조사한다. 조사한 자료를 근거로 제시한 단열재 시공 개선방안을 객관적으로 검증한다.

#### 4.1.1 결로 발생 하자사례 유형별 원인에 따른 하자보수 현황

##### 1) 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자

세대내부의 외기에 면한 벽면 결로하자는 단열재와 단열재 사이의 틈 사출 불량과 단열재 탈락 등으로 외기의 찬 공기가 유입되어 마감재 표면에 결로 발생의 원인이 되었다. 또한 외기에 면한 전화단자박스는 단열층을 파손시켜 단열성능 저하를 초래하여 전화기단자함 커버에 결로가 발생하게 하였다. 이러한 하자에 대한 보수는 단열재와 단열재 사이의 빈틈은 우레탄폼을 사용하여 밀실하게 사출을 하여 찬 공기의 유입을 차단했고, 전화단자박스의 단열 층 파손은 위와 같이 우레탄폼을 사용 파손된 단열층을 보강 단열 성능을 향상시켰다. 그림4-1은 단열재 사이에 우레탄폼을 밀실하게 사출을 한 사진으로, 이와 같은 하자는 천정 일부분까지 철거하여 하자보수를 했으며, 전화단자박스 결로하자는 그림 4-2와 같이 단열층을 보강 하였다.



그림4-1 벽체 단열재 빈틈 우레탄폼 충진



그림4-2 전화단자박스 우레탄폼 충진

## 2) 세대 내부 최상층 천정 결로하자

세대 내부 최상층 천정 결로하자는 열교부위의 단열재 탈락, 사축불량과 슬라브 단열재의 고정 불량으로 단열재와 단열재 사이에 콘크리트가 유입되어 굳어버린 것과 천전등박스 주변과 이것과 연결된 플라스틱관을 통한 결로 발생 하자가 있다. 열교부위에 발생한 결로현상은 단열재 누락과 사축불량, 콘크리트면 불량으로 단열재 탈락으로 발생 하였으며, 단열재 재 시공과 우레탄폼을 사용하여 밀실하게 사축을 하였다. 그림 4-3과 4-4과 같이 하자 보수를 진행한 사진이다.



그림4-3 열교부위 단열재 재시공

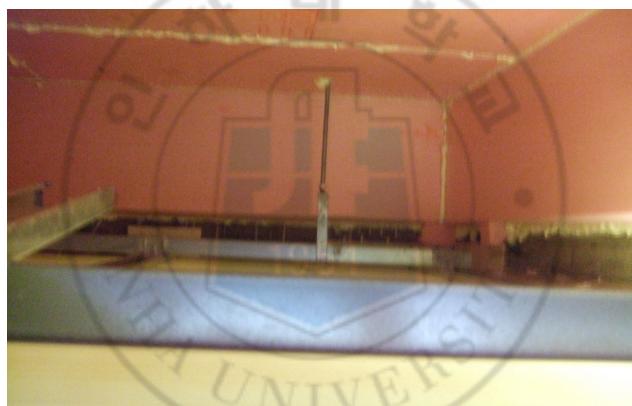


그림4-4 열교부위 단열재 빈틈 우레탄폼 사출

콘크리트 타설시 슬라브 단열재 고정 불량은 단열재 사이로 콘크리트가 유입되어 굳어버려 단열층을 파손하며, 또한 단열재 사이가 벌어져 찬 공기가 유입되어 물방울이 맷이is 현상을 발생 시킨다. 콘크리트 유입으로 단열층이 파손된 하자는 단열재와 단열재 사이를 V커팅을 하여 그 사이에 굳어버린 콘크리트를 제거한 후 우레탄폼으로 사출을 밀실하게 하였다. 아울러 단열재 사이 벌어짐으로 물방울이 맷이is 하자는 위와 동한 방법으로 보수한 것으로 조사 되었다. 그림 4-5와 그림 4-6은 하자보수 진행 사진이다.



그림4-5 단열재 빈틈 우레탄 품 사출1



그림4-6 단열재 빈틈 우레탄 품 사출2

천정등박스 주변의 결로는 단열재 결손 부위와 천정등박스 설치로 파손된 단열층과 콘크리트내에 매입된 플라스틱관으로 냉기가 유입되어 결로가 발생하고 있었다. 단열재의 결손부위는 우레탄폼으로 밀실하게 사출을 하였고, 단열층 파손부위는 천정등박스내부에 우레탄폼 충진 후 그 위에 단열재를 덧붙이는 방법으로 파손된 단열층을 보강 되었다. 또한 콘크리트 내부에 매입된 플라스틱관내부에는 우레탄폼 주입기계로 밀실하게 사출한 것으로 조사 되었다. 그림 4-7은 천정등박스 주변 하자보수 한 것이며, 그림4-8은 우레탄폼을 깊은 곳까지 주입하는 주입기계이다.



그림4-7 천정등박스 주변 사출 및 단열보강



그림4-8 우레탄 품 주입기계

### 3) 세대 내부 환기덕트와 파이프덕트 조적벽에 면한 벽면 결로하자

세대 내부 환기덕트와 파이프덕트 조적벽에 면한 벽면 결로하자는 벽면에 결로가 직접적으로 발생하지는 않았으나 차가운 냉기로 불박이장 내부에 곰팡이가 발생하였으며, 또한 콘크리트면과 조적조가 만나는 부분에 단열재가 연속적으로 시공되지 않아 열교부위가 발생 결로발생에 영향을 주었다. 아울러 최상층의 경우 그림4-9와 같이 벤츄레이터로 연결된 관은 옥상층 바닥에 설치된 슬리브와 빙틈이 발생하여 찬 공기의 유입에 영향을 주었으며, 또한

환기덕트와 파이프덕트 조적벽에는 단열재가 누락되어 결로발생에 영향을 주는 것으로 조사되었다. 그림4-10은 환기덕트와 파이프덕트 조적벽에 면한 창고로 단열재를 시공하여 결로를 방지한 것이다.



그림4-9 옥상층 슬리브 빈틈 발생



그림4-10 환기덕트 조적벽에 면한 창고내부  
단열재 시공

위와 같이 결로 하자를 처리 후 제시된 단열재 시공 개선안에 대한 검증을 위해 그 다음해 결로 재 발생 여부를 조사하였다. 조사는 하자 유형별로 실시하여 아래 표4-1의 결과를 얻어내었다. 표에서 보는 것과 같이 재 발생 건

수는 낮게 조사 되었으며, 이는 결로하자 보수방법에 대한 객관적인 검증이 되는 것이다. 또한, 결로가 재 발생한 건수는 각 세대에 L사의 하자보수팀이 개별 방문하여 조사한 결과 결로하자 발생초기 원인분석 없이 하자보수를 하여 다른 부위로 부터 냉기가 유입되어 재 발생한 것으로 조사 되었다. 이에 결로가 재 발생한 세대는 L사의 하자보수팀에서 결로하자의 원인을 분석하여 하자보수를 재 실시 하였고, 그 후 그해 2008년 겨울에 결로가 재 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

표4-1 결로하자 보수현황 및 재 발생현황

구 분	5단지		4단지		3단지		2단지		1단지		합계	
	하 자 보 수	재 발 생										
세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자	49	3	24	1	55	3	25	2	20	2	173	11
세대 내부 최상층 천정 결로하자	13	2	5	1	15	3	8	1	7	1	48	8
세대 내부 환기턱트와 파이프덕트 조작조에 면한 벽면 결로하자	25	3	12	1	28	5	21	2	19	1	105	12

#### 4.1.2 하자보수 현황에 따른 방법 분석

세대 내부 단열재 시공불량으로 발생한 결로 하자의 원인은 단열재와 단열재 사이의 빈틈 발생부위와 단열재 결손부위에 대한 충진 불량과 단열층 파손에 대한 단열 보강이 되지 않아 단열 성능 저하로 결로가 발생한 것이라 할 수 있다. 표4-2는 위와같은 원인으로 발생한 결로 하자를 보수한 현황을 토대로 보수방법을 분석하여 정리한 것이다.

표4-2 결로 발생 유형별 보수현황 분석

결로 발생의 유형	보수현황	보수방법 분석
세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자	<ul style="list-style-type: none"> <li>단열재와 단열재 사이의 빈틈 우레탄폼 충진</li> <li>단열재와 전화단자박스 사이 빈틈 우레탄폼 충진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>우레탄폼 충진으로 찬 공기 유입하는 경로 차단</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>전화단자박스 내부 우레탄폼 충진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전화단자박스 내부에 우레탄폼 충진으로 파손된 단열층 보강</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>단열재 사이 콘크리트 유입으로 발생한 단열층 파손부위는 슬라브단열재를 V컷팅 후 콘크리트 제거 우레탄폼 충진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>찬 공기를 전달하는 콘크리트 제거와 파손된 단열층 보강</li> </ul>
세대 내부 최상층 천정 결로하자	<ul style="list-style-type: none"> <li>천정등박스 설치로 파손된 단열층 등박스내부 우레탄폼 충진과 단열재 덧붙이기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>우레탄폼 충진과 단열재 덧붙임으로 파손된 단열층 보강</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>천정등박스와 연결된 콘크리트에 매입된 플라스틱관 내부 우레탄폼 충진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라스틱관 내부 우레탄폼 충진으로 찬공기 유입경로와 결로 발생 위치 제거</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>환기턱트에 면한 창고내부 단열재 시공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>찬 공기로 차가워진 벽면을 단열하여 표면결로 방지</li> </ul>
세대 내부 환기턱트와 파이프덕트 조적조에 면한 벽면 결로하자	<ul style="list-style-type: none"> <li>조적벽 설치로 발생한 열교부위 단열재 시공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>조적벽에 단열재 시공으로 열교부위 제거</li> </ul>

## 4.2 세대 내부 결로 발생 방지를 위한 단열재 시공 개선방안

공동주택에서 결로 하자뿐만 아닌 타 공정의 하자발생 원인은 시공사의 원칙을 준하지 않기 때문에 일어난다 할수 있다. 현장 담당직원의 관리 소홀, 감리의 감독경험 부족, 현장직원의 책임시공 의식결여, 도면에만 의존하여 시공할 경우 하자발생을 예측하면서도 발생하면 추후에 보수한다는 그릇된 사고방식을 들 수 있다. 또한 하자보수비용과 피해보상비가 증가하는 결로 하자의 원인을 최소화 하기위해서는 설계에서부터 시공, 공사비, 자재에 이르기 까지 관련요소들에 대한 집중적인 연구가 필요하다고 본다.

먼저 설계단계에서 충분한 검토를 통하여 하자가 발생하지 않도록 보완하여야 하고, 시공사측면에서는 품질관리를 철저히 하고, 시공책임을 명확하게 하여야 한다. 또한 신공법·자재를 적용할 경우에는 충분한 검토 후 채택해야 하며, 도면 미숙지로 인한 재 시공을 방지하기 위해 도면 숙지를 철저히 하고, 공기 설정 시 무리한 공기를 탈피해 공기를 수립해야 한다. 공사비에 있어서는 덤펑 및 최저 낙찰제를 방지하여 적정한 공사금액으로 하도급 업체의 작업여건을 충분히 확보시켜줘야 한다. 이러한 것들을 건축생산주체별 측면에서 하자발생을 사전에 방지하기 위해 고려되어야할 사항을 요약하면 표 4-3과 같다.<sup>30)</sup>

---

30) 김종태, 공동주택 건축공사의 하자유형과 대책에 관한 연구, 영남대학교 산업대학원, 2004년

표4-3 건축 생산주체별 하자방지를 위한 고려사항

생산주체	고려사항
발주자 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 계획단계 시 충분한 설계기간 확보</li> <li>• 공사 규모에 따른 적합한 공기 설정</li> <li>• 공사 입찰제도의 개선</li> <li>• 요구하는 품질수준이 충분히 발휘될 수 있는 적절한 공사금액 책정</li> </ul>
설계자 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설계도서에 의한 감리업무 충실</li> <li>• 충분한 상세도 작성</li> <li>• 시방서에 의한 정확한 기록</li> </ul>
시공사 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재래식 공법 탈피와 신기술 개발을 위한 과감한 투자</li> <li>• 공장생산업체를 통한 재료 및 부자재의 규격화</li> <li>• 하도급사의 안정된 작업여건 조성</li> <li>• 기계화 시공으로 전환</li> </ul>
하도급사 측면	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현장 책임자의 성실하고 책임성 있는 시공풍토 조성</li> <li>• 기능공의 숙련도 개선 및 정확한 시공방법 강조</li> <li>• 기능공의 안정된 작업환경 조성</li> <li>• 우수기능인력 다량확보</li> </ul>

자료 : 김종태, 공동주택 건축공사의 하자유형과 대책에 관한 연구, 영남대학교  
산업대학원, 2004년 p.5

위 표4-3과 같이 근본적인 사항들이 선행되어야 수요자들의 요구수준에 부합하는 품질의 주거 공간을 제공할 수 있으며, 또한 시공 후 이용단계에서 발생하는 하자에 대하여 근본적으로 감소시킬 수 있을 것이다. 하지만 본장에서는 위와 같은 고려 사항이 아닌 실제로 단열재 시공 시 불량시공의 원이 되는 것을 방지하기 위해 세대내부 단열재 시공 개선방안을 제시 하고자 한다.

### 1) 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자

단열재와 단열재가 만나는 사이에 수직으로 발생한 빙틈은 그림 4-11의 단열재 단면을 그림 4-12와 같은 “ㄴ”자 단면으로 변형하면 단열재 빙틈이 발생되지 않으며, 단열재의 하부에 발생한 수평적인 빙틈은 단열재의 높이를 건축물의 층고에 맞게 생산하면 단열재 제단 불량으로 발생하는 빙틈의 발생율을 감소시킬 것이다.

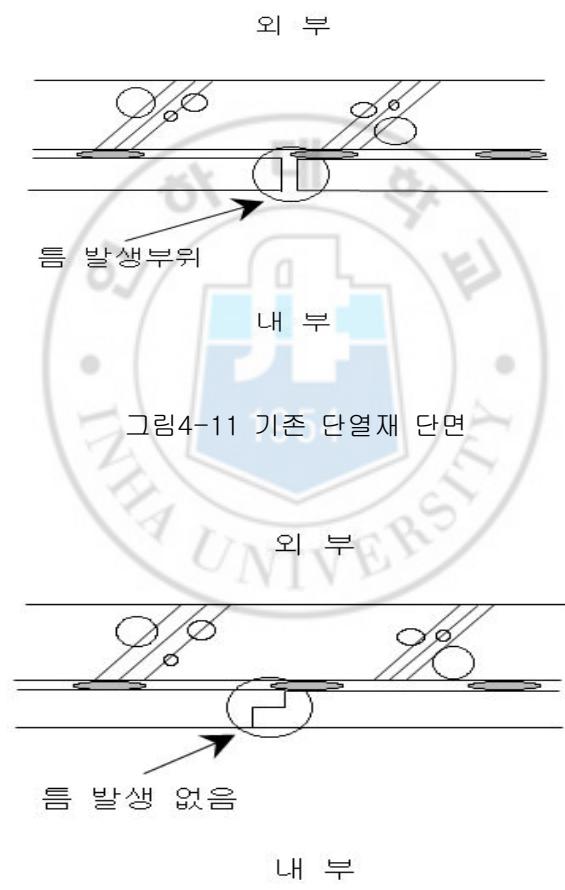


그림4-11 기존 단열재 단면

또한 이러한 단열재 빙틈 발생은 구조체와 단열재가 직각으로 만나는 부위에 발생한다. 이 경우에는 단열재 제단이 정확하게 되지 않아서 발생하는 것으로 그림4-13의 기준에 사용했던 일반 칼을 그림 4-14와 같은 열선 커터기로 바꿔 사용하면 보다 정확한 단열재 제단이 될 것이다.



그림4-13 일반 칼



그림4-14 열선 커터기

그리고 그림 4-15의 열전도율이 높은 기존의 전기박스(콘크리트에 매립된 것)를 그림4-16과 같은 플라스틱 재질의 전기박스 또는 결로 방지용 전기박

스로 변경 시공 하면 열전도율을 낮추어 결로 발생율이 감소하게 된다. 하지만 이렇게 외부에 면한 전기박스 설치는 설계 단계에서부터 피하는 것이 좋은 방법이다.



그림4-15 기존 매립형 전기박스

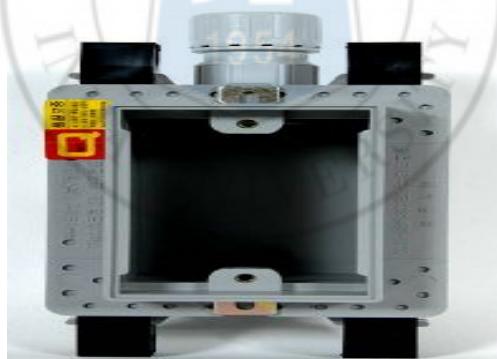


그림4-16 결로방지용 콘센트 박스

마지막으로 단열재를 콘크리트 못을 사용해 고정시키는 행위는 시공기준에 맞는 단열재용 본드 사용여부 확인을 철저히 하여 단열재 탈락을 막아야 한다. 위와 같은 사항은 무엇 보다 공사 관리 감독자의 철저한 감독이 요구되는 사항이다.

## 2) 세대 내부 최상층 천정 결로하자

최상층의 천정도 단열재와 단열재 사이의 벌어짐으로 발생한 결로하자는 위의 그림4-12와 같은 변형된 단열재를 사용하면 결로 발생을 방지하며 천정등박스 고정으로 발생한 단열층 파손과 콘크리트에 매입된 플라스틱관 내부에서 발생하는 결로는 기존 단열재 시공 방법(그림4-17)을 그림4-18과 같이 콘크리트 타설 전·후 단열재를 시공하면 결로 발생을 원천적으로 방지할 수 있다. 또한 열교부위가 발생하지 않으므로 열교부위에 대한 결로 하자도 단열재를 그림4-18과 같이 시공될 때 방지할 수 있다.

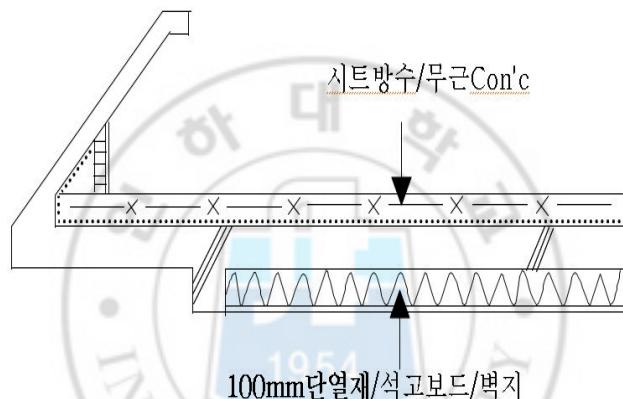


그림4-17 기존 단열재 시공도면 [내단열]

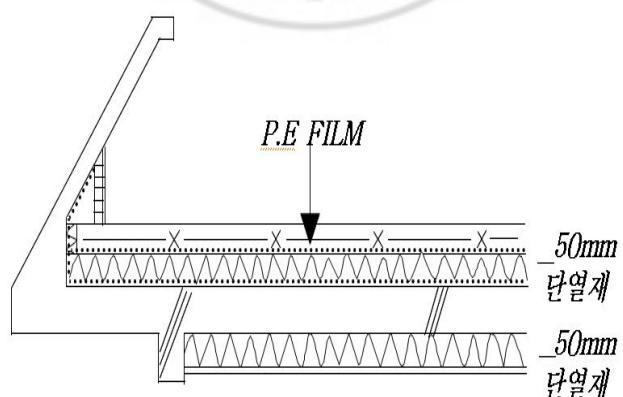


그림4-18 개선된 단열재  
시공도면 [내단열+외단열]

### 3) 세대 내부 환기덕트와 파이프덕트 조적조에 면한 벽면 결로하자

조적벽에 몰탈 사축 불량부위는 최상층의 경우 벤츄레이터로 연결되어 있는 관과 슬리브와의 사이로 외기의 찬 공기가 유입되어 몰탈 사축이 밀실하게 되어도 찬 공기가 벽면 전체를 차갑게 하는 현상을 일으킨다. 이와 같은 현상을 막기 위해 조적벽 전체에 그림4-19과 같이 10mm 단열재를 시공하여 찬공기의 유입을 미연에 차단시킴으로 결로를 방지할수 있다. 또한 조적벽과 외벽의 구조체가 직각으로 만나는 부위는 단열재의 불연속으로 열교부위가 발생하여 결로발생의 원인이 된다. 그러므로 이 부위에는 그림4-20과 같은 방법으로 단열재를 보강함으로 열교부위의 발생을 방지한다.

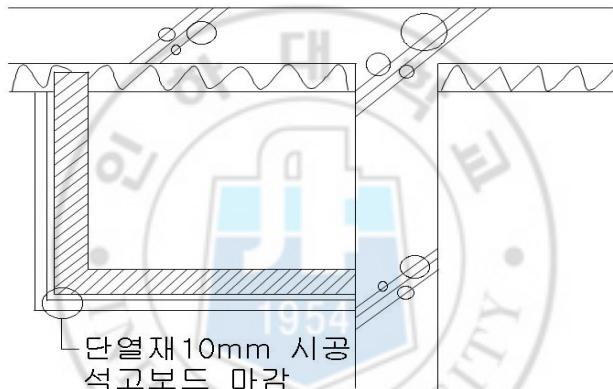


그림4-19 파이프덕트 조적벽 단열재 시공

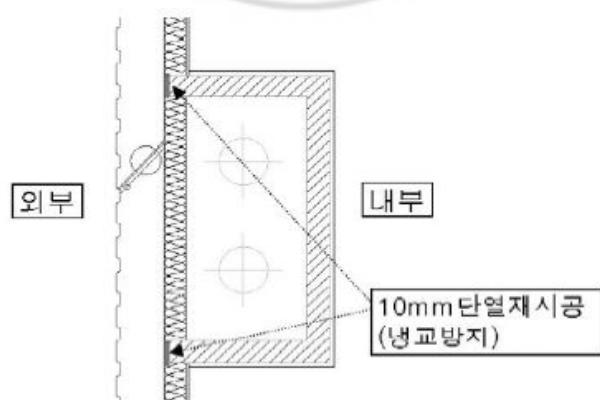


그림4-20 파이프덕트 조적벽 열교부위  
단열재 시공

## 제5장 결론

최근 공동주택의 세대 내부 결로 발생이 증가하여 거주자에게 생활의 불편함 및 불쾌감을 초래하고, 또한 곰팡이의 발생으로 건강에 악영향을 주고 있다. 이러한 결로하자는 건설회사에게 하자보수비용 및 피해보상비 증가로 이어져 원가증대 요인이 되고 있고, 최근 인터넷 민원 등으로 회사의 신인도 하락과 수주 장애의 한 요인으로 작용하기도 한다.

이에 본 연구에서는 선행 연구를 통해 결로에 대한 이론적 고찰을 하고, 이를 바탕으로 결로하자 유형을 나눈 다음 건설사의 단열재 시공불량으로 발생한 결로하자 사례를 L사의 하자보수팀을 통하여 자료를 조사한다. 조사한 내용을 토대로 원인과 하자보수 현황을 분석하여 세대 내부 결로 하자 방지를 위한 단열재 시공 개선안을 제안 함으로써 거주자의 피해를 감소시키고, 또한 건설사의 하자보수 및 피해보상비용도 감소시킬 수 있는 연구를 수행하였다. 수행되어진 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, 결로에 대한 이론적 고찰을 바탕으로 L사의 하자보수팀을 통해 조사된 결로하자를 분석한 결과 다음과 같은 하자유형이 조사되었다. 첫째 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자, 둘째 세대내부 최상층 천정 결로하자, 세 번째 세대내부 환기덕트와 파이프덕트 조적벽에 면한 벽면 결로하자가 조사되었으며, 이것을 토대로 유형별 하자사례를 정리 하였다. 정리한 결과 세대 내부 외기에 면한 결로하자 유형이 가장 많이 발생하였으며, 공사범위 및 거주자의 피해사례도 큰 것으로 조사되었다.

둘째, 결로하자를 유형별로 원인을 분석한 결과 첫 번째 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자의 원인은 단열재 사이의 빈틈과 전화단자함 설치로 발생된 단열층 파손 등으로 조사 되었다. 두 번째로 세대 내부 최상층 천정 결로 하자는 열교부위의 단열재 탈락 및 빈틈 발생과 천정 단열재 고정불량으로 발생한 빈틈과 콘크리트 유입으로 천정등박스 설치로 파손된 단열층과 콘크리트에 매입된 천정등박스와 연결 되어진 플라스틱관으로 조사 되었다. 마지막으로 세대 내부 환기덕트와 파이프덕트 조적벽에 면한 벽면 결로하자는 조적벽 단열재 누락, 각 덕트 내부의 외기에 면한 단열재 누락과 조적벽으로 인해 발생한 열교부위로 조사되었다. 위에서 보는 것과 같이 조사된 결로 발

생의 원인은 단열재의 빈틈 및 누락과 단열층 파손이 주를 이루고 있다. 이 같은 원인은 건축담당자의 관리 감독이 철저히 이루어 지면 발생율이 감소하겠지만 공기 및 많은 현장여건을 고려해 볼 때 철저한 관리 감독이 이루어 지기는 쉽지 않은 것이 현실이다.

셋째, 결로하자의 유형별 원인을 바탕으로 결로하자 보수현황을 조사하고 방법을 분석하여 세대내부 결로 방지를 위한 단열재 시공 개선안을 유형별로 제시하였다. 제시된 단열재 시공 개선안은 다음과 같다. 첫 번째 세대 내부 외기에 면한 벽면 결로하자에 대한 개선안으로는 단열재의 단면 형태를 일자 형에서 "ㄴ"형으로 바꾸고, 높이를 시공되는 건물의 층고에 맞게 형태를 변화시켜 시공한다. 두 번째로 세대 내부 최상층 천정 결로하자로 그 중 단열재 사이의 빈틈으로 발생하는 결로자는 위에서 제시한 것과 동일하게 단열재의 단면 형태를 변형하여 시공하고, 열교 부위 및 천정등박스 주위의 결로는 단열재 시공을 내단열과 외단열을 병행하여 시공한다. 마지막으로 세대내부 환기덕트와 파이프덕트 조직벽에 면한 벽면 결로자는 조직 시공 시 각 덕트 내부와 조직벽면의 단열재 시공 시 관리를 철저히 하며, 구조체와 조직벽사이에 단열재를 시공하여 열교부위의 발생을 방지한다.

1954

본 연구의 결과를 종합하여 볼 때 세대 내부 단열재 시공불량으로 인해 발생하는 결로하자의 원인은 단열재 사이의 빈틈과 단열층 파손 등으로 볼 수 있다. 이와 같은 결로 원인을 발생시키지 않기 위해서는 제시된 단열재 시공 개선안 뿐만 아니라 관리 감독자의 철저한 관리감독도 병행되어야 하며, 다음 연구에서는 제시한 방안에 대한 시공성과 효율성을 극대화 할 수 방안을 모색해야 할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 이홍식, 공동주택에 있어서의 발코니 단열 결로에 대한 현장사례 연구, 연세대학교 공학대학원, 2006년
2. 문현준외 4명, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 공동주택 현관문 벽체에서의 곰팡이발생위험도 분석, 대한건축학회논문집 27권 제1호 2007년 pp. 977~980
3. 최정민외 2인, 공동주택에 있어서 외벽 및 측벽의 결로방지에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 7권 2호, 1987년
4. 김종엽, 공동주택의 결로 저감 설계 기술, 한국그린빌딩협의회
5. 건설부, 건축법령집 (2003년 개정판)
6. 이준서외 1인, 최상층 슬라브와 세대내 벽체 접합부 열교부위의 검토보고서 L사 기술연구소 보고 자료, 2006년
7. 유선용, 발코니 확장형 공동주택의 결로 방지를 위한 외피 설계 연세대학교 대학원, 2007년
8. 김문한 외1, 공동주택 외주벽의 결로방지에 관한 연구  
대한건축학회 논문집 8권 제1호, 1988년 pp 354~357
9. 한호석, 이글루탄약고의 결로 감소를 위한 연구, 충남대학교, 2007년
10. 박용금, 공동주택의 공정별 하자발생 및 예방 대책에 관한 연구, 서울산업 대학원, 2008년
11. 최재원외 2인, 건축물 외벽 모서리 부위의 결로방지 공법에 관한 연구  
대한건축학회 논문집 22권 제1호, 2008년 pp 461~464
12. 문봉기, 공동주택의 하자원인 분석 및 대책에 관한 연구  
삼척 대학교, 2005년
13. 조경민, 저에너지 주택설계를 위한 단열구조 및 디자인 요소에 관한 연구  
세명대학교, 2005년
14. 김종태, 공동주택 건축공사의 하자유형과 대책에 관한 연구, 영남대학교  
2004년 pp.5
15. 박창섭 외, 건축환경계획, 보성각, 2001년, p.95
16. 나태준, 단열 및 결로에 대한 세대 마감공사 개선안,  
건축도시연구정보센터, 2005년
17. 이승언, 건축물에서의 결로 발생 유형과 대책, 한국그린빌딩협의회

18. 김광우외 1인, 공동주택에서의 결로발생 및 대책
19. 김동균, 당사시공사례를 중심으로 살펴본 공동주택 부위별  
결로 원인 및 대책, S사 건설기술 자료
20. 유호천, 건축환경과 결로, 대한 건축학회
21. 문현준, 확률적 곰팡이 발생 위험도 평가 지표의 개발  
대한건축학회논문집 22권 제5호 2006년 pp. 255~262
22. 이성복, 공동주택에서의 결로발생 현황 및 분석, 대한주택공사
23. 이정민, 초고층 아파트의 결로와 환기에 관한 연구  
연세대학교 대학원, 2003년
24. H. David Egan. Concepts in thermal comfort, 1975
25. 이윤규, 공동주택 외벽체의 결로 방지를 위한 실험적 연구  
연세대학교, 2001년
26. 산업자원부, 환경친화형 복합단열 벽체 개발(최종 보고서), 2003년

