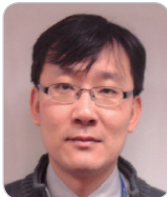




# OSC 기반 PC공동주택을 위한 접합부 누수제어기술 개발소개

An Introduction of the Water Leakage Control Technology  
Development for Joints of OSC-based PC Apartment Buildings



**김 태 호**  
디엘이앤씨(주)  
주택기술개발원  
부장



**고 효 진**  
디엘이앤씨(주)  
주택기술개발원  
차장



**김 용 로**  
디엘이앤씨(주)  
주택기술개발원  
부장

## 1. 머리말

최근 지식산업센터, 물류센터, 반도체 공장 등을 중심으로 PC(Precast Concrete) 사업이 활성화되고 노무인력의 노령화, 숙련 노동자의 부재, 레미콘 8/5제 등으로 기존의 인력중심의 건설환경에서 장비중심의 환경으로 전환되고 있다. 이에 따라 과거 사장이었던 PC 공동주택에 대한 필요성이 대두되고 있으며 최근 LH 등이 중심이 되어 PC공동주택의 활성화에 나서고 있다. 또한 정부와 기관 등을 중심으로 OSC(Off Site Construction)에 대한 관심이 높아지고 있으며 이와 관련하여 국내에 가장 많은 주택의 형태인 아파트에 대하여 PC화를 검토중이다. PC공동주택에 대한 가장 큰 우려사항으로 구조적 성능보다는 층간소음, 누수 등 생활 관련 민원들이 제시되었다. 실제로 과거 건설된 PC공동주택의 가장 큰 불편사항은 누수, 층간소음 등이 제시되어 왔다. 이러한 PC 구조 접합부의 구조적 불안과 이러한 불편사항 등에 의하여 국내에서 PC공동주택은 최근 20여년간 건설된 사례가 거의 없는 실정이다.

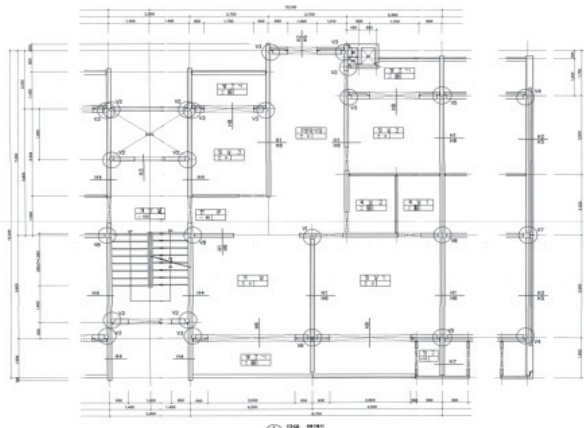
본 기사에서는 과거 PC공동주택의 사례를 바탕으로 누수 관련 접합부 상세를 검토하고 접합부의 누수와 관련있는 부분에 대하여 실험을 진행한 내용을 다루었다.

## 2. 기존 PC 아파트 접합부 상세

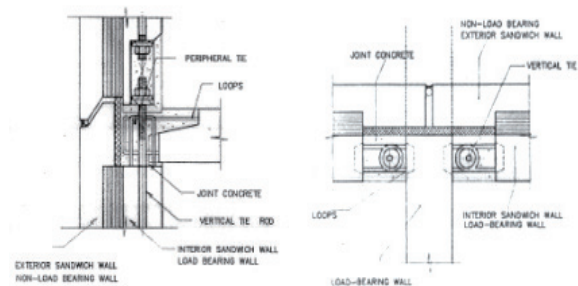
### 2.1 90년대 PC아파트 접합부 사례

과거 PC아파트의 평면형상은 90년대 벽식 RC조 아파트와 동일하다. PC벽체는 단열

층을 중간에 두고 외측은 단열보호 PC층, 내측은 내력벽 형태의 이중벽 형식이며 각 부재의 접합은 몰탈 또는 콘크리트를 충전하는 형태로 구성되어 있다. 슬래브 또한 접합부 부분만 충전하는 형식인 단면이 짝 찬 PC판으로 이루어져 있었다. 누수 측면에서는 우선 벽체 수직 접합부의 경우 몰탈 또는 콘크리트로 충전되는 접합부의 특성상 충전부가 잘 채워졌을 경우에는 초기 누수 등의 하자가 적으나 시간이 경과됨에 따라 부재간의 변형차이 등에 의한 영향으로 생기는 접합부의 균열 발생 등에 의하여 누수의 가능성이 존재한다. 수평 접합부의 경우에는 벽체의 연결시 외측 단열보호 PC층에 약 50mm 가량의 방수턱이 존재하여 누수의 유입 등을 방지하고 있다.



(a) 평면도



(b) 수평접합부

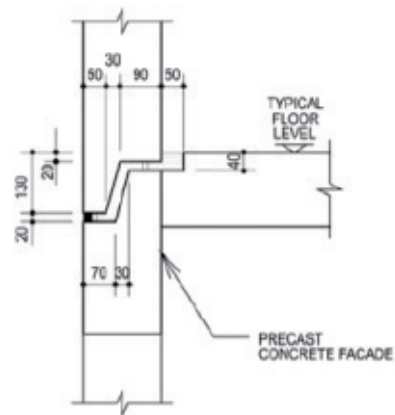
(c) 수직접합부

그림 1. 90년대 PC아파트 접합부 예시

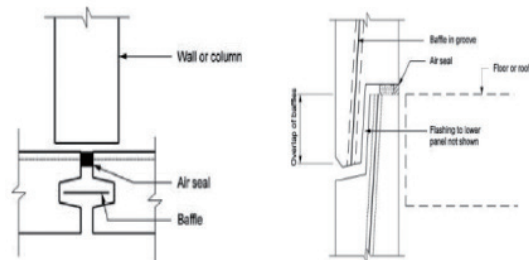
## 2.2 해외 PC아파트 접합부 사례

홍콩의 경우 국내와 달리 그림 2와 같이 조인트의 위치가 바닥레벨보다 하향으로 우수 등이 상부로 올라가기 어려운 구조이며 PC 부재의 균열이 발생하지 않는 이상 아래층으로 물이 흘러들어가기 어려운 상세를 가지고 있다. 또한 중단열층이 없어도 지수판을 활용하는 등 유도 배수가 가능한 상세로 구성되어 있었다.

북미 소재의 BSC(Building Science Corporation)는 2 단계의 유도배수가 가능한 조인트를 추천하고 있다. 이는 북미지역에서 50여년 동안 개선되어 현재 광범위하게 적용되고 있다. 배수구(Weep Hole)의 최소 직경은 배수



(a) 수평접합부



(b) 유도배수를 위한 지수판 적용 상세

그림 2. 홍콩의 PC아파트 접합부 상세

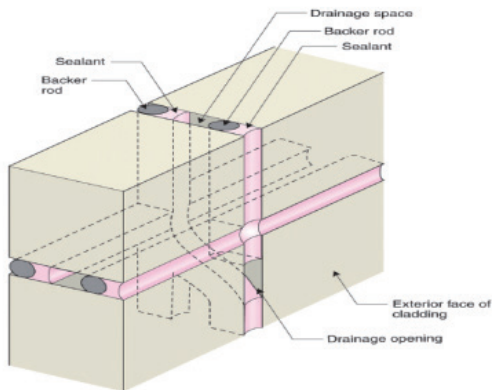


그림 3. 미국의 PC접합부 상세

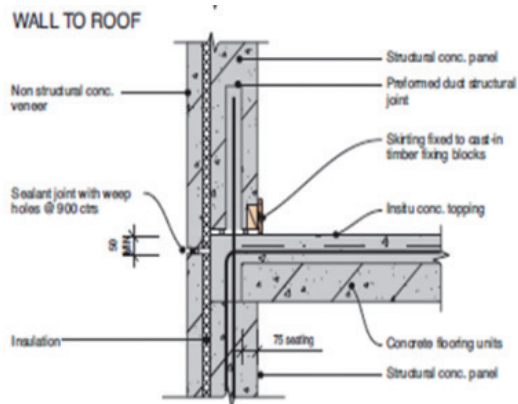


그림 4. 뉴질랜드의 PC접합부 상세

기능 수행을 위하여 12mm 정도가 필요하며 모든 수직 조인트에 적용을 요구하고 있다. 내외부 실란트에 경사를 두어 배수구를 형성하는 등의 상세를 그림 3과 같이 제안하고 있다. 뉴질랜드의 경우 유럽지역의 상세와 유사하게 중단열 방식의 구조를 취하고 있으며 외부 PC 패널 접합부는 층 바닥보다 50mm이상 낮도록 규정되어 있다.

### 3. 벽식 PC아파트 접합부 누수 가능성 평가

김포 지역에 시공된 벽식 PC아파트 기준층 구조평면도를 그림 5에 나타내었다. 소형평형대로 구성되어 있는 특

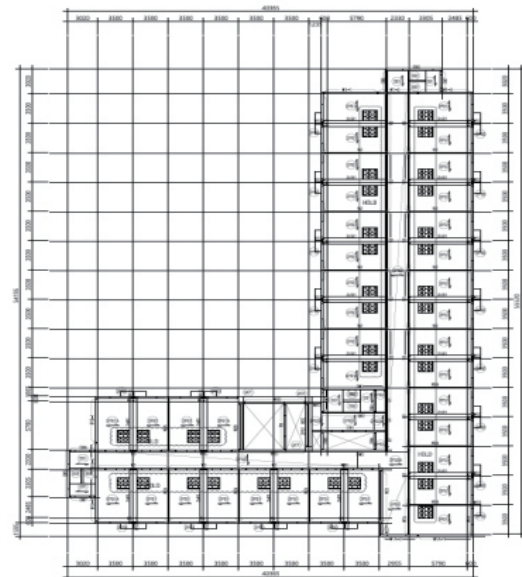
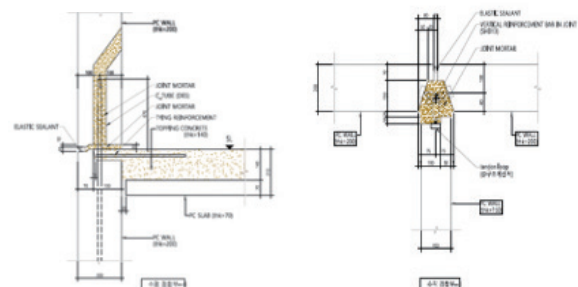


그림 5. 벽식 PC아파트 구조평면도(2019)

징이 있다. 2개 세대당 하나의 구조벽체로 구획되어 있으며 외벽은 과거 PC 상세와 달리 내단열 형태로 구성되어 있다.

접합부 상세도를 살펴보면 과거와 달리 내단열 방식을 택함에 따라 유도배수가 가능한 공간이 사라졌으며 제작의 편의성 때문인지 방수턱의 높이도 낮아졌으며 방수턱의 위치는 층 슬래브 높이와 유사하여 시공성은 개선되었으나 누수 발생 시 세대 내로 우수유입 측면에서는 불리한 측면이 있다. 한편 접합 철물을 이용하지 않고 충전



(a) 수평접합부

(b) 수직접합부

그림 6. 벽식 PC아파트 접합부

형 커플러를 적용하여 구조적 일체성은 더 높아진 것으로 생각된다.

현재 국내 대부분의 벽식 아파트는 RC구조로서 시공 방식은 층단위 타설로 이루어지고 있다. 이에 따라 그림 7과 같이 PC구조와 달리 수직 접합부는 존재하지 않으며 타설 위치에 따라 수평 접합부만 존재한다.

그림 8은 RC벽식 아파트의 수평 조인트에서의 균열에 의한 누수가능성 평가를 위한 시험체 종류를 나타낸 것이다. 현장 조건을 모사하기 위하여 실험체 1번은 방수키가 있으며 시공이 잘 된 경우를 나타낸 것이며, 2번은 방수키는 있으나 시공이 불량한 경우, 3번은 방수키가 있으나 수평 접합부를 중심으로 균열이 유도된 경우이며 마지막으로 4번은 방수키가 없는 조건이다. 누수시험 개념

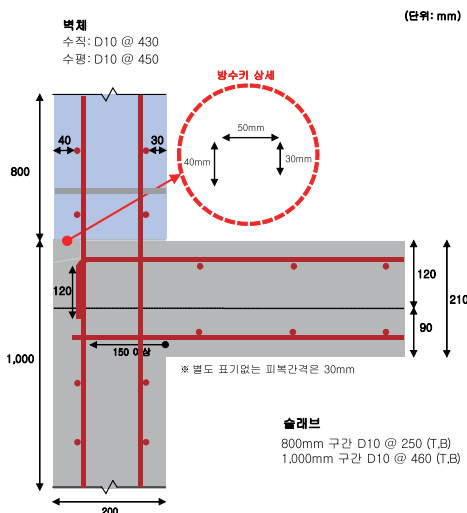


그림 7. 벽식 RC아파트 접합부

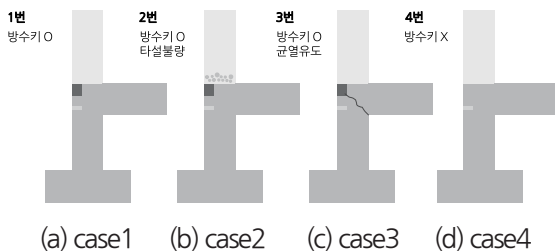


그림 8. 접합부 누수 검토조건

도를 그림 9에 나타내었으며 실내 측에 음압(600Pa)을 가할 수 있도록 감압장치를 적용하였으며 제작된 누수시험체는 그림 10에 나타내었다.

시험은 살수 테스트 후 담수 테스트를 진행하였으며 4개 시험체 모두 살수 테스트시 누수는 발생하지 않았다. 이는 우수 등에 의하여 접합부에 누수가 발생하는 경우는 장기간 균열의 진전, 바람 등에 의한 우수의 침투 등에 의한 것으로 판단되어 본 시험과 같이 약 1개월 가량의 살수 시험에서는 관찰이 어려웠다. 그림 11에 나타낸 바와 같이 담수 시험의 실시결과 4개 시험체 모두에서 누수가 발생하였으며 그림 10과 같이 방수키가 설치된 경우 및 타설이 밀실하게 이루어진 경우가 누수예방에 효과가 있음을 확인하였다.

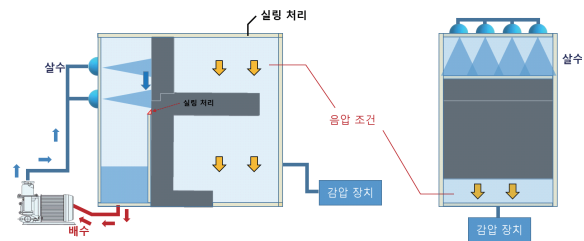


그림 9. 누수시험 개념도

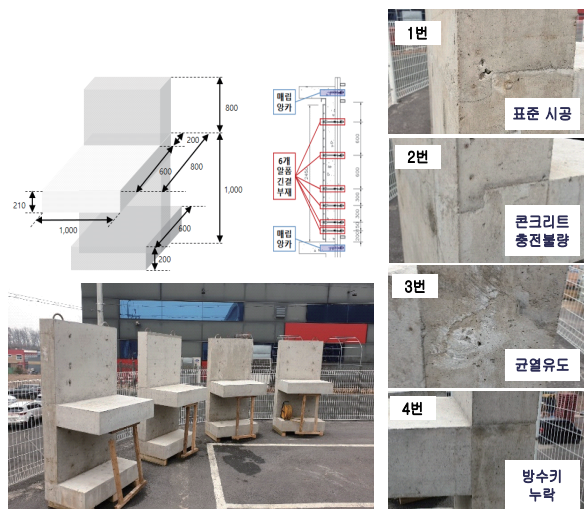


그림 10. 누수 시험체



그림 11. 시험체별 누수시점(담수시험)

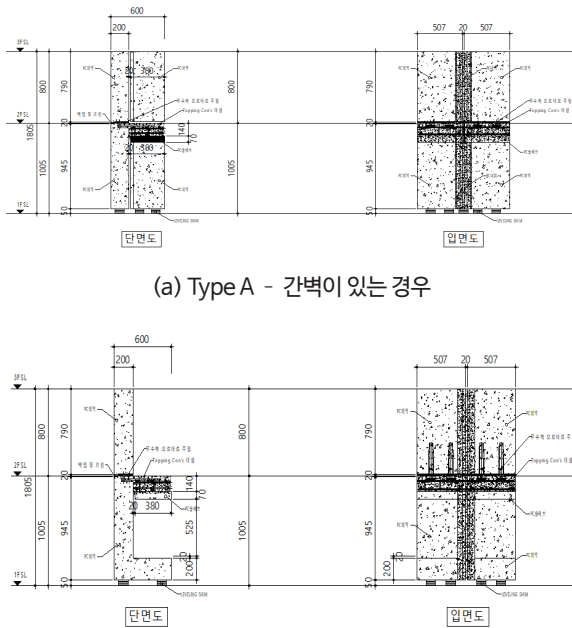


그림 12. PC아파트 시험체 접합부 상세

그림 12는 벽식 PC아파트의 수평/수직 조인트에서의 균열에 의한 누수가능성 평가를 위한 시험체 종류를 나



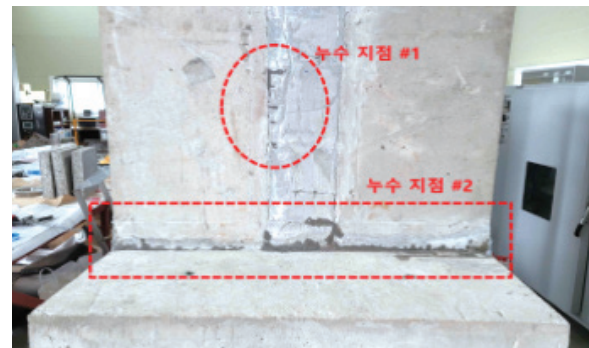
그림 13. PC벽체 담수시험



(a) Type A - 간벽이 있는 경우



(b) Type B - 간벽이 없는 경우



(c) Type B + 실란트 제거

그림 14. PC벽체 접합부 누수현황(담수시험)

타낸 것이다. 벽식 PC 시험체의 접합부 상세는 그림 6에 나타난 것과 같으며 외측 접합부는 실란트로 마감하였다. RC벽식 시험체와 마찬가지로 살수시험에서는 누수가 발생하지 않았으며 그림 13에 나타난 바와 같은 담수시험 결과 간벽이 있는 Type A의 경우 누수가 발생하지 않았으며 간벽이 없는 Type B는 누수가 발생하지 않았다(그림 14). 이는 간벽의 유무보다는 시공시 조인트 충전 정도의 영향으로 보인다. 추가로 누수가 발생하지 않은 그림 14 (b) 조건에서 실란트를 제거하고 담수시험을 실시한 그림 14 (c)에서는 누수가 발생함을 확인하였다. 간벽을 가져 콘크리트 충전이 상대적으로 용이하지 않은 부위에서 누수가 발생함을 통하여 충전정도에 따라 PC 접합부의 누수 제어가 일정 수준 가능하며 실란트 등도 성능을 유지하는 동안에는 누수제어 효과를 가짐을 확인하였다.

#### 4. PC아파트 접합부 방수재 성능 평가

이 장은 PC아파트 접합부에 적용되는 방수재 평가에 관한 것으로 시중에서 유통되는 제품 중 일부 제품들을 대상으로 현장 시공 후 발생 되는 물리적, 환경적 열화 인자들에 대한 성능확보 여부를 정량적으로 검토하고, 이를 바탕으로 PC 구조물 조인트부 수밀성 확보를 위한 적정 소재 선정에 참고 가능한 데이터 확보를 목적으로 검토되었다. 각 방수재의 실험계획은 그림 15와 같다.



그림 15. 방수재 실험계획

표 1. PC 접합부 방수재 소재별 물성치

| 구분  |      | 내용     |                                                                                |
|-----|------|--------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 실란트 | 제품 A | 비중     | 1.28±0.1                                                                       |
|     |      | 경도     | 25~35                                                                          |
|     |      | 최대인장응력 | 1.0~1.4 N/mm <sup>2</sup> (ASTM D412)                                          |
|     |      | 최대신율   | 400~500 % (ASTM D412)                                                          |
|     | 제품 B | 비중     | 1.35±0.1                                                                       |
|     |      | 경도     | 55~5                                                                           |
|     |      | 최대인장응력 | 3.0 N/mm <sup>2</sup> (ASTM D412)                                              |
|     |      | 최대신율   | 300% (ASTM D412)                                                               |
|     | 제품 C | 비중     | 1.47±0.1                                                                       |
|     |      | 경도     | 55                                                                             |
|     |      | 최대인장응력 | 2.7 N/mm <sup>2</sup> (ASTM D412)                                              |
|     |      | 최대신율   | 350% (ASTM D412)                                                               |
|     | 제품 D | 조성     | 2액형, 기계 시공                                                                     |
|     |      | 경도     | 55±10                                                                          |
|     |      | 최대인장응력 | 5.5±1 N/mm <sup>2</sup>                                                        |
|     |      | 최대신율   | 450±100 %                                                                      |
| 시트  | 제품 E | 비중     | 1.25                                                                           |
|     |      | 경도     | 24                                                                             |
|     |      | 최대인장응력 | ~0.35 N/mm <sup>2</sup> (23℃ 100% 인장)<br>~0.50 N/mm <sup>2</sup> (23℃ 100% 인장) |
|     |      | 최대신율   | 700 % (ISO 37)                                                                 |
|     | 제품 F | 비중     | 1.31±0.1                                                                       |
|     |      | 경도     | 19                                                                             |
|     |      | 최대인장응력 | 1.3 N/mm <sup>2</sup> (ASTM D412)                                              |
|     |      | 최대신율   | 800 % (ASTM D412)                                                              |
|     | 제품 G | 비중     | 미공개                                                                            |
|     |      | 경도     |                                                                                |
|     |      | 최대인장응력 |                                                                                |
|     |      | 최대신율   |                                                                                |
|     | 제품 H | 인장강도   | 2 N/mm <sup>2</sup>                                                            |
|     |      | 신장률    | 400 %                                                                          |
|     |      | 인열강도   | 100 N                                                                          |
|     |      | 사용가능온도 | -30 ~ 60 ℃                                                                     |

대상 소재의 시험편 제작은, KS F 4910 “건축용 실링재” 규격을 준용하여 제작하였으며, 모르타르 시험편의 크기는 75×30×10mm이며 시험면에 프라이머 적용 후 방수재를 부착하였다. 열화처리방식은 축진 노출 및 온냉 반복 등 2가지로 검토하였으며 각각 KS F 2274 “건축용 합성수지재의 축진 노출 시험방법”과 KS F 4716 “시멘트계 바탕바름재” 규격에 맞추어 실시되었다. 열화처리 후 내피로 성능시험을 실시하였으며 KS F 3211 “건설용 도막 방수재” 내피로 성능 시험방법을 준용하여 진행하였다.

먼저 축진 내후성 처리 후의 시험체 이상 유무결과는 표 2와 같다. 2종의 제품에서 변색이 발생했고, 1종의 제품에서 균열이 발생하였다. 다만, 변색이 발생된 2종의 시험체의 경우 제품에 이상이 없는 다른 시험체와 마찬가지로, 표면에 잔갈림이나, 균열 현상 등 내구성 저하 요인

으로 보일 만한 이상 현상은 육안으로 관찰되지 않았다.

표 3에 나타난 바와 같이 온냉 반복 처리 결과 1종의 제품에서 대상 소재의 수축 현상이 발생하였으나, 7종의 실란트 제품에서 별도의 이상 현상은 없는 것으로 확인되었다. 열화 처리 후 내피로 실험을 수행하였으며 먼저 열화 처리를 하지 않은 경우의 내피로 시험 결과 축진 내후성 시험시 균열이 발생하였던 제품 D에서 재료의 균열 및 시공면 탈락현상이 발생하였으나 나머지 제품들은 균열, 잔금 및 탈락이 관찰되지 않았다. 축진 노출 처리 후 내피로 시험 결과 제품 B, C, D에서 재료의 파단 및 바탕면과의 탈락 현상이 확인되었다.

추가로 냉온 반복 처리 후 내피로 시험을 실시하였으며 4종의 시험체(제품 A / 제품 C / 제품 D / 제품 G)에서 재

표 2. 축진 내후성 처리 후의 시험체 이상 유무 확인

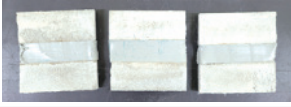
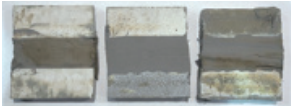
| 시험체  | 축진 내후성 처리                                                                           |       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|
|      | 열화처리 후 결과                                                                           |       |
| 제품 A |  | 변색발생  |
| 제품 D |  | 균열 발생 |
| 제품 E |  | 변색발생  |

표 3. 온냉 반복 처리 후의 시험체 이상 유무 확인

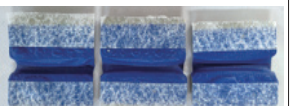
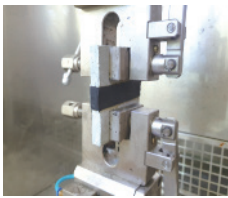
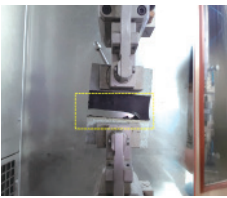
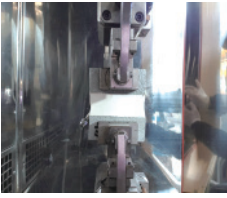
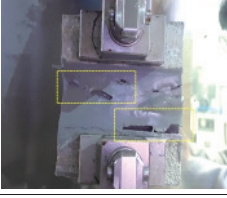
| 시험체  | 온냉 반복 처리                                                                            |          |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|      | 열화처리 후 결과                                                                           |          |
| 제품 H |  | 수축·변형 발생 |

표 4. 내피로 성능 실험 결과(축진 노출 처리)

| 시험체  | 시험결과                                                                                 |                                                                                       |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 제품 B |  |  |
|      | 시공면 탈락                                                                               |                                                                                       |
| 제품 C |  |  |
|      | 시공면 탈락                                                                               |                                                                                       |
| 제품 D |  |  |
|      | 균열 및 시공면 탈락                                                                          |                                                                                       |

료의 파단 및 바탕면과의 탈락 현상이 확인되었다. 해당 실험 후 각 처리 방법별 문제가 발생되지 않은 제품들에 대하여 투수시험을 진행하였으며 모든 제품들이 투수되지 않는 것으로 나타났다.

## 5. 방수성 외벽용 도료 성능 평가

2021년 3월 개정된 콘크리트구조 내구성 설계기준(KDS 14 20 40)은 비를 맞는 콘크리트 외벽의 경우 탄산화(EC)에 대한 노출 범주 및 등급을 EC4 기준으로 적용하여, 공동주택 외벽의 탄산화 기준을 강화하는 등 구조물 내구성 및 수명 향상에 대한 요구가 증가되고 있는 실정이다.

도막두께 100 $\mu$ m에서 거동대응성(평균 1.0mm)과 투수성능(0.1MPa, 1Hr 기준)을 확보한, 공동주택 외벽 하도용 아크릴 에멀전 도료에 대하여 촉진 탄산화 시험은 공인인증기관에서 KS F 2405:2010 기준에 따라서, 재령 28일 기준 24, 27, 30MPa 수준에서 8주까지 진행하였고, 촉진 내후성 시험은 KS M 6010:2014 에 따라서 진행하였다.

표 5와 그림 16에 촉진 탄산화 저항성능 평가의 시험 조건 및 결과를 제시하였으며 결과 8주차까지 측정에서, 방수성 도료를 적용한 시편(24, 27MPa)은 침투가 되지 않는 것으로 나타나, 대조군인 30MPa 시편(무처리 -6.8mm, 수성 2회-1.6mm) 대비 동등 이상의 우수한 성능을 나타내었다.

방수성 외벽도료의 촉진 내후성 평가는 300H(외부수성1급 기준), 1,000H(LH 실리코페인트 기준) 진행하였다. KS M 6010 : 2014에 따라 시험이 진행되었으며 결과는 표 6과 같다. 평가 결과 방수성 외벽도료는 실리코페인트 수준의 내후성능을 보유하고 있음을 확인할 수 있었다.

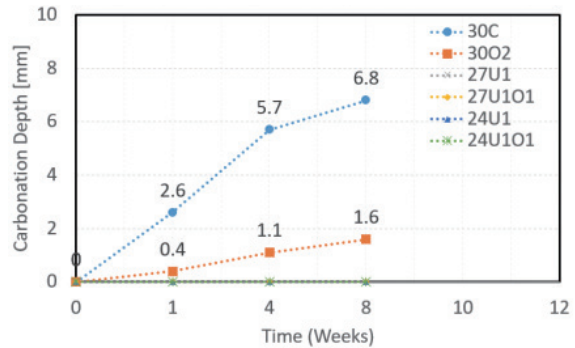


그림 16. 촉진 탄산화 시험 결과

표 5. 도료의 촉진 탄산화 시험 적용조건

| 구분    | 적용조건                                                                                                  |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 30MPa | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 무처리 (30C)</li> <li>• 수성도료 2회 (3002)</li> </ul>               |
| 27MPa | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 방수도료 1회 (27U1)</li> <li>• 방수도료 1회+수성도료 1회(27U101)</li> </ul> |
| 24MPa | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 방수도료 1회 (24U1)</li> <li>• 방수도료 1회+수성도료 1회(24U101)</li> </ul> |

표 6. 촉진 내후성 시험 결과

| 시험 · 검사종목           |      | 시험 · 검사결과 |
|---------------------|------|-----------|
| Type                | dB   |           |
| 촉진내후성<br>(1,000 hr) | 외관상태 | 이상 없음     |
|                     | 황변도  | 0.02      |

## 6. 맺음말

본 기사에서는 과거 PC공동주택의 사례를 바탕으로 누수 관련 접합부 상세를 검토하고 접합부의 누수와 관련 있는 부분에 대하여 다음과 같은 내용을 다루었다.

첫째, 최근 시공된 PC 벽식아파트의 상세를 참고하여 RC 및 PC아파트의 접합부를 실물모사하여 제작 후 투수 및 담수시험을 진행하였으며 담수 시 시공조건 등에 따라 누수가 발생함을 확인하였다.

둘째, 벽식아파트와 달리 라멘조 아파트의 경우 접합부의 유격이 존재하며 이는 실란트 등으로 1차적인 방수 역할을 수행토록 하고 있다. 국내에 유통되는 방수재료 8종에 대하여 촉진내후성 시험을 진행 후 내구성 시험을 수행하여 3종 정도만이 내구성 및 투수성능 확보가 가능한 것으로 평가되었다. 차후 실증화 과정에서 해당 결과를 반영할 계획이다.

셋째, 최근 공동주택의 내구성 측면에서 콘크리트 강도를 강화하고 있는 측면이 있다. 대안으로서 방수성 외벽도료에 대한 평가를 수행하였으며 그 결과 실리콘페인트 수준의 내후성능을 보유하고 있음을 확인하였다.

현재 지상부 골조 뿐만 아니라 지하 주차장 부분 등 누수하자가 발생할 수 있는 부위에 대해서도 적절한 방수 또는 차수 성능 확보를 위한 연구를 진행하고 있으며 향후 확대가 예상되는 PC시장에 대응하여 품질 확보에 기여할 수 있기를 기대한다.

**김태호 부장**은 성균관대 건축공학과에서 2006년 건축구조물 바닥판의 동적해석과 진동저감을 주제로 박사학위를 취득한 후, 디엘이앤씨(주)에 2007년 입사하여 현재 주택기술개발원 건축기술지원팀에서 재직하고 있다. 진동 예측, 해석 및 평가, PC 및 합성구조 관련 기술개발 등의 업무를 수행하고 있다.

e-mail : tahz91@dlenc.co.kr

**고효진 차장**은 경희대 건축공학과에서 2014년 CFT 기둥의 실험 및 해석을 주제로 석사학위를 취득한 후, 아주산업(주) 기술연구소에서 2014년부터 2020년까지 근무하고, 2020년 디엘이앤씨(주) 입사하여 현재 주택기술개발원 건축기술지원팀에서 재직하고 있다. 다양한 분야의 건축재료 관련 기술개발 및 지원 업무를 수행하고 있다.

e-mail : hyojinko@dlenc.co.kr

**김용로 부장**은 충남대 건축공학과에서 2005년 염해 및 중성화에 의해 성능저하된 철근콘크리트구조물 보수공법의 성능평가 기법을 주제로 박사학위를 취득한 후, 2005년 디엘이앤씨(주) 입사하여 현재 주택기술개발원 건축기술지원팀에서 재직하고 있다. 다양한 분야의 건축재료 관련 기술개발 및 지원 업무를 수행하고 있다.

e-mail : kyr8447@dlenc.co.kr