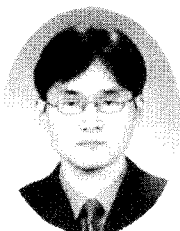


## 지하주차장의 수축대 시공사례

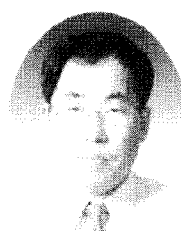
- An Introduction to the Shrinkage Strip for the Crack Control in the Underground Parking Structure. -



김복배\*



김욱중\*\*



이도범\*\*\*



이운세\*\*\*\*

### 1. 개 요

#### 1.1 수축대 도입 배경

일반적으로 공동주택 지하주차장과 같이 구조물이 대형화되거나 복잡할 경우 구조물의 응력취약 부위에서 균열, 누수 등의 문제가 발생할 확률이 크다. 이에 대한 대책으로 설계자들은 신축줄눈을 선호하고 있으나 신축줄눈은 시공상의 어려움과 사용 중 잦은 하자 발생이라는 문제점을 안고 있다. 이 때문에 근래에 들어 대형 건물을 한 단위로 처리하고 철근으로 보강하려는 경향이 있으나 구속도 차이에 따라 균열, 누수 등의 문제가 여전히 발생하고 있다. 이를 해결하기 위하여 수축대를 설치하여 일정 요구량의 초기 수축량을 수축대에서 흡수하고 이후 수축대 부위에 콘크리트를 메워 일체화시킴으로써 초기 수축에 의한 균열을 상당부분 방지할 수 있다.

본고에서는 수축대의 시공 방법 및 현장 적용 사례를 소개하고 수축대 시공으로

인한 균열 저감 효과에 대해 살펴보고자 한다.

#### 1.2 건조수축으로 인한 균열 양상

##### 1.2.1 슬래브와 벽체의 부동수축에 의한 균열

건조수축은 일반적으로 상대 습도와 부재의 두께 및 부재가 외기와 면하고 있는 정도 등에 따라 발생량에 차이를 보인다.

벽체와 슬래브의 두께에 차이가 있고 일반적으로 지하 주차장의 외부 옹벽은 흙매우기로 인해 한 면만 외기에 면하고 있어 두 면이 외기에 면하고 있는 슬래브에 비해 건조수축량이 적다. 이러한 이유로 슬래브에 추가적인 인장응력이 발생하여 슬래브와 외부 옹벽이 접하는 부위의 슬래브 쪽에 외부 옹벽과 수직인 균열이 발생하게 된다.<그림 1>

이러한 균열을 제어하기 위해서는 타설 후 양생을 철저히 하고 외부 옹벽 부근의 슬래브에 철근 보강이 필요하다. 또한 공

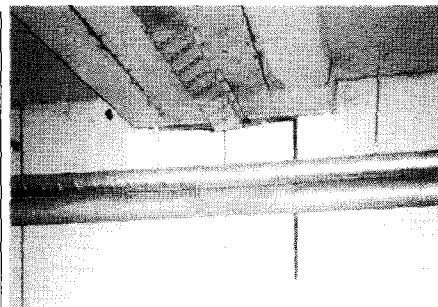


사진 1. 지하주차장의 신축줄눈 부위 하자 사례

동주택 지하주차장 지붕(roof)층 슬래브의 경우 복토 시기를 앞당겨 외부 옹벽과 외기 조건을 비슷하게 유지하여 건조수축 발생량의 차이를 줄임으로써 균열을 저감시킬 수 있다.

그러나 이러한 경우 온도변화에 대해 벽체와 슬래브가 같은 비율로 변형을 일으키기 때문에 온도변형에 대한 별도의 고려는 필요 없을 것으로 사료된다.

##### 1.2.2 슬래브 단부의 강한 구속에 의한 균열

슬래브의 양 단부가 코어 벽체와 같이 강성이 강한 구조물에 의해 구속되어 있을 경우 슬래브 수축시 슬래브의 수축이 양 단부에 의해 제한되므로 슬래브에 인장응력이 발생하여 슬래브 중앙에 균열이 발생

\* 정희원, 대림산업(주) 연구개발부 연구원  
 \*\* 정희원, 대림산업(주) 연구개발부 선임연구원  
 \*\*\* 정희원, 대림산업(주) 연구개발부 부장  
 \*\*\*\* 정희원, 대림산업(주) 한국타이어아파트 현장 소장

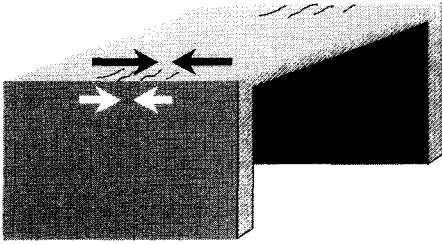


그림 1. 부동수축에 의한 슬래브 균열

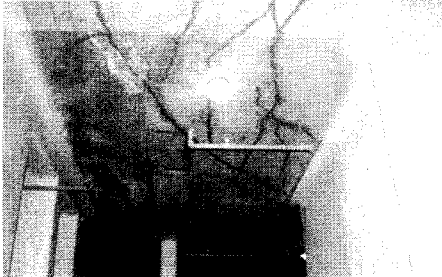


사진 2. 건조수축으로 인한 슬래브 균열

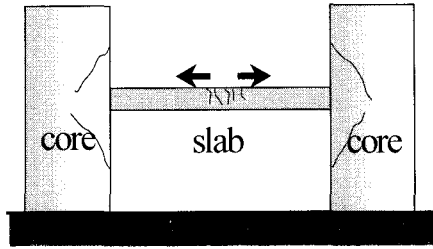


그림 2. 강한 구속에 의한 슬래브 균열

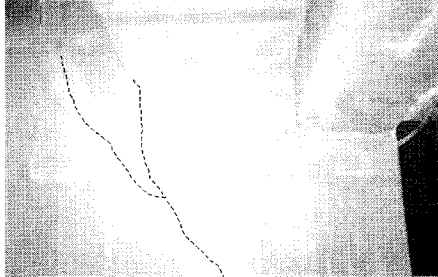


사진 3. 코어 벽체 경사 균열

하며 슬래브가 연결된 코어 벽체에도 슬래브의 수축으로 인해 45° 경사 균열이 발생한다.(그림 2)

이러한 균열을 방지하기 위해서는 슬래브의 수축이 응력 유발 없이 발생하도록 건조수축 발생 시기에 줄눈(joint) 등의 설치로 구조물의 구속을 적절하게 풀어주어야 한다. 또한 이러한 경우 건조수축과 온도변형을 동시에 고려해야 하는데 건조수축의 경우 일정기간 동안의 변형만을 고려하면 되지만 온도변형의 경우 주기적인 변형을 일으키므로 줄눈 설치 및 존치 시기에 대한 검토가 매우 중요하다.

### 1.3 건조수축과 관련된 줄눈의 종류

철근 콘크리트 구조물에서 사용되는 줄눈의 종류는 매우 다양하며 각각의 용도에 맞게 적절하게 사용하는 것이 매우 중요하다. 본절에서는 이들 줄눈 중 건조수축과 관련된 것들을 정리하였다.

#### 1.3.1 시공줄눈(construction joint)

시공상 콘크리트 작업 관계로 경화된 콘크리트에 새로운 콘크리트를 이어붙기 때문에 생기는 줄눈을 말한다. 시공줄눈은 될 수 있는 대로 전단력이 작은 위치에 설치하고, 부재의 압축력이 작용하는 방향과 직각으로 설치하는 것이 원칙이다. 부득이

전단이 큰 위치에 시공이음을 설치할 경우에는 시공이음에 장부 또는 홈 등의 전단키(shear key)를 만들거나 적절한 강재(shear connector)를 배치하여 보강해야 한다. 시공줄눈부를 철근으로 보강하는 경우에 정착깊이는 철근 지름의 20배 이상으로 하고, 원형철근의 경우에는 갈고리를 붙여야 한다. 시공줄눈을 계획할 때엔 온도변화, 건조수축 등에 의한 균열의 발생에 대해서도 고려해야 한다. 시공줄눈부에 다음 콘크리트를 치기 전에 고압분사(water jet)로 청소하고 물을 충분히 흡수시킨 후 시멘트 풀, 부배합의 모르타르, 양질의 접착제 등을 바른 다음 이어치기를 하여야 한다.

#### 1.3.2 신축줄눈(expansion joint)

온도변화, 습윤, 건조에 의하여 신축되는 부재 길이의 변화가 구속될 때 균열이 발생한다. 신축 줄눈은 이러한 균열을 방지하고 부재의 신축이 자유롭게 되도록 하기 위한 줄눈을 말한다. 즉 응력에 대응하기 위해 구조체를 미리 끊어주어 그 부분의 변형을 흡수하기 위한 줄눈으로 벽체, 기둥, 장비 기초, 기초 또는 배수시설, 맨홀, 계단 등의 접합부에 설치해야 한다. 신축줄눈에는 구조물이 서로 접하는 양쪽부분을 절연시켜야 하며 필요에 따라 이음재, 이수관 등을 설치해야 하는 경우도 있다.

#### 1.3.3 조절줄눈(control joint)

콘크리트의 수축이나 온도변화에 의해 발생하는 균열을 방지할 목적으로 콘크리트 타설 전 미리 정해진 위치에 균열을 집중시키기 위해 소정의 간격으로 콘크리트 구조체에 단면 결손부를 만들고 균열을 인위적으로 발생하도록 한 것이다. 콘크리트에서의 균열 발생을 저감하기 위하여 여러 가지 조치 이후에도 발생하는 최소한의 균열은 일정한 지점으로 유도하여 보수 가능하도록 하는 것이 현실적으로 바람직하다. 이러한 줄눈은 설계 하중의 재하보다는 건조수축 및 수화열에 의한 설계적 요인, 줄눈 및 배력철근에 의한 설계적 요인, 콘크리트 타설·다짐·양생 등의 시공상 요인 등에 의한 균열 발생을 제어하는 줄눈으로 설치시 구조물의 강도 및 기능을 해치지 않도록 그 구조 및 위치를 정해야 한다.

#### 1.3.4 수축대(shrinkage strip)

일반적으로 장스팬 철근 콘크리트조 건물에 설치하는 신축줄눈 대신에 수축대를 설치하여 건조수축에 의한 균열을 방지한다. 구조물을 수축대라 부르는 때 형상의 부분만을 남겨 놓고 콘크리트를 타설하여 초기수축을 기다렸다가 그 부분에 콘크리트를 타설하여 일체화시키는 것을 말한다.

## 2. 건조수축에 대한 이론적인 접근

수축대 적용을 위한 시험 시공은 대림산업(주)에서 시공하고 있는 구로구 신도림동 소재의 H 아파트 현장과 동대문구 이문 3동 소재의 I 아파트 현장을 대상으로 하였다.

건조수축 발생량을 예상하기 위해 ACI-209와 CEB-FIP의 제안식을 적용하였다.

#### ① ACI-209의 제안식

$$(\epsilon_{sh})_t = \frac{t}{35+t} (\epsilon_{sh})_u$$

$$(\epsilon_{sh})_u = 780 \gamma_{sh} \times 10^{-6}$$

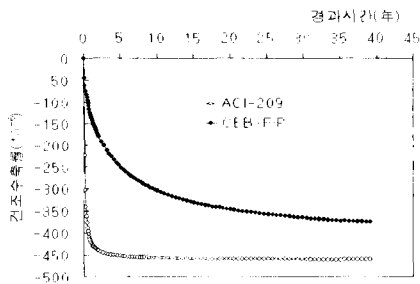


그림 3. 건조수축 발생량의 이론치 비교(H 현장)

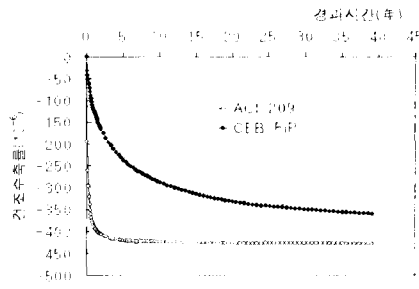


그림 4. 건조수축 발생량의 이론치 비교(I 현장)

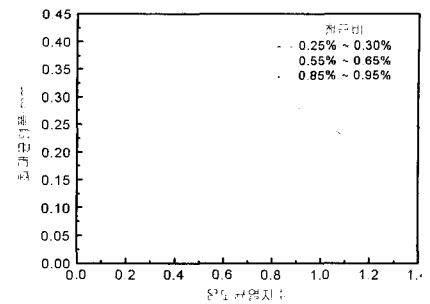


그림 5. 온도균열 지수에 따른 최대 균열폭

② CEB-FIP의 제안식

$$\begin{aligned} \epsilon_{cs}(t, t_s) &= \epsilon_{cs0} \cdot \beta_s(t - t_s) \\ &= \epsilon_{cs0} \cdot \sqrt{\frac{t - t_s}{0.035(2A_c/u)^2 + t - t_s}} \end{aligned}$$

<그림 3>과 <그림 4>는 건조수축 제안식에 각 현장의 설계안 및 콘크리트 배합설계를 적용한 결과이다.

적용 결과 ACI의 제안식은 콘크리트 타설 수개월 이내에 대부분의 건조수축이 발생하는 것으로 예상하는 반면 CEB의 제안식은 건조수축이 매우 느린 속도로 발생한다고 보고 있다. 계산된 중국 건조수축량은 두 식 모두 비슷한 값을 보이고 있으나 구조물의 수명을 2 ~ 30년으로 가정한다면 ACI의 제안식에 비해 CEB의 제안식이 중국 건조수축량에 있어 약 25% 정도 적은 것을 알 수 있다.

또한 ACI-209의 제안식에서 예상한 건조수축 발생량과 최근 3년 간 서울지역 월 평균 기온 및 복도의 영향을 통한 온도변형률을 고려하여 슬래브 변형률을 산출하였다. 슬래브 변형률은 수축대 설치와 미설치, 설치시 수축대 존치 기간에 따라 산출하였으며 이러한 결과를 슬래브의 균열 평가를 위해 균열 발생에 대한 안정성의 척도인 온도균열지수를 적용하였다. 온도균열지수로부터 <그림 5>와 같이 구조물의 철근비에 따른 최대 균열폭을 예상할 수 있다. 이러한 검토 결과 H 현장은 5월에 타설하므로 이후 온도 하강에 따른 슬

래브 수축량이 비교적 적은 데 반해 I 현장의 경우 기온이 높은 7월에 타설하기 때문에 온도 하강에 따른 슬래브 수축량이 매우 큰 것으로 나타났다. 그러므로 수축대 부위 충전은 기온이 낮아 슬래브의 추가적인 수축이 적게 발생하는 시기에 시행하는 것이 적절하다.

3. 수축대의 적용

3.1 수축대 상세

전술한 바와 같이 수축대를 설치하여 초기 건조수축에 의한 유해한 균열을 방지할 수 있다. 그러나 지붕층 슬래브는 건조수축 외에 온도변화에 따른 변형량이 크므로 건조수축대 외에 팽창 줄눈이나 슬라이딩 줄눈이 필요하다.

Mark Fintel에 의하면 수축대 간의 간격은 30 ~ 45m 마다 1개 소가 권장되나 강성이 큰 수직 부재 간격보다는 좁아야 한다. 또한 수축대의 폭은 0.6 ~ 0.9m 정도로 하고 수축대 부분은 총 건조수축의 40% 정도 수축이 발생하는 시기인 조인트 주위 타설 후 2 ~ 4주 후에 타설하는 것을 권장하고 있다.

그러나 이와 같은

수축대 상세는 국내 실정에 맞추어 검증된 바 없고 평면 형태나 타설 조건의 변화 등에 대한 구체적 언급이 부족해 현장 적용이 어려운 현실이다. 또한 수축대의 설치가 건조수축 균열 저감에 어느 정도의 효과를 나타내는지에 대한 근거가 없어 수축대 설치와 균열 부분 보수에 대한 경제성 평가 등 선택의 기준이 모호하므로 수축대 효과와 상세에 대한 현실적인 연구가 필요하다.

3.2 수축대 시공 방법

우선 수축대 설치로 인한 슬래브의 휨성능이나 전단성능의 저하가 발생하지 않도록 주의해야 한다. 즉 수축대 슬래브 부분과 기존 슬래브 부분에 조인트가 발생하므로

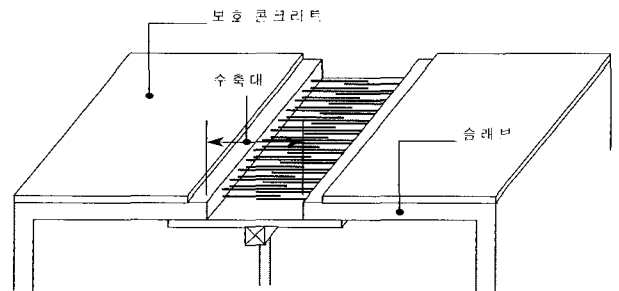


그림 6. 수축대 설치 모습

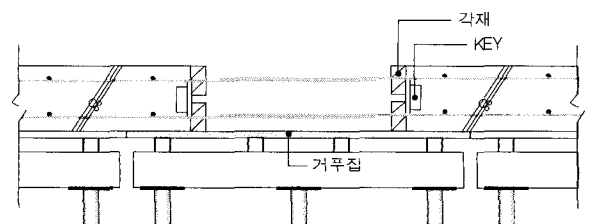


그림 7. 수축대 상세 단면도

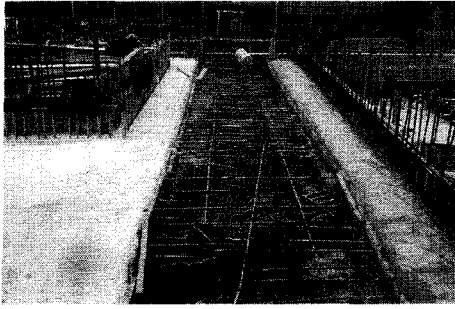


사진 4. 수축대 사진

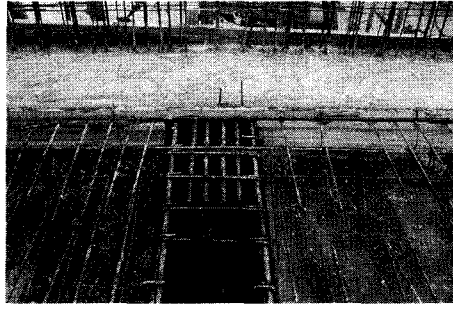


사진 5. 수축대 마무리 부분 전단키 사진

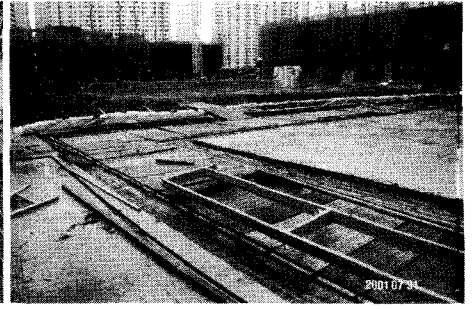


사진 6. 안전 발판 및 복토 사진

전단 성능 강화를 위해 이어치는 마무리 부분에 전단키를 설치해야 하며 수축대 사이의 철근에 의한 콘크리트의 구속이 양쪽의 독립적인 건조수축 발생을 저해할 수 있으므로 이를 최소화하기 위해 수축대 부분에서 철근을 겹침 이음 하거나 구부려야 한다(그림 7, 사진 5). 그러므로 철근을 겹침 이음 할 경우 수축대의 폭은 겹침 이음 길이 이상이 되도록 하여야 한다.

보의 경우 기타설 콘크리트와 후타설 콘크리트 간의 일체성을 확보하기 위해서 마감면에 리브 래스(rib lath)를 설치하는 것이 바람직하다. 또한 기존 슬래브의 전단키 주위 및 보의 리브 래스 주위를 쪼아내기(chipping)하여 신·구 콘크리트의 접착력을 증대시키고 필요하다면 에폭시 접착으로 부착력을 강화시킬 수 있다.

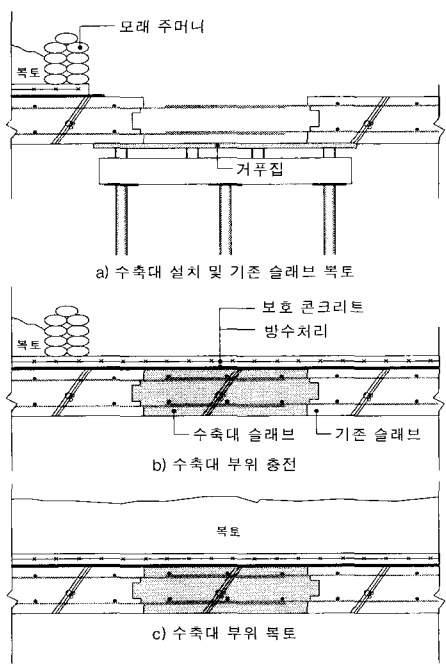


그림 8. 수축대 설치 및 복토 과정

수축대 부위 철근은 수축대 존치 기간 중 외기에 노출되기 때문에 시멘트 풀을 도포하여 부식을 방지해야 하며 수축대의 설치가 주차장 전 지역에 형성되므로 수축대 부분 철근 보호 및 작업자의 통로를 위해(사진 6)과 같이 안전 발판을 설치하여 안전한 작업 통로를 마련해야 한다.

지하주차장 지붕층 슬래브의 타설 구간의 경우 미리 복토를 시행하여 외부 온도 변화에 의한 슬래브 온도변형을 감소시키는 것이 바람직하다.

수축대 존치 기간 중 수축대 부분을 제외한 기존 슬래브 부분에 방수작업을 시행하고 보호 콘크리트를 타설한 후 보호 콘크리트가 어느 정도 양생이 되면 수축대 부분에 토사의 유입을 방지하기 위해 모래 주머니를 만들어 방호벽을 형성하고 기존 슬래브 부분만을 복토한다.(그림 8. a)

슬래브 건조수축이 어느 정도 발생한 후 수축대 부분 슬래브를 타설하고 콘크리트 양생 후 즉시 방수작업을 시행한 후 보호 콘크리트를 타설한다(그림 8. b). 보호 콘크리트 양생 후 수축대 부분도 복토 작업을 시행하여 작업을 마무리한다.(그림 8. c)

## 4. 수축대 적용 결과

### 4.1 현장 계측 및 결과 분석

현장 계측은 H 아파트 현장의 경우 지상층 슬래브에서 타설 시점인 2001년 4월 20일부터 수축대 부위 충전 시점인 9월 3일까지 136일간 수행하였으며 I 아파트 현장의 경우 지상층 슬래브에서 타설 시점인 2001년 7월 7일부터 수축대 부위 충전 시점인 10월 9일까지 94일간 수행하였다.

슬래브의 온도변형을 알아보기 위해 슬래브 중앙부에 열전대(thermocouple)를 설치하였으며 수축대에 변형을 게이지(strain gauge)와 LVDT를 설치하여 수축대의 폭 변화를 측정하였다. 슬래브 중앙부에는 무응력계와 응력계를 설치하여 슬래브의 변형률을 측정하였다.

계측 결과 실제 슬래브의 변형이 온도 변형보다는 건조수축 변형에 더 큰 영향을 받고 있는 것으로 나타났는데 이는 초기 건조수축과 상시 온도변형을 제어할 수 있는 신축줄눈과 초기 건조수축과 초기 온도

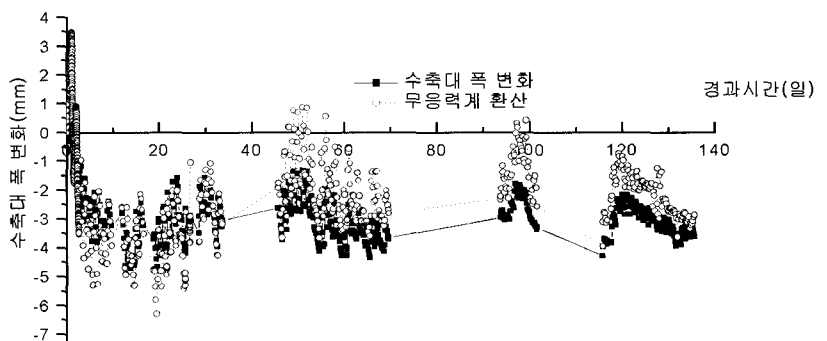


그림 9. 수축대 폭 변화(H 현장)

변형을 제어할 수 있는 수축대를 비교할 때 슬래브의 초기 균열 제어라는 측면에서는 신축줄눈이나 수축대가 동일한 효과를 발휘할 수 있음을 확인하였다. 따라서 수축대의 설치가 초기 건조수축에 대하여 효과적으로 신축줄눈의 기능을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

건조수축 계측값들은 타설 3개월 이후 어느 정도 수렴하는 모습을 보여 슬래브 타설 이후 약 3개월 이상은 수축대를 존치해야 건조수축으로 인한 슬래브 균열을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4.2 균열 발생 양상 분석 및 적용 효과

H 아파트 현장의 경우 지하주차장 지붕층 슬래브의 균열을 조사한 결과 <그림 10>의 각 동 코어 사이에 수축대를 설치하지 않은 B-ZONE에서 가장 많은 균열이 발생하였는데 이는 양 단부의 강한 구속으로 인해 발생한 것으로 사료된다. 또한 시공 편의상 아파트 코어로부터 상대적으로 거리가 먼 곳에 수축대를 설치한 A-ZONE 102동, 101동 부근, D-ZONE 107동 부근, F-ZONE 109동 부근에도 균열이 발생하였다. 이것은 코어 뿐 아니라 다른 수직 부재들의 구속이 누적되어 슬래브의 변형에 영향을 미치고 있음을 보여주는데 수축대가 효과를 나타낼 수 있는 유효거리 이내에 수축대를 설치해야 함을 알 수 있다.

그러나 별도의 조인트가 없는 E-ZONE의 경우 슬래브 개구부 부근에만 주로 균열이 발생하였는데 이는 부분적으로 개구부가 수축대의 역할을 하여 슬래브 변형이 개구부 주위로만 집중된 것으로 보인다.

슬래브 양 단부가 코어로 구속된 경우 슬래브 수축으로 인한 코어 벽체에 경사 균열이 발생하는 경우가 많은데 수축대 설치로 코어 벽체의 경사 균열은 발생하지 않았다.

수축대와 관계없이 외부 용벽 주위의 슬래브에 벽면과 수직방향의 균열이 발생하였는데 이는 벽체와 슬래브의 건조수축률의 차이로 인해 슬래브에 생긴 인장응력 때문으로 사료된다. 이러한 균열은 지상층

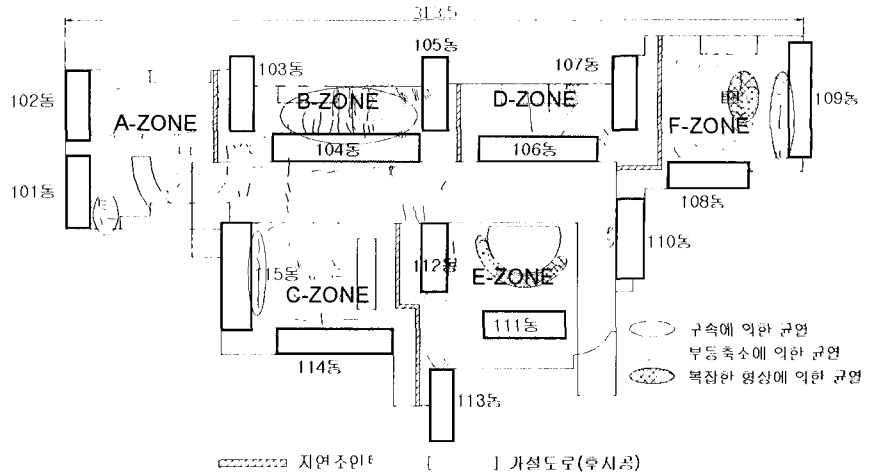


그림 10. 슬래브 균열 양상(H 현장)

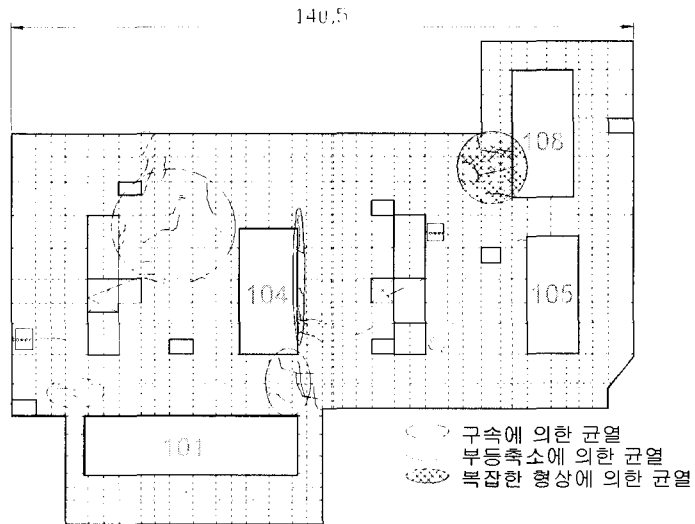


그림 11. B1 슬래브 균열(H 현장)

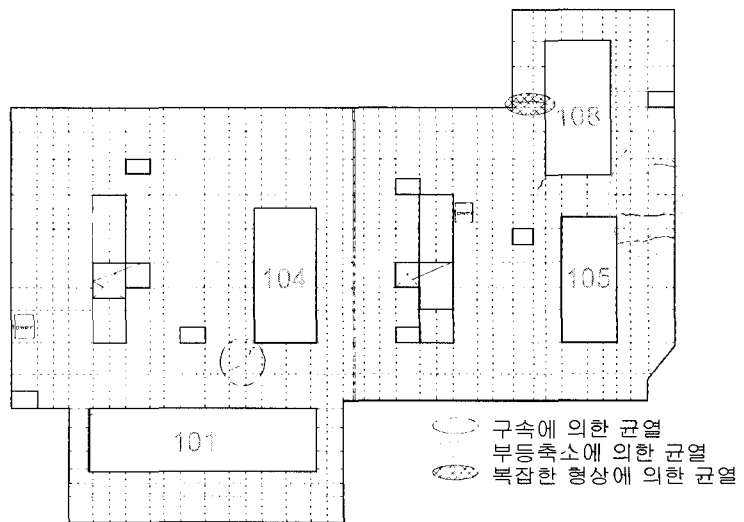


그림 12. 지붕층 균열(H 현장)

슬래브의 복토 시기를 앞당겨 외부 용벽과 유사한 환경을 만들어주거나 철근의 추가 배근, 재료의 품질 개선, 철저한 콘크리트 양생 관리 등의 방지 대책이 별도로 필요하다.

I 아파트 현장의 경우 B1층 슬래브는 수축대나 별도의 줄눈 없이 시공하였으며 지붕층 슬래브에는 슬래브 가운데에 수축대를 두었다.

<그림 11>과 <그림 12>에서 볼 수 있듯이 수축대가 없는 B1층 슬래브의 경우 상대적으로 코어 등의 수직부재에 많은 구속을 받고 있는 104동 주위에 균열이 많이 발생하였으며 슬래브가 'L'자로 꺾여 응력이 집중되는 108동 주위에도 균열이 많이 발생하는 등 전반적으로 아파트 코어, 램프 등 수직부재의 구속이 강한 곳 주변에 균열이 많이 발생하였다.

그러나 수축대를 설치한 지붕층 슬래브에는 105동 주변 외부 용벽 쪽의 부동축소로 인한 균열과 101동과 104동 사이와 같이 구속이 강하나 수축대를 설치하지 않은 부분에 발생한 균열 외에는 별다른 균열이 발생하지 않아 수축대의 설치가 균열 저감에 매우 효과적이었음을 보여주고 있다.

또한 <그림 10>과 <그림 11>를 비교하면 <그림 10>의 H 현상이 보다 많은 균열이 발생하였음을 알 수 있는데 이는 H 현상이 구조물 전체의 길이가 길고 평면배치 형상이 매우 복잡하여 수축대의 설치 위치 및 개수 산정에 어려움이 있을 뿐 아니라 현장 관리상 필요한 모든 곳에 수축대를 설치하기가 곤란하였기 때문이다. 따라서 가능하면 평면배치 계획시 이를 고려하는 것이 바람직하다고 생각된다. 그러나 이를 고려하기 어려운 배치 평면일 경우 현장의 상황을 고려하여 수축대와 시공줄눈을 병행하여 검토하여 적절히 계획하는 것이 필요하다.

5. 결론

지금까지 두 곳의 공동주택 지하주차장에 수축대를 설치하고 계측 및 조사를 수행하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

### 5. 결론

(1) 실제 구조물의 계측과 균열 발생 조사 결과 수축대는 균열 방지에 효과적임을 알 수 있었다.

(2) 수축대 설치시 평면 형상 및 수직부재의 배치, 개구부의 배치 등을 고려해야 하며, 수축대가 효과를 발휘할 수 있는 유효거리를 고려해야 한다. 또한 부동수축으로 인한 균열은 수축대 설치와 더불어 재

료, 시공에 대한 대책이 병행되어야 한다.

(3) 외부 기온이 낮아 구조물이 수축한 상태에 있을 때 수축대 부위를 충전하는 것이 균열 방지에 유리하다.

(4) 수축대 폭은 철근의 이음 길이를 고려하여 결정해야 하며 수축대 시공시 수축대 부위의 구조적 보강, 누수 방지 작업 안전 통로 형성 등의 작업이 필요하다. □

### 참고문헌

1. Mark Fintel. "Handbook of Concrete Engineering", Reinhold, 1985
2. James G. Macgregor. "Reinforced Concrete, Third edition", Prentice Hall, 1997
3. ACI Committee 209. "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures", ACI, 2000
4. ACI Committee 302. "Guide for Concrete Floor and Slab Construction", ACI, 2000
5. CEB-FIP. "Model Code 1990", Thomas Telford, 1990
6. 건설교통부. 「콘크리트 표준시방서」, 1999
7. 건설교통부. 「콘크리트 구조설계기준」, 1999



## 기온과 콘크리트

- 저 자 : 한민철 · 한천구 공저
- 출판일 : 2002년 2월 5일
- 판 형 : A5
- ISBN : 89-7086-435-0

- 출판사 : 도서출판 기문당
- 페이지 : 423쪽
- 정 가 : 15,000원

### ◆ 소개

이 책은 우리나라의 기온 변화와 관련한 기후의 특색을 고찰하고, 국내 실정 및 규정에 적합한 한중 콘크리트, 한랭기 콘크리트 및 서중 콘크리트에 대하여 배합 설계 및 시공품질 관리 등 제반사항을 집중적으로 고찰함으로써 레미콘·건축·토목공사의 품질관리 담당자들에게 기온에 대응하는 콘크리트의 제반 기술을 정리하여 참고자료로 이용할 수 있도록 하였다.