

공동주택 바닥미장 균열차단막의 메커니즘 분석

An Analysis of the Mechanism of Crack Stop-bar for Floor Plastering of Apartment Buildings

송 용 식¹

이 동 훈²

이 성 호²

김 선 국^{2*}

Song, Yong-Sik¹ Lee, Dong-Hoon² Lee, Sung-Ho² Kim, Sun-Kuk^{2*}

U-top Engineering Corp., 102-11 Gyo-ri Hwasun-eup, Hwasun-gun Jeollanam-do 519-894, Republic of Korea¹

Department of Architectural Engineering, KyungHee University, 1 Seocheon-dong, giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do 446-701, Republic of Korea²

Abstract

The recent expansion in the number of housing construction projects has been accompanied by substantial improvements in construction quality, which can be attributed to the development of new construction technologies and materials. In apartment complex construction projects, numerous mechanization technologies have been adopted as part of the floor plastering process to counter increasing difficulties in securing labor and the pressing need to reduce lead time, but these have also triggered setbacks such as additional costs or loss of time to fix cracks in or loosening of floor. Cracks developing in the floor of an apartment housing unit, in terms of materials in use, are the products of a complex combination of material makeup, construction workmanship, concrete curing and the protection method. Controlling such elements from the perspective of materials in use may ensure partial success in reducing cracks, but fall short of eliminating them completely. Any attempt to prevent cracks from developing in the first place requires systematic analysis as to their potential causes and viable solutions to reduce them. On this backdrop, this paper aims to provide an analysis of potential causes of cracks found in floor plastering, and consider the mechanism of a crack stop-bar as a fundamental safeguard against them.

Keywords : floor plastering, crack, structural mechanism, housing construction

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

공동주택 공사 중 방바닥 미장의 경우 인력난과 공기단축을 해결하기 위해 물시멘트비를 높여 방바닥 미장의 균열발생 및 들뜸 현상으로 인한 하자로 경제적, 시간적 낭비가 많다[1]. 이러한 공동주택 바닥미장의 균열은 재료적인 측면에

서 볼 때 사용재료의 구성과 시공정도, 양생, 보양방법에 따른 각 요인이 복합적으로 작용하여 발생된다. 그러나 재료적인 측면에서 위 요인들을 제어하여 균열을 부분적으로 억제할 수 있으나 근본적인 균열방지는 불가능하다[2,3]. Kim et al.[4]의 연구 외에 균열의 억제를 위한 많은 연구가 진행되었으나 균열의 차단효과가 크지 않고 균열 발생량의 저감 또는 균열의 발생 원인을 분석하는 수준이기 때문에 균열저감을 위한 보다 효과적인 공법개발과 연구가 필요하다[4,5,6,7,8,9].

최근 개발된 균열차단공법은 시험 시공결과 균열의 근본적인 차단효과가 있는 것으로 판단되나 이를 검증할 관련 연구가 없어 바닥미장 균열의 발생원인과 균열 저감기술에 대한 학술적인 분석이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에

Received : January 19, 2011

Revision received : July 26, 2011

Accepted : July 27, 2011

* Corresponding author : Kim, Sun-Kuk

[Tel: 82-31-201-3366, E-mail: kimsuk@khu.ac.kor]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved

서는 바닥미장 시공 시 균열 예상부위에 설치하는 균열차단막의 학술적 근거마련을 위해 바닥미장 균열의 원인과 근본적인 억제를 위한 균열차단막의 메커니즘을 분석하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 최근 개발 및 사용되는 바닥미장 균열차단막의 메커니즘 분석을 그 범위로 한다. 바닥 미장용 모르타르는 가장 많이 사용되는 1:3 모르타르를 기준으로 분석하였다. 본 연구는 다음의 몇 단계로 수행 된다. 우선 이론적 고찰을 통해 공동주택 난방바닥의 구조 및 요구 성능을 조사를 통하여 기초 자료를 수집한다. 다음으로 균열차단막의 형태와 구성을 파악하여 소개한다. 콘크리트와 모르타르의 체적변화, 모르타르의 건조수축 그리고 건조수축 변형률 계산을 통해 바닥미장의 재료적 특성을 분석한다. 마지막으로 모르타르의 재료적 특성과 균열 발생 원리를 분석하여 균열의 발생 및 진행 메커니즘과 균열의 차단을 통한 제어방안을 제시한다.

2. 이론적 고찰

2.1 공동주택 난방바닥의 구조 및 요구성능

공동주택 난방바닥의 구조를 살펴보면 건축물별로 다소 차이는 있으나 Figure 1과 같이 구조적 바탕이 되는 바탕층 (slab), 층간 열의 이동을 차단하는 단열층, 열을 축적하여 상부층으로 전달하는 축열층, 방열판 및 마감의 기능을 갖는 마감층으로 구성되어 있다[10].

이중 본 연구의 대상인 미장 마감층은 방열판의 위 표면에서 표면마감까지의 구성층을 말하며, 대부분 시멘트 모르타르(배합비 1:3)를 사용하여 두께는 20~50mm의 범위로 사용하고 있고, 여기에 균열방지 또는 구성층 전체에 대한 강성의 향상을 위하여 메탈라스(metal lath), 와이어메쉬(wire mesh) 등의 보강재를 사용하고 있다. 미장 마감층은 난방효율 및 내구성 등 종합적인 성능을 고려한 적정두께 산정이 필요하고, 기계화 시공에 의해 인력절감과 균질한 품질의 확보 등이 필요하다[11].

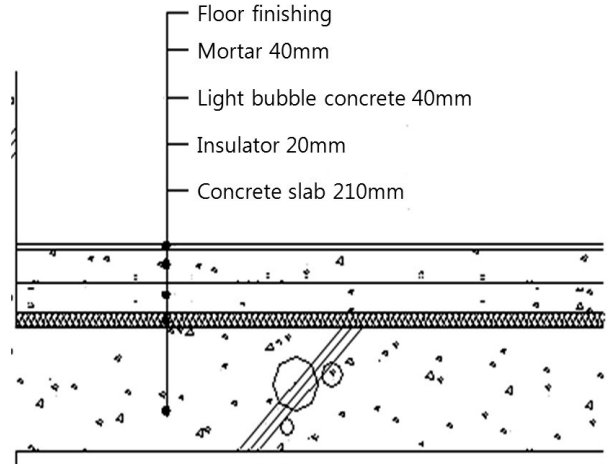


Figure 1. Section of the floor

공동주택의 바닥구조는 그 기능의 유지, 주거 환경의 보호, 시공성, 경제성 등을 충족키 위해 내구적, 기계적, 시공적, 경제적 요구성능 등이 요구되며, 이러한 요구 성능들은 Table 1과 같이 바닥구조를 구성하는 구성재별 요구 성능과 각 구성재가 복합되어 하나의 구성체로의 기능을 수행하기 위한 복합체별 요구 성능이 있다[5].

Table 1. Demanded performance of the floor materials

Materials	Performance	Demanded performance of floor materials		
		Materials Performance	Composite performance	
Plastering	Abrasion, Elasticity	Thermal performance, Workability	Compressive strength	Weight
Thermal storage	Thermal performance			
Pipe	Conductivity, Compressive strength	Thermal Performance		
Insulator	Conductivity			
Finishing	Compressive strength, Soundproofing			

2.2 문헌 고찰

바닥 미장의 균열에 관한 유사연구로 Kim et al.[4]은 모르타르의 종류, 살수 여부, 치수도막 시공여부 그리고 마루널 접착제의 종류를 구분하여 실험을 실시하여 바닥마감재의 들뜸과 변색 하자 발생원인 및 저감방안에 대하여 재료별 하자 유형을 분석하고 저감방안을 고찰하였다. 이 연구는 마감자재 시공 후 발생하는 하자과 그 원인을 도출하고 마감자재의 들뜸과 변색을 방지하기 위한 연구로 바닥미장의 균열방지와는 차이가 있다. Ko and Lee.[5]는 바닥미장

의 균열을 발생시키는 요인을 구성재료, 시공요인, 양생방법 등 다양하게 분석하고 균열제어 방안을 제시하고자 하였다. 이 연구는 바닥미장공사의 문제점을 시공공정 측면과 품질측면 그리고 원가측면으로 구분하여 분석하였다.

이외에 모르타르 및 콘크리트에 관련한 연구로 Jung and Lee.[6]는 밀착 콘크리트의 배합에 따른 하중분산 효과와 흡수에 대한 응력구간의 범위 확장 등을 통한 지내력 향상 그리고 시공성 향상에 대하여 조사 및 분석하였다. Lee et al.[8]은 순환잔골재를 사용한 라텍스 재질 모르타르의 강도 특성에 대한 실험을 실시하였다. Jung and Yun.[9]은 시멘트 바닥미장공법과 셸레벨링(self leveling)미장공법의 공기, 원가, 품질 등을 비교하여 공법선정기준을 제시하였다. 이러한 연구는 주로 미장공사 또는 모르타르의 시공성과 품질에 관한 연구로 균열의 저감을 위한 자료로는 한계가 있다.

3. 균열차단막의 구성

균열차단막은 Figure 2와 같이 양측으로 서로 이격된 고정부(Figure 2의 2)를 형성하고, 고정부의 사이에는 곡면체로 된 균열차단막(Figure 2의 1,3)을 일체로 연결된 형태로 구성된다. 균열차단막의 소재는 합성수지재이며, 양측으로 서로 이격하여 성형된 고정부는 난방관을 고정하는 과정에서 사용하는 U형 고정철물을 이용하여 균열 차단장치를 기포콘크리트와 고정 설치할 수 있다. 고정부 저면은 균열 차단장치를 세워 설치하기 위해 수평면으로 형성하고 고정부의 외면 전체에는 철선 고정철물을 감아 고정하기 위한 고정홈(Figure 2의 5)이 있다. 균열차단막은 경량이기 때문에 고정철물로 고정하지 않으면 바닥미장 시공 시 떠오를 수 있으므로 반드시 고정하여야 한다.

또한, 균열차단막에는 균열 차단장치를 실내 돌출부에 밀착 설치하기 위한 구속돌기(Figure 2의 4)가 돌출 형성되어 있고, 구속돌기는 돌출부의 코너부 양측에 밀착 지지되면서 균열 차단장치가 돌출부의 코너에 안정적으로 지지 설치될 수 있게 하면서 균열차단막이 실내 돌출부로부터 일정한 구간 내에 위치하도록 하여 균열 차단장치가 미장용 모르타르 내에 안정적으로 매설되게 하는 역할을 한다. 여기서, 구속돌기의 단부에는 서로 마주하는 형태로 된 경사상의 밀착면이 형성되어 있고, 밀착면은 대향의 경사면

에 의해 돌출부의 코너면과 긴밀한 대응 밀착 상태가 이루어지게 되는 것이고, 이에 따라 돌출로부터 균열 차단장치가 유동하거나 벗어나는 것을 방지할 수 있다.

또한, 균열차단막의 선단(Figure 2의 1)은 하단(Figure 2의 3)보다 얇은 두께를 갖도록 균열차단막의 상측으로 점차 축소되는 두께가 되게 경사면을 형성한 것으로서, 경사면에 의해 선단의 두께가 좁아진 균열차단막은 미장 모르타르에 의해 균열 차단장치가 매설되는 경우 하단의 두꺼운 두께로 인하여 안정적인 설치 상태가 유지되는 것이고, 선단의 얇은 두께는 미장 모르타르의 표면으로 노출되는 부분을 최대한 축소시킨다. 바닥 미장은 양생과정에서 수축하게 되는데 이때 바닥미장 내부의 균열차단막 등 수축하지 않는 자재들이 미세하게 돌출될 수 있다. 그러나 균열차단막의 상부의 얇은 두께는 이러한 현상을 방지할 수 있다.

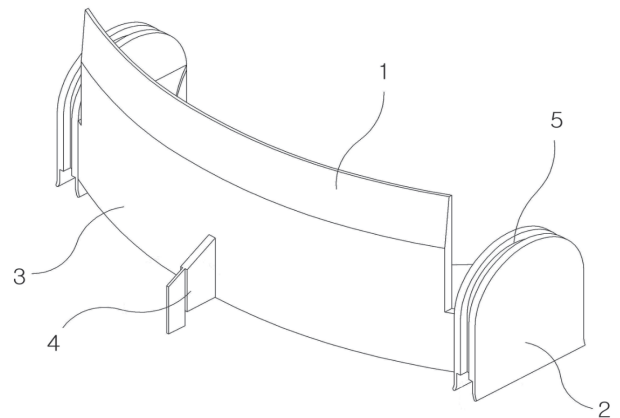


Figure 2. Composition of the crack stop-bar

4. 바닥미장의 재료적 특성 분석

균열차단막은 건조수축에 의해 발생하는 응력이 균열 중심선에서 인장응력으로 작용하여 발생하는 균열의 전이를 차단하는 시스템이다. 즉 차단재인 균열차단막은 균열의 진행 위치에서 모르타르의 분리를 통해 전이가 진행되는 것을 막는다. 따라서 이러한 균열차단막 자체의 원리보다 균열의 발생위치를 예측하는 것이 중요하다. 본 연구는 몰탈을 실험한 연구가 아니고 균열차단막의 균열방지 원리를 이론적으로 뒷받침하는 연구이며 이를 위해 본 연구는 균열차단막의 메커니즘을 균열 및 변형률 분석과 균열의 발생위치를 예측하는 두 가지 주요 이론적 원리로 구성한다.

4.1 콘크리트와 모르타르의 체적변화

철근 콘크리트 공학 이론[7]에 의하면 콘크리트는 시간이 경과함에 따라 건조수축(shrinkage 또는 drying shrinkage)과 크리프(creep) 등의 체적변화가 발생한다. 건조수축이나 크리프 외에 체적변화를 일으키는 또 다른 이유는 온도팽창에 있으며 이 3가지 주요 원인에 의한 체적변화는 응력과 균열 및 처짐을 일으켜 철근콘크리트 구조물의 사용성능에 영향을 준다.

응력의 크기에는 관계없이 체적의 변화에 의해서 변형(stress-independent strains)이 발생하는 건조수축은 시멘트 젤(cement gel) 속의 수분이 증발함으로써 발생한다. 응력의 크기에 따라 영향을 받아 변형이 발생하는 크리프는 지속적인 하중이 구조체에 작용할 때 변형률이 점진적으로 증가하는 것을 말한다. 경우에 따라 건조수축과 크리프는 동일한 요인에 의해서 동시에 일어나고 시간이 지남에 따라 변형이 증가된다. 이러한 결과는 시멘트 풀의 변형을 통해 콘크리트의 건조수축을 분석한 기존연구에서 검증된 바 있다[3]. 이러한 현상은 재료가 같은 모르타르의 양생과정에서 유사하게 나타나기 때문에 모르타르의 건조수축 분석에 활용하였다.

4.2 모르타르의 건조수축

지금까지 검토한 것과 같이 콘크리트와 모르타르는 사용한 골재 중에서 조골재인 자갈의 유무에서 차이가 있어서 배합된 상태에서는 매우 유사한 물리적, 화학적 특성을 가지고 있지만 일단 시공이 된 후 경화 과정에서는 구조재와 마감재(바닥미장)라는 특성 때문에 서로 다른 특성을 가진다. 즉, 콘크리트는 탄성변형, 크리프, 건조수축에 의한 변형을 일으키지만 바닥미장으로 시공된 모르타르는 건조수축에 의한 변형이 발생하는 것으로 분석되었다.

한편, 콘크리트와 모르타르는 모두 수화작용을 통해 경화되어 소정의 강도를 발현하게 되는데 이를 위해 적정량의 수분이 필요하다. 그런데 이 과정에서 건설현장에서 작업성(workability)이 좋은 콘크리트나 모르타르를 만들기 위해서는 각기 물시멘트비를 고려하여야 한다. 즉, 수화작용만을 위한 물을 혼합하는 경우에는 작업성이 좋지 않아 시공상 균질한 콘크리트 및 모르타르를 확보하기 어려울 뿐 아니라 작업성도 저하되어 현장관리에 악영향을 미친다. 하지만 작업성을 좋게 하기 위하여 적정 이상의 물을 혼합하는 경우에는 수화작용이 진행되지 못하여 필요한 강도를 얻을

수 없다.

Min.[12]에 의하면 작업성이 좋은 모르타르를 만들기 위해서는 이론적으로 수화작용을 위해서 필요한 물보다 거의 2배 이상의 물을 혼합하여야 한다. 모르타르를 양생하고 건조하기 시작하면 시멘트와 화학작용을 일으키지 않았던 초과분의 수분은 모르타르의 내부로부터 표면으로 이동하기 시작한다. 이 수분이 증발하면서 모르타르의 체적은 축소하게 되며, 모르타르에서 수분의 손실은 표면으로부터의 거리에 비례하게 된다. 표면에서는 물이 이동해야 하는 거리가 짧기 때문에 건조가 급속하게 일어나지만 내부에서는 수분이 이동해야 하는 거리가 멀기 때문에 건조는 서서히 일어나게 된다. 이렇게 수분의 손실 때문에 체적이 감소해서 일어나는 수축변형을 건조수축 변형(shrinkage strain) 또는 건조수축이라 한다[13].

이러한 건조수축 변형률의 크기에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 단위수량과 상대습도이다. Figure 3에서 보는 바와 같이 동일한 상대습도 상태에서 단위수량과 건조수축 변형률 사이에는 거의 선형의 관계가 성립되고 있다[12]. 단위수량의 영향은 또한 시멘트 풀과 골재의 비로도 설명할 수 있는데 모르타르의 전체 체적 중에서 시멘트 풀이 차지하는 체적이 크면 클수록 건조수축이 많이 일어나게 되고, 이에 비해서 자갈(또는 쇄석)과 같은 조골재는 건조수축에 대해서는 저항하는 요소이다.

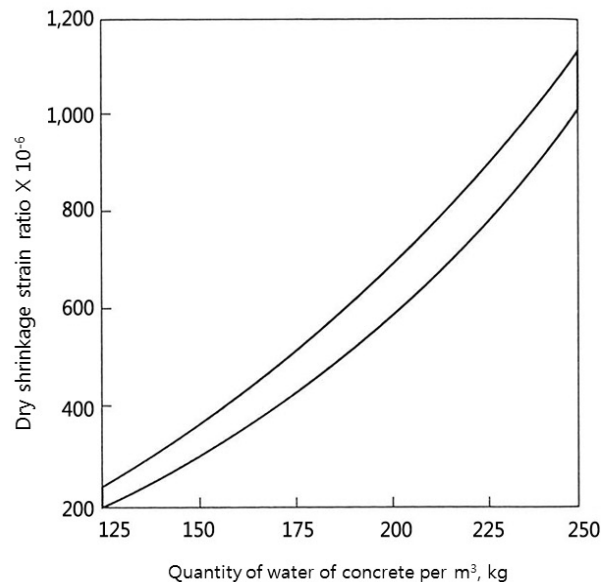


Figure 3. The effect of unit water of shrinkage

바닥미장에 사용되는 모르타르는 물과 시멘트가 섞인 시멘트 풀과 세골재인 모래로만 구성되어 있으므로 건조수축에 매우 민감하게 작용한다. 즉, 자갈과 같이 건조수축에 저항하는 요소가 없으므로 그 만큼 건조수축에 의한 균열발생 가능성이 매우 높다. 실제 현장에서는 미장공사 후 일정기간이 지나면 거의 대부분 건조수축에 의한 균열이 발생하게 된다. 일반 콘크리트 부재보다 바닥미장에서 균열이 더욱 빈번하게 발생하는 것은 바닥미장에는 조골재를 사용하지 않고 세골재인 모래와 시멘트를 혼합하여 모르타르를 만들기 때문이다.

건조수축이 일어나는 비와 건축수축의 전체 양(부재의 모양과 크기의 함수)은 체적에 대한 표면적이 늘어날수록 증가한다. 단면에 비해서 상대적으로 넓은 표면적을 가질 때 수분의 증발이 더 빠르게 일어난다. 또한, 무보강 콘크리트 부재가 상대습도 70%에 노출되어 있을 때 건조수축 변형률은 $(400\sim700)\times 10^{-6}$ 에 이르지만, 만약 보강되어 있으면 보강철근이 저항하여 건조수축 변형률은 $(200\sim300)\times 10^{-3}$ 까지 감소된다. 모르타르의 경우 보강철근이 없으므로 건조수축 변형률은 무보강 콘크리트와 동일하게 계상할 수 있다. 한편 부재의 두께가 두꺼울 때 건조수축은 수년간에 걸쳐서 일어나지만 발생하는 전체 건조수축의 대략 90%정도는 처음 1년 동안에 일어나게 된다. 그러나 바닥미장 모르타르의 경우 두께가 약 40mm 내외이므로 20℃의 상온에서 시공 후 28일 이내에 90% 이상 건조수축이 발생하는 것으로 알려져 있다[14].

건조수축은 골재의 입도, 최대치수, 모양과 조직 등에도 영향을 받지만 골재의 성질 중 가장 큰 영향을 미치는 것은 골재의 탄성계수이다. 골재의 탄성계수가 탄성변형률에 직접적으로 영향을 미치므로 당연히 장기변형인 건조수축의 양에도 상관관계가 성립한다. 모르타르의 경우 콘크리트와 달리 조골재(자갈, 쇄석 등)가 없이 세골재(모래)를 사용하므로 이에 대한 영향은 크지 않다.

4.3 건조수축 변형률의 계산

바닥미장의 건조수축에 의한 균열발생 원인을 이론적으로 규명하기 위해서는 건조수축에 의한 변형률을 계산해 내어야 한다. 그러나 지금까지 수행된 여러 연구를 고찰한 결과 모르타르의 건조수축에 의한 변형률을 산정하는 이론식이 제안된 논문이 없고 산정기준도 없다. 그러나 콘크리트의 경우에는 혼합된 시멘트 풀의 건조수축 메커니즘을 규명한

연구[2,3,13,15]도 있으며, 국제적으로 건조수축에 의한 변형률을 산정하는 기준도 있다.

이러한 연구 내용과 기준을 살펴보면 재령, 상대습도, 부재의 크기(두께, 표면비 등), 시멘트의 종류, 온도 변수에 의해 변형률이 계산된다. 바닥미장에 사용되는 모르타르와 콘크리트와의 차이는 조골재(자갈 또는 쇄석)를 혼합하지 않는 것뿐이다. 비록 콘크리트에 혼합된 조골재가 건조수축에 저항하는 기능을 가졌다 하더라도 지금까지의 연구와 기준을 살펴보면 조골재의 성상이나 재료적 특성을 변형률 산정 변수로 고려하지 않았다. 따라서 위에 열거한 변수들을 모두 가지고 있는 모르타르의 건조수축 변형률을 계산하는데 콘크리트의 건조수축 변형률 산정기준을 이용하는 것은 논리적으로 합당하다. 2007년도 개정된 콘크리트 구조설계 기준(이하 기준이라 함)[16]과 CEB-FIP Model code[17]를 참고하면 건조수축 변형률을 계산이 가능하며, 이 기준을 모르타르에 적용하면 다음과 같다.

4.3.1 기본 건조수축 변형률 계산

건조수축의 시작시간 t_s 와 외기에 노출된 모르타르 재령 시간 t 사이에 일어나는 모르타르의 축방향 건조수축 변형률 ϵ_{cs} (기준에서는 ϵ_{sb} 로 표기)은 다음 식 (1)과 같이 계산할 수 있다.

$$\epsilon_{cs}(t, t_s) = \epsilon_{cso} \times \beta_s(t - t_s) \quad (1)$$

여기서, ϵ_{cso} 는 식 (2)로 정의되며 특정한 모르타르와 상대습도에 따른 모르타르의 기본 건조수축 변형률이고, $\beta_s(t - t_s)$ 는 식 (6)으로 계산하고, 부재의 유효두께의 함수로 t_s 와 t 시간 사이에 발생하는 건조수축을 표현하는 계수이다. 기본 건조수축 변형률 ϵ_{cso} 는

$$\epsilon_{cso} = \epsilon_s f_{cu} \times \beta_{RH}(RH) \quad (2)$$

로 표현되고, $\epsilon_s(f_{cu})$ 는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\epsilon_s f_{cu} = [160 + 10\beta_{sc}(9 - f_{cu}/10)]/10^{-6} \quad (3)$$

여기에서 β_{sc} 는 시멘트(portland cement)의 종류에 따라 계수로 2종 중용열 시멘트인 경우는 $\beta_{sc}=4$ 이고, 1종

및 5종 내황산 시멘트인 경우는 $\beta_{sc}=5$ 이고, 3종 조강 시멘트는 $\beta_{sc}=8$ 이다. $\beta_{RH}(RH)$ 는 Figure 9와 같이 건조 수축에 대한 상대습도의 영향을 표시하는 계수로

$$\left\{ \begin{array}{l} 40\% \leq RH < 99\% \text{ 인 경우:} \\ \beta_{RH}(RH) = -1.55 [1 - (RH/100)^3] \\ RH \geq 99\% \text{ 인 경우:} \\ \beta_{RH}(RH) = 0.25 \end{array} \right\} \quad (4)$$

로 표현된다. 여기에는 RH는 외기의 상대습도로 표기는 퍼센트(%)로 한다. 식 (3)에서 f_{cu} 는 재령 28일의 모르타르의 평균 압축강도 f_{28} 로서 식 (5)에 의해 계산될 수 있다. 건조수축은 원래 압축강도의 함수는 아니며, 물시멘트비와 시멘트의 함량이 감소하면 건조수축은 감소한다.

$$f_{cu} = f_{ck} + 8 \quad (5)$$

건조수축에 관한 상대습도의 영향은 Figure 4에 보인 것처럼 상대습도가 클수록 적게 나타난다. 즉, 외부환경이 건조하면 큰 건조수축이 발생하게 된다. 만약 $\beta_{RH}(RH)$ 가 음(-)이면 계산된 건조수축 변형률도 역시 음이며, 이는 건조수축에 의해서 모르타르가 수축되는 것을 의미한다. 99% 이상의 상대습도를 갖는 대기 중에서는 $\beta_{RH}(RH)$ 는 양(+)이 되어 모르타르는 팽창하게 된다.

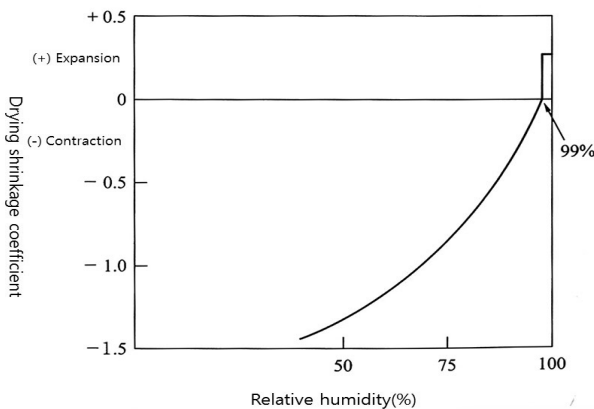


Figure 4. The effect of relative humidity on the dry shrinkage

4.3.2 시간에 따른 건조수축 변형률 계수의 계산

시간에 따른 건조수축 변형률 계수 $\beta_s(t-t_s)$ 는 다음 식으로 계산된다.

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)}{0.035h^2 + (t-t_s)}} \quad (6)$$

$$\beta_{RH}(RH) = \left[1 + \left(\frac{8}{103 - RH} \right) \left(\frac{T - 20}{40} \right) \right] \beta_{RH}(RH) \quad (7)$$

$$\beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(t-t_s)}{0.035h^2 \exp[-0.06(T-20)] + (t-t_s)}} \quad (8)$$

여기에서, t = 일(days)로 표시되는 모르타르의 재령, t_s = 일(days)로 표시되는 모르타르가 외기 중에 노출되어 건조수축이나 팽창이 시작되는 재령으로 일반적으로 습윤양생이 끝났을 때의 재령을 취하며, h = 체적/표면의 비를 계산하기 위해 mm로 표현된 개념 부재치수(유효두께)이며, $h=(2A_c/u)$ 로 표현된다.

여기에서 A_c 는 부재의 단면적(mm²), u 는 외기에 노출된 횡단면의 주변길이(mm)이다. 유효두께 $h=100$ mm와 610 mm에 대해서 식(6)을 이용하여 예측한 시간과 건조수축의 발달에 대한 관계가 Figure 5에 보여주고 있다. 두께가 얇은 부재는 수분이 모르타르의 외부로 신속하게 발산되기 때문에 두꺼운 부재에 비해 건조수축이 더 빠르게 나타난다. 외기의 온도(T)가 20도가 아닌 경우 $\beta_{RH}(RH)$ 및 $\beta_s(t-t_s)$ 는 다음 식 (7), (8)로 각각 보정해야한다.

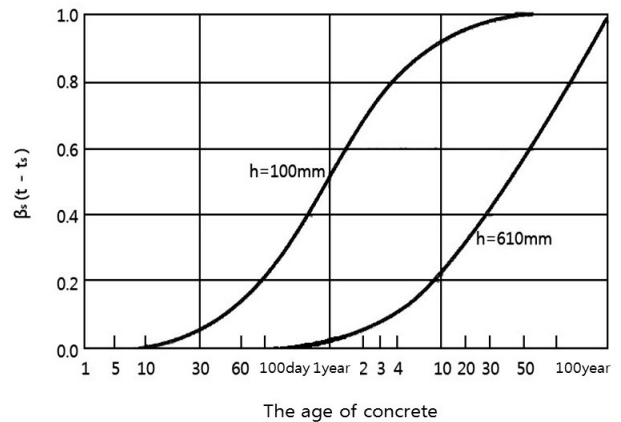


Figure 5 . The effects of thickness in the shrinkage (ts=5)

4.4 건조수축 균열진행 메커니즘과 제어방안

4.4.1 균열의 원인

건조수축에 의한 변형은 궁극적으로 균열을 발생시킨다.

콘크리트의 경우 단면이 작으면서 길이가 긴 보, 기둥과 달리 슬래브는 건조수축에 의한 균열이 Figure 6, 7과 같이 기둥 주변에서 사인장 균열로 발생한다. 그 이유는 건조수축 과정에서 발생한 응력이 취약부인 기둥 모서리에서 서로 반대방향의 인장응력으로 작용하기 때문이다. 슬래브 보다 두께는 얇지만 동일한 특성을 가지고 있는 바닥미장의 경우에도 Figure 7과 같이 동일한 방향의 사인장 균열이 발생한다.

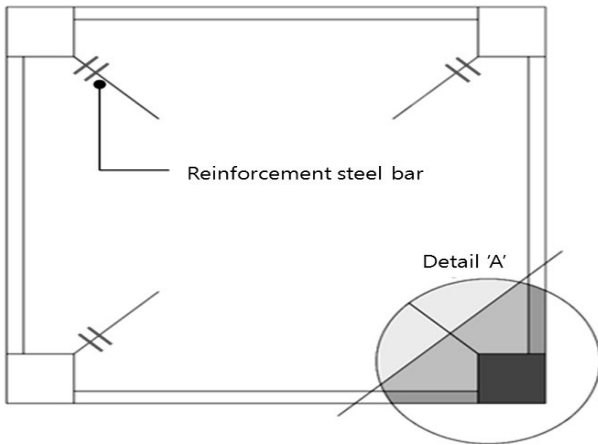


Figure 6. Causes of the crack at the edge of concrete slab (Column)

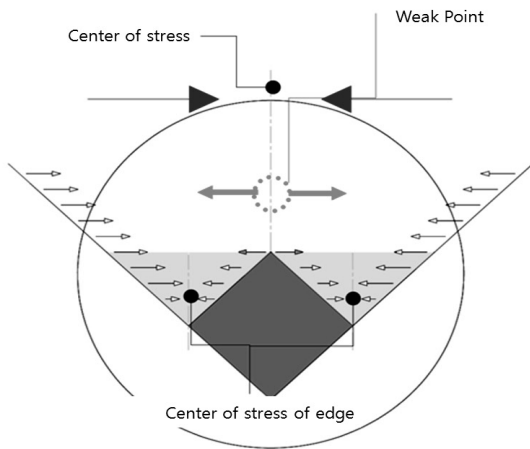


Figure 7. Causes of the crack at the edge of concrete slab (Detail 'A' of Figure 7)

구체적으로 살펴보면, Figure 7과 같이 기둥 또는 벽체로 바닥미장 구간이 구획되어 공사를 진행한 경우 건조수축에 의한 변형은 Figure 8, 9에서 보는 것과 같이 진행의 중심(기준선)을 기점으로 서로 반대 방향의 인장응력으로 발생하여 균열이 발생하게 된다.

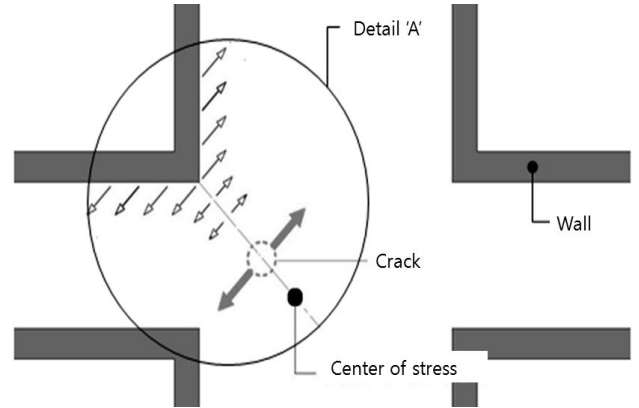


Figure 8. Causes of the crack at the edge of concrete slab (Wall)

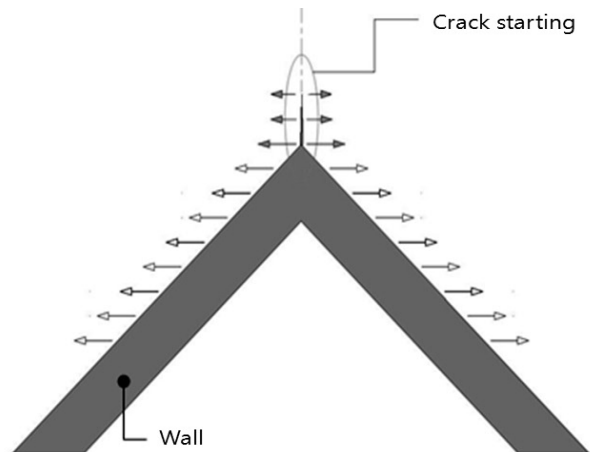


Figure 9. Causes of the crack at the edge of concrete slab (Detail 'A' of Figure 9)

일반적으로 콘크리트 슬래브의 경우 사인장 균열을 방지하기 위해서 Figure 6에서 보는 것과 같이 균열방향과 직각으로 철근(diagonal bar)을 보강한다. 바닥미장의 경우에도 메탈라스 또는 보강섬유를 설치하면 균열을 저감할 수 있다. 그러나 콘크리트 슬래브와 달리 바닥미장은 바닥면적 대비 두께가 더 얇으므로 수분이 모르타르의 외부로 신속하게 발산되기 때문에 메탈라스를 설치한다 해도 4.3.2에서 설명한 비와 같이 균열이 발생하는 경우가 빈번하다.

4.4.2 균열발생 및 진행

초기 균열 취약부에서 균열이 일단 발생하면서 해당부위가 자유단으로 기능(Figure 10 참조)이 바뀌게 된다.

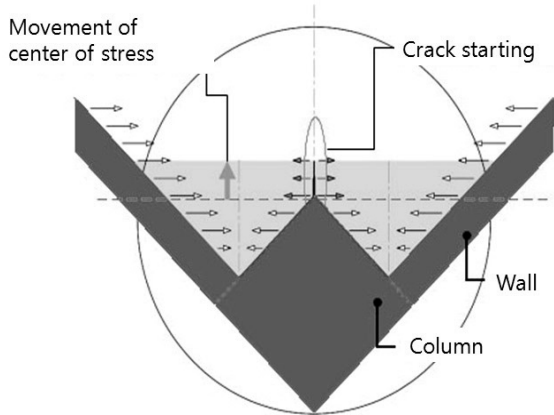


Figure 10. Step of crack starting of edge

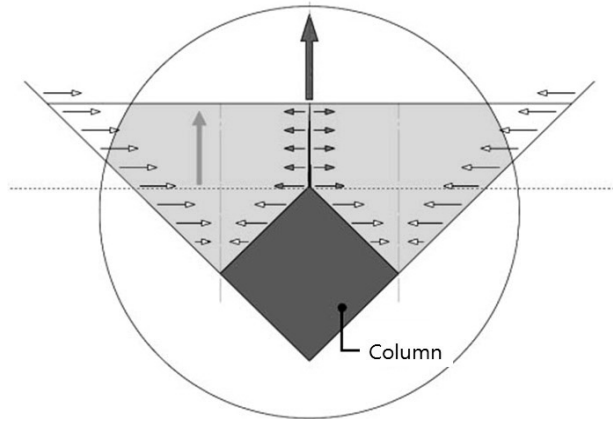


Figure 11. Step of crack progression of edge (column)

이로 인해 균열이 가속화(Figure 11 참조)되면서 자유단이 슬래브 중앙부로 진행된다. 바닥미장 모르타르의 경우 같은 면적 대비 구조체인 슬래브보다 상대적으로 두께가 얇으므로 보강기구 없이 시공 후 7~15일 내에 초기 균열이 발생하며 28일 이내에 90% 이상 건조수축이 진행되어 균열이 가속화된다. 이러한 현상을 건조수축에 의한 변형으로 발생하는 균열현상을 두께가 얇은 바닥미장 모르타르에 대입하였을 때 시공 후 거의 100% 발생하게 된다. 즉, 상대습도, 시멘트의 종류, 온도 등의 조건이 같다고 하더라도 부재의 특성(넓은 바닥 대비 얇은 두께)에 의해 건조수축이 시공 후 신속하게 진행되어 균열을 발생시키는 것이다. 또한 메탈라스를 설치하더라도 모르타르 두께가 40mm 내외로 얇아서 메탈라스를 구조적으로 고정하여 균열진행을 제어하기도 전에 표면에 균열이 발생하는 경우가 빈번하다. 그러나 콘크리트 슬래브의 경우에는 두께가 확보되어 건조수축이 서서히 진행되며, 이 과정에서 균열을 제어하기 위해 설치된 철근(diagonal bar)의 정착이 이루어져 균열의 진행을 제어하는 기능을 발휘할 수 있다. 즉, 철근 콘크리트 슬래브의 경우에도 일단 건조수축에 의한 균열은 발생하지만 균열 제어용 철근 설치위치에 도달하면 균열을 발생시키는 수축응력이 정착된 철근의 인장응력 보다 작으므로 더 이상 균열이 진행되지 않는 것이다. 그러나 바닥미장의 경우에는 건조수축이 메탈라스의 정착보다 빠르게 진행되어 균열이 진행되는 것이다. 그러나 메탈라스를 설치하지 않는 경우에는 균열진행의 속도가 빨라지고, 그 길이도 길어지는 것으로 사례현장 시공에서 확인할 수 있다(Figure 11, 12 참조).

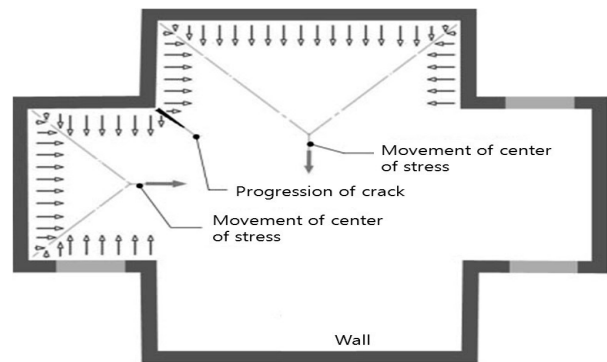


Figure 12. Step of crack progression of edge (wall)

4.4.3 균열진행의 제어방안

바닥미장의 특성(넓은 바닥 대비 얇은 두께)으로 인해 모르타르 내부에 보강재를 삽입하여 건조수축에 의한 균열을 완전히 제어하는 것은 불가능하다. 이 경우에는 Figure 13과 같이 균열발생 이후 균열이 지속적으로 진행되지 않도록 방지 기구를 설치하는 것이 바람직하다. 균열차단막은 건조수축에 의해 발생된 균열중심의 전이를 차단하는 기능을 가진다. 즉, 건조수축에 의해 발생하는 응력이 균열중심선에서는 인장응력으로 작용하게 되는데 균열차단막에 도달하면 건조수축에 의한 인장응력의 전이가 차단되는 시스템이다.

아파트의 경우 대부분의 바닥미장이 벽체 또는 기둥에 의해 실(室) 단위로 구획되어 있다. 대부분의 실들이 □자 형태로 구획되어 건조수축에 의해 발생하는 응력이 균열을 발생시키는 인장응력으로 발전되는 모서리부(돌출부)가 없으므로 균열을 발생하지 않는다. 그러나 거실 또는 주방의 경우에는 Figure 13과 같은 돌출부가 많은 이형(異形)구조를 가지고 있으므로 Figure 11과 Figure 12에 같이 균열이 발

생한다. 물론 거실과 같이 돌출부가 있는 방의 경우에도 같은 현상에 의해 균열이 발생한다. 개발된 균열차단막은 평면상으로 기둥 및 벽으로 구획된 모서리 부분이 많은 거실 및 주방 부위에 적용된다. 아울러 돌출부가 있는 실의 경우에도 적용된다.

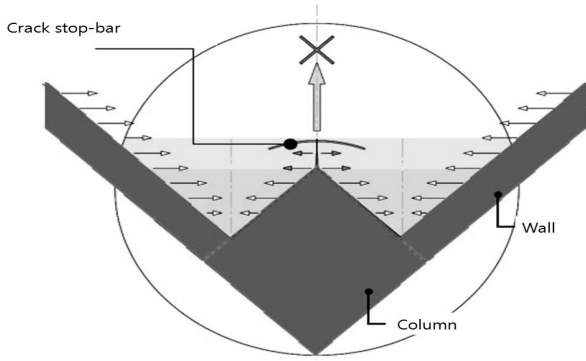


Figure 13. Suppression of crack

4.4.4 건조수축에 의한 균열발생 예측

바닥미장 시공 후 예상되는 건조수축에 의한 미장면의 변형을 산정하기 위해서는 기본 건조수축 변형률과 시간에 따른 건조수축 변형률 계수를 계산한 후 그 결과에 의해 최종 건조수축 변형률을 계산한다. 이후 균열 폭을 계산하기 위하여 단위 길이에 건조수축 변형률을 대입하면 최종 균열 폭을 산정하여 균열의 수준을 확인할 수 있으며, 사례현장을 대상으로 산정하면 다음과 같다.

[사례현장 검토 기준]

- 모르타르강도(1종 시멘트사용) = 15Mpa
- 상대습도 50%
- 온도 20℃
- 비습윤 양생 : 습윤 양생일 종료 후 시작 (=0일)
- 모르타르의 재령 : 습윤양생 후 경과일 가정(=10일)

1) 기본 건조수축 변형률

기본 건조수축 변형률 계산을 위하여 식(1)을 이용한다. 식(2)을 이용하여 ε_{CSO} , 그리고 식(6)을 이용하여 $\beta_s(t-t_s)$ 를 계산하며, ε_{CSO} 는 다시 식(3), 식(4), 식(5)를 이용하여 계산한다. 기본 건조수축 변형률(ε_{CSO})을 계산하면 다음과 같다.

- ① $f_{cu} = f_{ck} + 8 = 15 + 8 = 23(\text{Mpa})$
- ② $\beta_{sc} = 5$ (1종 및 5종 내황산 시멘트인 경우)
- ③ $\varepsilon_s f_{cu} = 0.000495$

$$\text{④ } \beta_{RH(50\%)} = -1.356$$

$$\text{⑤ } \varepsilon_{CSO} = \varepsilon_s f_{cu} \times \beta_{RH(50\%)} \\ = 0.000495 \times -1.356 = -0.000671$$

2) 시간에 따른 건조수축 변형률 계수의 계산

시간에 따른 건조수축 변형률 계수 계산을 위하여 식(6)을 이용하며, 외기온도가 20℃이므로 온도에 의한 보정은 하지 않는다. 공기 중에 노출된 바닥미장은 단위 폭(1,000mm)과 두께(40mm)를 고려하여 계산하면 다음과 같다.

$$\text{① } A_c = 40 \times 1,000 = 40,000$$

$$\text{② } u = 2 \times 1,000 = 2,000$$

$$\text{③ } h(=2A_c/u) = 40$$

$$\text{④ } t = 10, t_s = 0$$

$$\text{⑤ } \beta_s(t-t_s) = \sqrt{\frac{(10-0)}{0.035 \times 40^2 + (10-0)}} = 0.39$$

이는 마감 공사 후 10일이면 총 건조수축의 약 40%가 발생되는 것을 나타낸다.

3) 건조수축 변형률

건조수축 변형률은 기본 건조수축 변형률에 시간에 따른 건조수축 변형률 계수를 곱하여 계산한다. 아래의 결과는 습윤양생 후 10일 경과시점의 단위 길이 당 건조수축 변형률이다.

$$\varepsilon_s(10, 0) = \varepsilon_{CSO} \times \beta_s(10) \\ = -0.000671 \times 0.39 \\ = -0.000261$$

4) 상대건조 수축과 균열 폭

시공 후 10일이 지난 시점에서 균열방지기가 없을 경우 단위 폭(1m) 내의 균열은 $1,000 \times (-0.00026) = 0.26\text{mm}$ 의 초기 균열이 발생하고, 시간이 경과함에 따라 슬래브 중심으로 진행이 예상된다. 사례현장 거실의 경우 균열이 발생하는 모서리를 중심으로 거실 중앙으로 갈수록 그 폭이 넓어지므로 시간이 지날수록 균열의 폭은 점차 증대하기 시작한다. 실제로 사례 현장에서 균열차단막을 사용하지 않고 바닥미장 공사수행 10일 후 측정된 결과 폭 0.3mm, 길이 0.53m의 균열이 측정되었다.

5) 건조수축 균열의 억제

Figure 9~13에서 설명한 것과 같이 구간구획에 따라 바닥미장이 시공된 모서리 부분의 균열의 발생과 진행은 모서리를 중심으로 건조수축의 중심부가 분할되는데 주요원인이

되고 있다. 그리고 그 크기는 사례 현장에서와 같이 시공 10 일 후 폭 0.3mm, 길이 0.53m로 측정되었으며, 시간이 갈수록 균열의 폭과 길이는 증대되는 것으로 확인할 수 있었다.

결과적으로 바닥미장의 경우 계획적으로 분할된 모서리 구간(기둥의 돌출부, 벽체의 돌출형 접합부 등)의 배치는 피할 수 없으므로, 2개 이상으로 분할되어 진행되는 건조수축 균열의 중심이 전이되는 것을 방지하는 기구를 설치하여 초기에 발생한 균열의 추가진행을 억제하는 것이 가장 적절한 방법이라 할 수 있다. 이때 설치되는 건조수축 균열 방지 기구의 기본 요건을 나열하면 다음과 같다.

- ① 적절한 자체 연성을 가지고 있어서 균열방지 기구 자체의 요인에 의한 균열의 발생 및 전이가 되지 않는 재료 (플라스틱 등의 자체 연성 보유 및 적절한 강도로 시공이 용이한 재료가 적절)
- ② 건조수축 균열의 진행은 어느 정도의 방향성은 가지나 다소 유동적이므로 예상 방향 전체를 억제 구간에 포함할 수 있는 디자인(Figure 14).
- ③ 균열방향과 연직하여 배치되는 호형 디자인(Figure 14).
- ④ 구체에 체적이나 형태의 변화, 기타 마감의 변형을 초래하지 않는 얇은 박판형태.
- ⑤ 기타 기존 구체에 설치 또는 거치하기 쉬우며 예리한 모서리가 없거나 적은 형태.

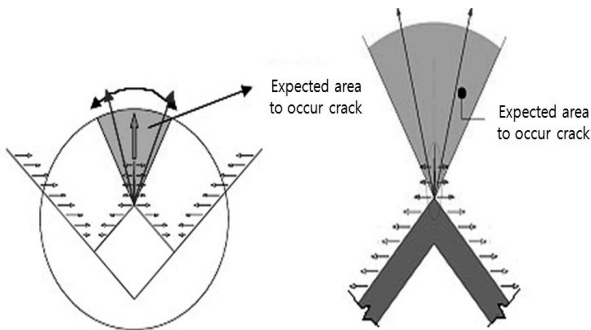


Figure 14. Expected edge cracking due to shrinkage

4.4.5 건조수축 균열 방지 메카니즘

모서리 양측으로 발생하는 수축응력은 모서리 끝으로부터 시작하여 응력의 분포에 따라 거실 중앙으로 향하는 균열을 발생시킨다(Figure 15(a) 참조). 모서리가 없는 실의 경우 벽의 중앙 또는 주변부에서 균열이 발생되는 경우도 있으나 이러한 균열은 모르타르의 품질관리를 통해 예방할 수 있다.

모서리로부터 시작된 균열은 모르타르의 초기양생과 함께 초기 진행을 하게 된다(Figure 15(b) 참조). Figure 15(c)는 진행된 균열이 균열차단막에 도달하여 차단되는 단계를 보여주고 있다. 이 경우 균열차단막은 균열발생 예상구간 안에 설치되어 있어야 하며 건조수축 응력에 의해 발생하는 균열이 전개되는 것을 직접적으로 차단한다(Figure 15(c) 참조). 균열차단막에 의해 차단된 균열이 더 이상 전개되지 않는 것은 균열 차단선 이후에 응력이 균열부위로 집중되지 않기 때문이다(Figure 15(d) 참조). 즉 균열의 끝부분이 인장력에 취약하기 때문에 균열이 쉽게 전개되는 현상을 균열 방지편에 의한 균열의 차단으로 균열차단선 이후 응력에 취약한 부위가 제거되어 넓은 범위에 응력을 배분하게 된다. 또한 균열의 차단선까지 진행되는 동안 모르타르의 초기경화가 끝나 이후의 균열발생은 더욱 억제된다.

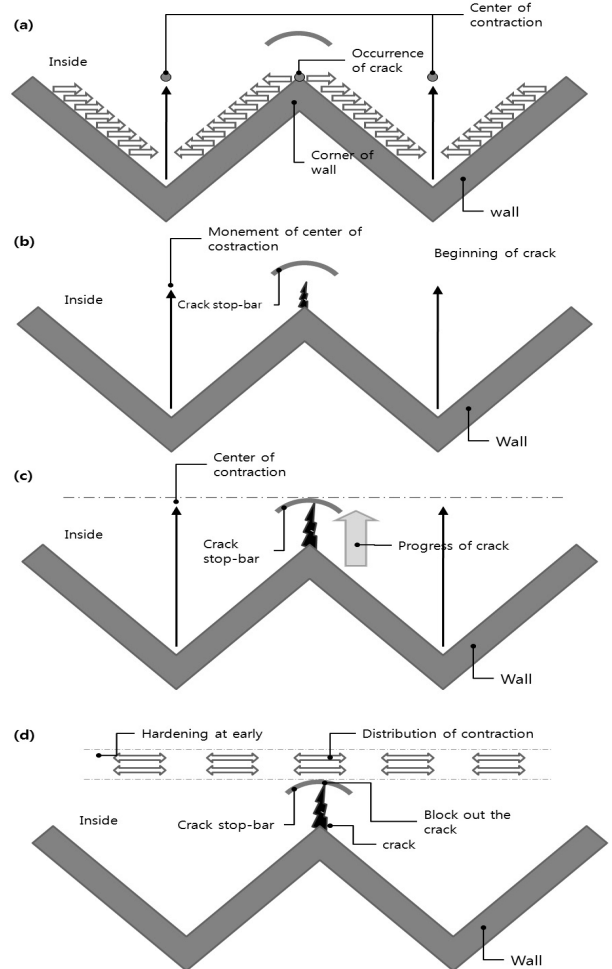


Figure 15. Principle of crack control

5. 결 론

공동주택의 바닥미장의 균열은 재료적인 측면에서 볼 때 사용재료의 구성과 시공정도, 양생, 보양방법에 따른 각 요인이 복합적으로 작용하여 발생된다. 그러나 재료적인 측면에서 위 요인들을 제어하여 균열을 부분적으로 억제할 수 있으나 근본적인 균열방지는 불가능하다. 즉, 재료적인 측면 이외에도 경화과정에 따른 수축현상, 난방 등의 온도변화에 따른 신축 팽창, 실의 형상에 따른 응력의 불균형 등이 균열발생의 원인이 된다. 본 연구는 이와 같은 원인에 의하여 발생하는 균열을 효율적으로 억제하기 위한 균열차단막을 분석하여 균열방지 메커니즘을 연구하였고, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 모서리 양측으로 발생하는 수축응력은 모서리 끝으로부터 시작하여 응력의 분포에 따라 실(室)중앙으로 향하는 균열을 발생시킨다. 이러한 균열은 모르타르의 품질관리를 통해서서는 해결이 불가능하다.
- 2) 균열은 건조수축에 의해 응력중심선을 기준으로 양측에 인장응력 발생으로 전개된다.
- 3) 균열 방지를 위해 메탈라스 등을 사용하지만 마감미장은 약 40mm정도의 두께로 이루어져 메탈라스가 모르타르와 접착력을 발휘하기 전에 균열이 진행된다. 따라서 균열차단막이 건조수축 응력에 의해 발생하는 균열이 전개되는 것을 직접적으로 차단한다.
- 4) 균열차단막에 의해 차단된 균열이 더 이상 전개되지 않는 것은 균열 차단선 이후에 응력이 균열부위로 집중되지 않기 때문이다. 즉 균열의 끝부분이 인장력에 취약하기 때문에 균열이 쉽게 전개되는 현상을 균열차단선 이후는 응력에 취약한 부위의 제거 및 넓은 범위로 응력을 배분하는 것이다. 또한 균열의 차단선까지 진행되는 동안 모르타르의 초기경화가 이루어져 균열 발생을 억제된다.

본 연구는 균열차단막의 균열 억제 원리와 메커니즘을 규명하였으며 이는 공동주택 바닥 마감 하자의 중요한 원인이 되었던 미장 균열의 차단 원리를 규명하여 보다 효율적인 균열차단 공법 적용과 개발에 기초자료로 활용될 수 있다.

요 약

최근 주택 건설은 양적으로 팽창하면서 신공법, 신소재의 개발로 품질에 많은 발전을 하고 있으나 공동주택 공사 중 방바닥 미장은 인력난과 공기단축을 해결하기 위해 기계화 시공을 함으로서 방바닥 미장의 크랙발생 및 들뜸 현상으로 인한 하자 발생으로 경제적, 시간적 낭비가 많다. 공동주택 바닥미장의 균열은 재료적인 측면에서 볼 때 사용재료의 구성과 시공정도, 양생, 보양방법에 따른 각 요인이 복합적으로 작용하여 발생된다. 그러나 재료적인 측면에서 위 요인들을 제어하여 균열을 부분적으로 억제할 수 있으나 근본적인 균열방지는 불가능하다. 균열의 발생을 억제하기 위해서는 바닥미장 균열의 발생원인과 균열 저감기술에 대한 논리적인 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 바닥미장 균열의 원인과 근본적인 억제를 위한 균열차단막의 메커니즘을 분석하고자 한다.

키워드 : 미장공사, 균열, 구조 메커니즘, 공동주택

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MEST) (NO. 2011-0001031)

References

1. Hyundai development company institute of technology. [A study of performance and feasibility of half self leveling mortar]. Seoul (Korea): Hyundai development company; 2008 Feb. 126 p. Korean.
2. Calson RW, editors, Dry shrinkage of concrete as affected by many factors. Proceedings of the 41st Annual Meeting of the American Society for Testing and Materials; Philadelphia (PA): America Concrete Institute; 1938, 419-40.
3. Ferraris CF, Wittman FH. Shrinkage mechanism of hardened cement paste. Cement and Concrete Research, 1987 May;17(3):453-64.
4. Kim TH, Kim HR, Jo HK, Kim GD, Seo SS. An experimental study on the analysis and the reduction of defects for Ondol wooden floor coverings in apartment housing. Journal of the Architectural Institute of Korea, 2009 Oct;29(1):503-6.
5. Go SS, Lee JY. An experimental study on the crack prevention of the surface finishing mortar in Ondol floor

- structure. Journal of the Architectural Institute of Korea, 1998 May;14(4):369–77.
6. Jung CH, Lee BH. A quality research as proportion of subslab concrete. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2009 Nov;9(2):308–8.
 7. Lee DG, Han SI, Choi DJ, Kang C, Kim JS, Kim JM. The experimental study on the plaster mortar using recycled fine aggregate. Journal of Korea Concrete Institute, 2008 Feb;20(1):473–6.
 8. Lee WY, Lee DG, Han SI, Kwak EG, Kim JW, Kim JM. The strength properties of Latex–modified mortar using recycled fine aggregate. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2009 Nov;9(2):179–182.
 9. Jung HY and Yun SH. The comparative study of cement flooring plastering and self leveling plastering in apartment ground floor. Journal of Korea Institute of Building Construction, 2009 Nov;9(2):308–8.
 10. Dong–San Corp. [Optimal estimation of the house of commons on the floor of a structure]. Seoul (Korea): Dong–San construction research institute; 1992. 110 p. Korean.
 11. Hwang JH. A study of auto horizontal function and crack suppression function with a mortar [master' s thesis]. Seoul (Korea): Seoul National University; 1997. 70 p.
 12. Min CS. [Reinforced concrete]. 2nd ed. Seoul (Korea): Goomibook; 2010. 469 p. Korean.
 13. American Concrete Institute. Design for effects of creep, shrinkage and temperature in concrete structure. ACI SP–27, American Concrete Institute; 1971.
 14. Jo YG, So YS. A study on the moisture diffusion and shrinkage of polymer–modified mortars. Journal of he Architectural Institute of Korea, 1996 Nov;12(11):181–8.
 15. Troxell GE, Raphael JM, Davis RE. Influence of aggregate type on drying shrinkage and creep. Proceedings of the 61st Annual Meeting of the American Society for Testing and Materials; Philadelphia (PA): America Concrete Institute; 1958. p. 1102–20.
 16. Korea Concrete Institute. [2007 Revised Criteria of Structural Concrete]. 1st ed. Seoul (Korea): Kimundang; 2008. 523 p. Korean.
 17. Comit E, Euro–International Du B, Eton. CEB–FIP Model Code. 1st ed. London (UK): Thomas Telford Services Ltd.; 1993. 437 p.