

점토바닥벽돌의 품질 및 시공기준 연구

A Study on the Construction Specification and Quality Assurance Criteria in Clay Paver

박 대 근*
Park, Dae-Gun

이 상 염**
Lee, Sang-Yum

김 균 태***
Kim, Kyoon-Tai

요 약

최근 들어 도심지 보도 또는 아파트 단지내 도로 등에 시공되는 보도블록에 대한 소비자의 눈높이가 높아짐에 따라 과거에는 콘크리트 블록 일색이었던 보도포장 재료가 점토바닥벽돌, 천연석 또는 나무 등으로 다양화·고급화되고 있다. 그 중 특히 사람에게 친환경·친인간적인 점토바닥벽돌의 판매량은 해마다 두 자리수 이상의 성장률을 보일만큼 수요자가 다양하고 많아지고 있으나 시공 후 단시간 내에 '모서리 깨짐', '동결 파손', '휨파괴' 및 '줄눈 벌어짐' 등의 파손이 빈번하게 발생되고 있어 내구성 문제가 지적되고 있다.

점토바닥벽돌은 요업제품의 특성상 벽돌끼리 부딪힐 경우에는 쉽게 깨지는 특성을 가지고 있으며, 물을 쉽게 흡수하는 성질이 있어 동결로 인한 부피 팽창 파손에 비교적 취약할 뿐만 아니라 생산설비와 공정관리 등 생산과정의 미세한 차이에 따라 제품의 강도 또는 흡수율 등 물성에 대한 편차가 크게 발생한다. 그리하여 엄격한 품질관리 기준에 따라 생산과 시공을 하지 않을 경우, 제품에 하자가 발생하여 유지보수에 많은 비용이 소요된다.

본 연구에서는 점토바닥벽돌 포장에서 흔히 발생하는 파손 증상을 유형별로 분류하여 원인을 분석하였으며, 필요시 압축 강도 및 흡수율 시험 등을 통하여 벽돌의 생산, 시공 및 품질관리 기준 등 광범위한 부분에 걸쳐 해결방안을 제시하였다.

키워드 : 점토바닥벽돌, 모서리 깨짐, 동결 파손, 휨파괴, 줄눈 벌어짐

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

지금까지 국내에서 흔히 볼 수 있었던 점토벽돌은 대표적인 요업(窯業)제품중의 하나로, 점토(또는 고령토 등)를 주원료로 하여 1200℃ 이상의 고온의 소성로에서 구워 만든 재료를 말한다. 점토벽돌은 건물을 짓는데 이용되는 건축용 재료가 대부분이었으나, 벽돌 소재의 친환경·친인간적인 요소가 부각되어 10여 년 전부터는 토목용 즉, 도로의 일부분인 보도블록용 재료로 그 쓰임새가 확대되었다.

초기에는 아파트 단지내 보도, 덕수궁 돌담길 또는 인사동길 등 주로 특정 지역이나 특화된 가로에서 사용되던 점토바닥벽돌이

수년 전부터는 시내 주요 도로의 보도 공사에 사용되고 있으며 해마다 두 자리수 이상의 성장률을 보일만큼 수요처가 다양하고 많아졌다. 이것은 점토바닥벽돌이 일반 콘크리트 블록보다 제품 가격면에서 2~3배 이상 비싸긴 하지만 산뜻하고 자연적인 질감을 선호하는 수요자가 그만큼 많아졌기 때문인 것으로 판단된다.

점토바닥벽돌의 수요가 증가됨에 따라 도심지 시내 곳곳에서 벽돌로 시공된 보도 포장을 쉽게 발견할 수 있는 반면, 시공 후 얼마 지나지 않아 비슷한 유형의 파손이 여러 현장에서 빈번하고 반복적으로 발생하고 있어 내구성 문제가 지적되고 있다. 또한 점토바닥벽돌의 시공과 품질에 관한 국가 기준의 부재로 여러 가지 문제점에 노출되어 있어, 하자 발생시 점토바닥벽돌 생산자와 시공자 그리고 발주자 간에 책임 소재를 규명하는데 어려움을 겪고 있다.

* 일반회원, 서울시청 주무관, dgpark94@seoul.go.kr

** 일반회원, 서울시청 주무관, 공학박사(교신저자), slee11@seoul.go.kr

*** 종신회원, 한국건설기술연구원 건설관리경제연구실 수석연구원, 공학박사, ktkim@kict.re.kr

이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 점토바닥벽돌의 품질 및 시공분야에 초점을 맞추어 세부적인 문제점과 원인을 분석하고, 대책으로써 시공가이드라인을 제시하여 점토바닥벽돌 포장의 내구성 향상에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 범위

점토바닥벽돌로 시공된 현장에서 발견 할 수 있는 하자 유형을 요약해 보면 표 1과 같다.

표 1. 점토바닥벽돌 포장의 하자 유형

구분	제품 하자			
유형	모서리 깨짐	동결파손 (동파)	휨파괴	표면오염 (백화)
구분	구조적 하자			
유형	침하 (부분/전체)	단차	물고임	줄눈 벌어진 (벽돌 빠짐)

본 연구에서는 표 1의 여러 가지 하자 유형 중에서 특히 점토바닥벽돌에서 두드러지게 반복되는 파손 유형인 벽돌의 일부가 깨져서 떨어져 나가는 파손 현상인 “모서리 깨짐”, 동결팽창 작용의 반복으로 벽돌 표면이 떨어져 나가는 “동파”, 하중에 의해 벽돌이 두 개로 쪼개지는 “휨파괴”, 벽돌끼리 맞물림 효과가 사라지는 “줄눈 벌어진” 파손을 연구 범위에 포함시켰다.

구조적 하자 중 침하, 단차, 그리고 물고임 유형은 기층(또는 보조기층)의 충분한 다짐으로 해결이 가능한 부분이기 때문에 본 논문에서는 논외로 하였으며, 표면 오염(백화)은 화학적 반응에 의한 현상으로 상당히 다양한 변수가 있기 때문에 향후 연구 과제로 남겨 두었다.

2. 점토바닥벽돌 기준 현황

2.1 품질 기준

외국에서는 엄격한 품질 기준에 의해 점토바닥벽돌이 관리되고 있다. 그러나 우리나라에서는 적합하지 못한 미장용 국가기준(KS)을 사용하거나 특정 기관(조합)에서 만든 민간표준에 의해 관리되고 있는 실정이다. 국·내외 점토바닥벽돌의 품질 기준 현황을 비교해 보면 표 2와 같다.

현재 국내에서 점토바닥벽돌에 대한 품질기준을 적용할 수 있

는 유일한 국가 기준은 KS L 4201(점토 벽돌, Clay brick)이다. 하지만 KS L 4201 규정은 조적 또는 미장용으로 사용되는 건축용 재료에 적합한 것으로 포장(Paver)용으로 사용하는 데는 적합하지 못하다. 그럼에도 불구하고 국가종합전자조달(나라장터) 등에서는 점토바닥벽돌 제품의 품질 수준을 결정하는 기준으로 KS L 4201을 채택하고 있다. 그러나, 최근 서울시에서는 서울특별시 전문시방서(10-5-3 벽돌포장)의 재료 부분에서 벽돌의 품질기준으로 채택하여 사용해 오던 KS L 4201 규정의 사용을 금지하고, 미국의 ASTM C 902 기준 중 일부 항목을 적용하여 품질관리를 시행하고 있다.

표 2. 국·내외 점토바닥벽돌의 품질 기준

시험 종류	국내 기준		국외 기준	
	KS 규격 ⁽¹⁾	단체표준 ⁽²⁾	미 국 ⁽³⁾	독 일 ⁽⁴⁾
휨강도 (MPa, 이상)	-	· 평균: 5 · 개 개: 없음	-	· 평균: 10 · 개 개: 8
압축강도 (MPa, 이상)	· 개 개: 20.6 (1종)	· 평균: 30 · 개 개: 없음	· 평균: 55.2 · 개 개: 48.3	· 평균: 80 · 개 개: 70
흡수율 (% 이하)	· 개 개: 10 (1종)	· 평균: 9 · 개 개: 없음	· 평균: 8 · 개 개: 11	· 개 개: 5

주 (1) 한국표준협회(2003) KS L4201(점토 벽돌, Clay brick)
 (2) 한국점토벽돌공업협동조합(2006) 점토바닥벽돌 단체표준(KCBIC0002-1569)
 (3) 미국재료시험학회(2001), ASTM C 902(Pedestrian and Light Traffic Paving Brick)
 (4) DIN 18503(Clinker bricks for paving - Requirements and test methods)

2.2 시공 기준

현재 도로공사 표준시방서(건설교통부, 2003)에서 보도공사는 도로의 부대공사로 취급되고 있을 만큼 관심이 적은 분야로 취급되고 있다. 뿐만 아니라 점토바닥벽돌 재료에 대한 언급은 누락된 채 콘크리트 블록포장(I.L.B)에 대한 기준만 서술되어 있다. 또한, 보도 설치 및 관리지침(건설교통부, 2007)에서도 상황은 마찬가지로 확인할 수 있다. <표 3>

콘크리트블록과 점토바닥벽돌은 블록(또는 벽돌)간 인터로킹(맞물림) 효과를 이용한다는 기술적 원리에서는 공통점이 있으나 재료의 물리적 성질은 서로 다르기 때문에 각기 다른 시공 기준이 필요하다고 할 수 있다. 한편, 서울특별시 전문시방서의 경우에는 점토바닥벽돌 포장에 대한 시방기준이 “벽돌 포장”이라는 공종으로 설명되어 있지만, ‘벽돌 간격’, ‘안정층 모래’ 및 ‘줄눈 모래 포설 후 다짐’ 등에 대한 세부적인 시공 기준이 없다.

표 3. 벽돌포장과 콘크리트 블록 포장의 시공 기준

대상	도로공사 표준시방서(1)	서울특별시 전문시방서(2)	보도 설치 및 관리지침(3)
점토 바닥벽돌 포장	벽돌 간격	(기준 없음)	(기준 없음)
	안정층모래	(기준 없음)	(기준 없음)
	기층 다짐	(기준 없음)	(기준 없음)
	줄눈 모래 포설후 다짐	(기준 없음)	(기준 없음)
	벽돌 표면 다짐	(기준 없음)	(기준 없음)
콘크리트 블록포장 (I.L.B)	블록 간격	· 2~3mm 유지	· 2~3mm 유지
	안정층모래	· 최초 110~200kg 이하로 다짐 · 다짐 후 두께: 40mm	· 초기 기전력 1.1~2.2kN로 다짐 · 다짐 후 두께: 40mm
	기층 다짐	(기준 없음)	(기준 없음)
	줄눈 모래 포설후 다짐	· 모래 살포하여 충전시켜 다짐	· 모래 깔 후 충전시키며 다짐
	블록 표면 다짐	· 진동다짐 3~4회 실시	· 콤팩터 등의 장비로 3~4회 다짐

주 (1) 건설교통부(2003) 도로공사 표준시방서(14-1 콘크리트 블록포장)
 (2) 서울특별시(2006) 서울특별시 전문시방서 토목편(10-5-3 벽돌포장)
 (3) 건설교통부(2007) 보도 설치 및 관리지침

3. 파손 유형별 원인 분석

3.1 모서리 깨짐

점토바닥벽돌의 모서리 깨짐은 벽돌과 벽돌이 맞닿은 부분이 부채꼴 모양의 조각으로 떨어져 나가는 현상을 말한다. 블록이 맞닿아 있거나 떨어져 있는 상태에서 수평하중으로 블록끼리 부딪힘이 발생할 경우, 콘크리트 블록은 콘크리트 골재 또는 시멘트 페이스트의 일부가 부스러지거나 마모되는 반면, 점토바닥벽돌은 콘크리트 블록 보다 큰 취성 파괴를 일으켜 벽돌 모서리 부근에서 균열 또는 깨짐 현상이 발생하게 된다(그림 1~3).

점토바닥벽돌은 흙을 주원료로 제토·성형한 후 1,200℃ 이상의 고온에서 소성을 하여 만든 제품으로 콘크리트 못지않게 높은 강도 특성을 가졌다. 하지만 외력에 의한 큰 충격 또는 수평하중이나 팽창에 의한 벽돌끼리의 부딪힘 등이 발생되면 맞닿는 부위 즉, 모서리가 마치 도자기 귀가 깨지듯 쉽게 깨지게 된다. 이러한 증상은 다음과 같은 원인으로 발생하는 것으로 판단된다.

첫째, 시공시 이웃되는 벽돌끼리 일정 간격 없이 붙여서 시공한 경우이다(그림 1).

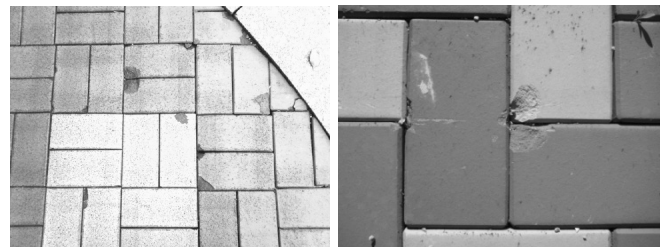


그림 1. 모서리 깨짐 파손 (1)

점토 벽돌은 환경에 따라 ‘습윤 팽창’, ‘열 팽창’, ‘동결 팽창’을 하는 특성을 지녔다. 따라서 벽돌 깔기시 일정 간격을 유지하지 않고 다닥다닥 붙여서 시공할 경우, 환경변화(물, 온도, 동결 등)에 따라 부피 팽창을 하게 되어 이웃하고 있는 블록끼리 서로 미는 힘이 작용하게 된다. 이러한 힘에 의하여 취약한 부위인 모서리, 귀가 깨지게 되는 것이다(그림 2). 흥미로운 부분은 시공 완료 후 아무런 힘(수평 또는 수직 하중)을 받지 않고도 파손이 일어날 수 있다는 것이다. 이러한 상황에서 수평 하중을 받게 된다면 파손 증상은 더 심해지고 가속화 될 것이다.

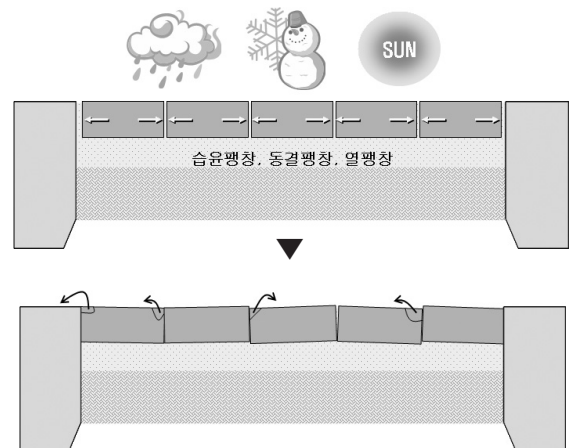


그림 2. 팽창에 의한 파손 원리

둘째, 줄눈폭 기준에 따라 시공을 제대로 하긴 했으나, 하부(기층 또는 모래 안정층)의 다짐이 부족한 경우이다. 이러한 경우 시간이 지남에 따라 안정층 모래는 느슨한 쇄석 기층의 골재 사이를 채우게 되고, 그 후 줄눈을 채우고 있던 모래가 하부로 내려가게 되어 줄눈 틈이 텅 비게 된다. 이러한 상태에서 수평 또는 수직 하중을 받은 벽돌이 이웃 벽돌과 부딪히게 되면 모서리가 깨질 뿐 아니라 부분적인 침하까지 동반하게 되어 구조적인 파손이 발생하게 된다(그림 3).

셋째, 줄눈 모래의 충전이 제대로 되지 않은 경우이다. 줄눈 모래 포설 후 다짐을 충분히 하지 않았거나, 입도에 맞지 않는

모래를 포설한 경우가 이에 해당된다. 이러한 경우도 벽돌의 수평 이동이 발생하여 모서리 파손의 원인이 된다.



그림 3. 모서리 깨짐 파손 (2)

3.2 동결파손(동파)

점토바닥벽돌의 동파는 벽돌 자체가 흡수한 수분이 동결하여 부피가 팽창하면서 균열 또는 표면 박리 등의 형태로 발생된다(그림 4). 동파는 일반적으로 흡수율과 기공율이 클수록 현저히 나타난다고 알려져 있다. 점토 제품의 기공 내에는 어떤 형태로든지 수분(물)이 있게 되며, 이러한 수분이 동결되면 약 9%의 체적이 팽창을 일으키고, 이 때 팽창압에 의해 파괴가 발생하게 된다(한국건설자재시험연구원, 2006).



그림 4. 점토바닥벽돌의 동결융해파손(동파)

3.3 휨파괴

점토바닥벽돌의 휨파괴는 그림 5와 같이 특정 부분에서 벽돌이 두 개로 쪼개지는 파손이다. 이러한 파손이 발생하는 원인은 재료가 적정 품질 기준(흡수율, 강도, 동결융해 저항성 등)에 미달되거나 시공시 다짐이 부족한 경우 또는 종방향 절단 블록을 사용한 경우에 나타난다.

3.3.1 원인 1 : 시공 분야

벽돌 포장 공사시 다짐이 충분히 이루어지지 않으면 기층에서 침하가 발생하게 된다. 그렇게 되면 기층 위에 포설된 안정층 모래가 기층의 침하된 부분을 메우게 되어 벽돌 하부층이 수평 상태를 유지하기 어렵게 된다. 이러한 상태에서 침하가 발생된 부분 위에 놓인 벽돌이 물리적인 하중을 받게 되면, 벽돌은 하중을 하부로 일정하게 분산시키지 못하고 벽돌의 특정 부분에 응력이 집중되어 파손이 발생 된다(그림 5 (a)).



(a) 점토바닥벽돌

(b) 절단블록

그림 5. 점토바닥벽돌의 휨파괴

또한 보도의 경계부 또는 구조물 주변 시공시 설계도에 명시된 대로 보도폭을 맞추다 보면 벽돌을 불가피하게 절단해야 하는 경우가 발생한다. 이때 원장 벽돌을 장방향으로 절단하여 그 절단된 조각 벽돌을 마무리용으로 사용하는 경우가 있는데, 이럴 경우 절단된 벽돌이 견딜 수 있는 파괴하중이 현격히 저하되어 원장 벽돌보다 쉽게 파손 된다(그림 5 (b)).

3.3.2 원인 2 : 재료 분야

점토바닥벽돌의 국가 기준(KS) 부재에 대한 문제 해결을 위해 한국점토벽돌공업협동조합에서는 점토바닥벽돌 단체표준(2007) KCBIC 0002-1569(이하 '단체표준' 이라 함)를 제정하여 점토바닥벽돌의 품질 향상을 위한 자구 노력을 수행하고 있다. 하지만 '단체표준'의 기준 결정을 위해 수행된 "점토 바닥벽돌의 성능평가 및 품질기준(안) 연구"의 보고서에 의하면, 점토바닥벽돌의 품질 기준 결정을 위해 국내에서 생산되는 점토바닥벽돌 제품을 대상으로 각종 실험을 선행한 후 그 실험 결과에 따라 국내 생산업체가 생산 가능한 수준을 고려하여 기준을 정한 것으로, 공학적 요구 성능에 대한 분석은 누락되어 있다.

'단체표준'에서 제시한 품질 기준 결정 논리에 대한 잘잘못은 차치하더라도, 대부분의 기준이 국외 기준과 비교해 보았을 때 상대적으로 매우 낮은 수준임을 알 수 있다(표 2). 이렇듯 관대한 우리나라의 품질 기준은 수직 하중에 의한 휨파괴에 취약할 수밖에 없는 것으로 판단된다.

3.4 줄눈 벌어짐 (벽돌 빠짐)

점토바닥벽돌 포장은 수직 또는 수평 하중이 가해졌을 때, 인접한 벽돌과의 맞물림(수평/수직/회전 맞물림)으로 하중 분산 효과를 이용하는 포장 방법이다. 이러한 맞물림(Interlock) 효과는 하부층의 다짐이 잘되어진 상태에서 줄눈 채움 모래의 입도가 양호하고 밀실하게 충전되었을 경우에 극대화 될 수 있다.

하지만 시간이 지남에 따라 맞물림 효과가 저하되는 경우를 어렵지 않게 찾아볼 수 있다. 그 원인 중에서 가장 흔한 증상은 줄눈 모래의 유실이다. 벽돌 포장은 시공시 양질의 줄눈 모래로

밀실하게 충전하였다 하더라도 시간이 지남에 따라 보행자나 차량의 통행, 강우(장마, 폭우), 식물의 성장, 곤충(개미 등)에 의해서 줄눈 모래가 유실됨으로 인해 바닥포장재의 맞물림이 저하되어 포장면 전체의 파괴를 유발하는 문제점을 가지고 있다.

평지에서 줄눈 모래의 유실은 벽돌끼리 부딪힘을 유발하여 ‘모서리 깨짐’ 등의 표면적인 파손을 일으키는데 그치지만, 경사진 곳이라면 문제가 더 심각해 질 수 있다. 그림 6의 (a)와 같이 초기에는 ‘줄눈 벌어짐’ 현상이 발생하다가 시간이 지남에 따라 (b)와 같이 벌어진 줄눈 사이로 벽돌이 이동하다가 부딪히면서 ‘모서리 깨짐’ 파손이 발생된다. 또 줄눈 모래가 유실되고 안정층 모래가 굳어 쿠션 역할을 못하게 되어 (c)와 같이 보행시 블록이 상하로 움직이면서 흔들리는 소리를 내는 경우도 발생한다. 이러한 상태에서 비가 오게 되면 빗물이 블록 하부에 고이게 되고, 이 때 보행인이 블록을 밟으면 펌핑 현상에 의해 빗물과 모래가 바깥으로 분출되어 보행자의 불편을 야기할 뿐 아니라, 모래가 유실되어 하부가 더욱더 취약해 지게 된다.

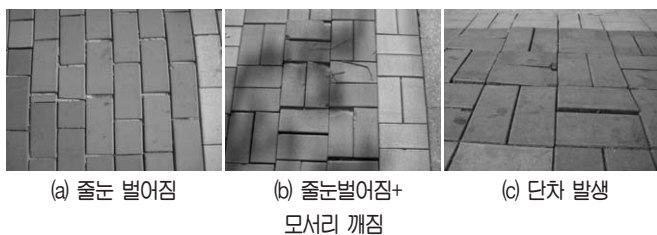


그림 6. 경사로 파손

경사지에 시공된 벽돌 포장에서 볼 수 있는 또 다른 현상은 벽돌의 슬라이딩 때문에 발생한다. 경사지 벽돌에 채워진 줄눈 모래가 유실되면 벽돌이 ‘모래 안정층’을 따라 슬라이딩 현상이 발생하게 된다. 그 결과 상단부의 벽돌에는 ‘줄눈 벌어짐’ 현상이 하단부에는 ‘모서리 깨짐’ 파손이 발생하게 된다(그림 7).

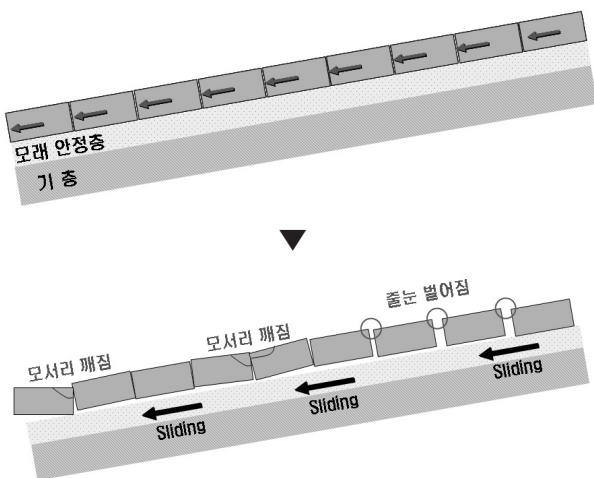


그림 7. ‘줄눈 벌어짐’의 원리

이러한 상태에서 오토바이 또는 차량 등의 통행은 슬라이딩 현상을 가속화시키게 되어 파손 증상은 더 심각해진다. 또한 ‘줄눈 벌어짐’ 현상은 파손으로 그치지 않고, 여성의 하이힐 등을 끼이게 하거나, 벽돌 하부 모래의 수평이 유지되지 않아 부분적으로 밟았을 때 반대편이 솟아올라 걸려 넘어지는 사고를 발생시키는 등 보행인의 안전과도 깊은 연관이 있다.

4. 시공 가이드라인

4.1 모서리 깨짐

모서리 깨짐 파손을 줄이기 위한 해결 방안과 그에 대한 대책을 제시하면 다음과 같다.

4.1.1 벽돌 간격 준수

콘크리트 블록은 몰드의 교체만으로 여러 가지 다양한 블록(I형, U형, S형 등)을 만들 수 있을 뿐만 아니라 옆면의 돌기 모양도 원하는 형태와 간격으로 손쉽게 만들 수 있는 장점이 있어 시공시 자연스럽게 일정한 간격(2~3mm)이 유지된다. 반면에 벽돌의 경우에는 돌기 제품을 생산할 수 있는 설비를 갖춘 업체가 드물기 때문에 일정 간격을 띄워 시공하기가 매우 어려운 실정이다. 일례로, 현재 조달청에 등록된 점토바닥벽돌 생산업체 17개 중 돌기 제품을 생산할 수 있는 설비를 갖춘 업체는 단 1곳뿐이다.

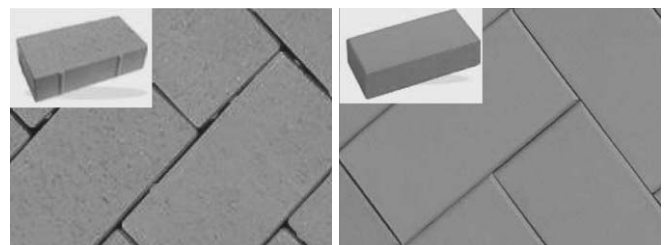


그림 8. 돌기 유무에 따른 시공 후 모습(줄눈 간격 고려 없이 시공)

그림 8은 벽돌 시공시 줄눈 간격에 대한 고려 없이 시공한 두 가지 시공 예를 보여 주고 있다. (a) 제품은 벽돌 옆면에 돌기가 있기 때문에 시공시 줄눈 간격 고려하지 않고 시공하여도 돌출된 돌기로 인하여 일정 간격을 유지하게 된다. 반면에 (b) 제품은 벽돌끼리 맞닿아 시공되어 모서리가 깨지는 파손이 발생할 가능성이 매우 높아진다.

이러한 파손을 방지하기 위한 방안으로 첫째, 점토바닥벽돌의 성형 공정에서 사용되는 토련기(Extruder)를 교체하는 방법이 있다. 토련기는 제토 공정을 마친 재료를 바닥벽돌 형태로 만들어 내기 위하여 진공으로 압출 성형하는 설비이다.

돌기가 달린 벽돌을 만들 수 있는 토련기(그림 9 (a))는 단면

적이 가장 넓은 면(시공 후 노출되는 면)을 밀어낸 후 컷팅을 하기 때문에 옆면에 돌기를 만들 수 있는 반면, 그렇지 못한 토련기(그림 9 (b))는 단면적이 좁은 방향으로 밀어낸 후 와이어로 옆면을 컷팅하기 때문에 돌기를 만들 수 없다.

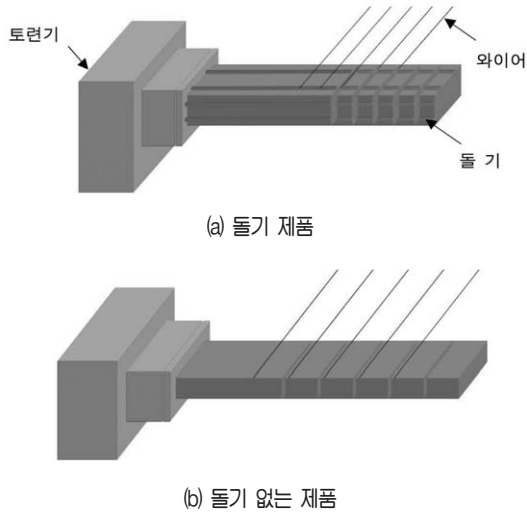


그림 9. 토련기에 따른 점토바닥벽돌의 성형 원리

돌재, 돌기가 없는 벽돌의 경우 인위적으로 간격을 두어 시공하는 방법이다. ‘실 줄’을 띄워가며 벽돌 간의 간격을 시공 중간 중간에 계속 확인하면서 진행하는 방법과 일정 간격을 유지 시켜주는 ‘스페이서’를 끼워 시공 후 나중에 제거하는 방법이 이에 속한다. 하지만 두 가지 방법 모두 시공성 및 작업성이 떨어지기 때문에 공사 기간이 길어져 결국 공사비가 상승하게 되며, 벽돌 포장시 ‘실 줄’과 ‘스페이서’를 시공하는 인부에 대한 품이 현재 건설공사표준품셈에 존재하지 않아 공사비 반영이 어렵다는 단점이 있다.

4.1.2 줄눈 채움 모래 다짐 철저

줄눈 채움모래 포설 후 모래가 블록표면까지 충분히 충전될 때까지 반복하여 다짐을 하여야 한다(그림 10). 이 때 주의해야 할 점은 일반 다짐기로 다질 경우 다짐판이 벽돌모서리 등을 때려 깨질 우려가 있으므로, 고무 패드 등을 다짐판에 부착하여 다지는 것이 좋다.

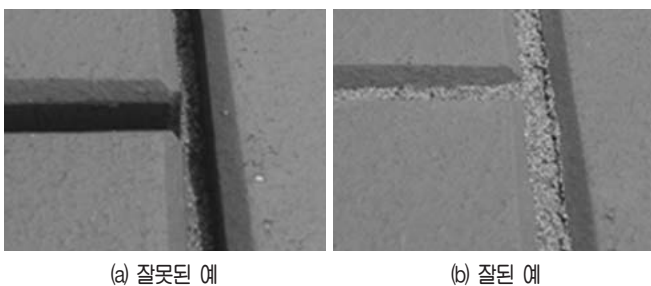


그림 10. 줄눈 채움 모래의 시공 예

4.1.3 적정 입도의 모래 사용

줄눈채움 모래(Joint Sand) 및 안정층 모래(Bedding Sand)에 대한 국내기준과 외국 기준은 표 4와 같다. 국외 기준은 입도 기준이 매우 엄격한 반면, 국내 기준은 매우 단순하고 입도 범위가 광범위하여 <그림 11>과 같이 입도가 불량한 모래의 사용이 가능하다. 이로 인하여 표준화된 시공이 어렵기 때문에 항상 잠재적인 부실시공 위험성을 내포하고 있다.



그림 11. 입도 불량 줄눈 채움 모래

표 4. 줄눈채움 모래(Joint Sand) 및 안정층 모래(Bedding Sand)에 대한 재료기준

대상	국내기준 (1)	국내기준 (2)	국외기준																																				
			일본(3)	영국(4)	미국(5)																																		
안정층 모래 (Bedding sand)	입도 0~8mm	깨끗하게 씻고 0.3mm (NO.50)체 크기의 알갱이가 50% 미만인 강모래 또는 해사	· 최대입경 : 4.75mm 이하 · 75μm체 통과량 : 5% 이하 · 조립률(FM) : 1.5~5.5	<table border="1"> <tr> <th>Sieve (mm)</th> <th>% Passing</th> </tr> <tr> <td>10</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>95~100</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>85~99</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>30~70</td> </tr> <tr> <td>0.063</td> <td>0~4</td> </tr> </table>		Sieve (mm)	% Passing	10	100	8	100	6.3	95~100	4	85~99	0.5	30~70	0.063	0~4	<table border="1"> <tr> <th>Sieve (mm)</th> <th>% Passing</th> </tr> <tr> <td>10</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>95~100</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>85~100</td> </tr> <tr> <td>1.2</td> <td>50~85</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>25~60</td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td>10~30</td> </tr> <tr> <td>0.15</td> <td>2~10</td> </tr> <tr> <td>0.08</td> <td>0~1</td> </tr> </table>		Sieve (mm)	% Passing	10	100	5	95~100	2.5	85~100	1.2	50~85	0.6	25~60	0.3	10~30	0.15	2~10	0.08	0~1
				Sieve (mm)	% Passing																																		
10	100																																						
8	100																																						
6.3	95~100																																						
4	85~99																																						
0.5	30~70																																						
0.063	0~4																																						
Sieve (mm)	% Passing																																						
10	100																																						
5	95~100																																						
2.5	85~100																																						
1.2	50~85																																						
0.6	25~60																																						
0.3	10~30																																						
0.15	2~10																																						
0.08	0~1																																						
줄눈 채움 모래 (Joint sand)	입도 0~3mm		· 최대입경 : 2.36mm 이하 · 75μm체 통과량 : 10% 이하	<table border="1"> <tr> <th>Sieve (mm)</th> <th>% Passing</th> </tr> <tr> <td>5</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td>95~100</td> </tr> <tr> <td>1.2</td> <td>70~100</td> </tr> <tr> <td>0.6</td> <td>40~100</td> </tr> <tr> <td>0.3</td> <td>20~40</td> </tr> <tr> <td>0.15</td> <td>10~25</td> </tr> <tr> <td>0.08</td> <td>0~10</td> </tr> </table>		Sieve (mm)	% Passing	5	100	2.5	95~100	1.2	70~100	0.6	40~100	0.3	20~40	0.15	10~25	0.08	0~10																		
Sieve (mm)	% Passing																																						
5	100																																						
2.5	95~100																																						
1.2	70~100																																						
0.6	40~100																																						
0.3	20~40																																						
0.15	10~25																																						
0.08	0~10																																						

주 (1) 건설교통부(2003), 도로공사 표준시방서(14-1 콘크리트 블록포장) 건설교통부(2007), 보도 설치 및 관리지침
 (2) 서울특별시(2006), 서울특별시 전문시방서 토목면(10-5-3 벽돌포장)
 (3) 일본 인터로킹블록포장기술협회(2007.3), 인터로킹 블록포장 설계시공요령
 (4) Interpave, SPECIFICATION OF CONCRETE BLOCK PAVING
 (5) 미국재료시험학회, ASTM C 33 (Grading Requirements for Bedding Sand)
 미국재료시험학회, ASTM C 144 (Grading for joint Sand)

안정층 모래와 줄눈 채움 모래의 품질은 벽돌간 맞물림 효과에 미치는 영향이 크기 때문에 모래의 입도가 적당하지 않으면 블록의 이동이나 국부침하를 유발하여 블록 파손을 발생시키는 원인이 된다. 따라서 우리나라의 모래 입도 기준에 대한 연구가

수행되어 최적 입도가 결정되기까지 상당 기간이 소요된다면 우선, 외국 기준을 도입할 필요가 있다. 이렇게 외국기준을 적용하면 맞물림 효과를 증대시켜 깨짐과 국부침하를 최소화할 것으로 판단된다.

입도 기준 못지않게 중요한 재료 조건은 줄눈 채움 모래의 건조 상태이다. 수분 함유율이 높은 모래는 그렇지 않은 모래보다 점착력이 크기 때문에 줄눈 모래의 충전이 효과적으로 되지 않아 맞물림 효과를 감소시키게 된다. 이에 대한 대책으로 건조상태의 줄눈 채움 모래를 사용하도록 시방 기준을 정비할 필요가 있다.

4.2 동결파손(동파)

점토바닥벽돌의 내구성에 영향을 미치는 중요한 요소로는 휨 강도, 압축강도, 흡수율, 내동결융해성 등이 있다. 본 논문에서는 그 중 압축강도, 휨강도, 흡수율에 대한 실험을 실시하여 우리나라 기준과 외국기준을 적용하여 비교 분석하였다. 동결융해시험은 오랜 시험 기간과 고가의 시험 비용을 필요로 하기 때문에 현실적으로 적용하기가 곤란할 뿐만 아니라, ASTM C 902-01a에 따라 동결융해저항성을 결정짓는 요소로 압축강도와 흡수율 기준을 대체 적용한 사례가 있다. 따라서 본 논문에는 동결융해저항성을 실험대상에서 제외하였다.

4.2.1 시료 채취 및 시험

적정 강도와 흡수율 기준치를 결정하기 위하여 1997년부터 최근까지 서울시에 시공된 점토바닥벽돌 현장 14개를 선정한 후, 외관상 결함이 없는 시료를 15개씩 채취하였다. 채취된 15개의 시료는 5개씩 조를 이루어 각각 압축강도, 흡수율, 휨강도 시험에 사용되었다.

4.2.2 시험 결과 및 분석

외부 바닥면에 사용되는 점토바닥벽돌은 눈과 비 혹은 물침소 등에 의하여 물을 흡수하게 된다. 이러한 물의 흡수는 겨울철 기온이 영하로 내려가면 물을 흡수하고 있던 바닥벽돌이 동결융해가 반복되어 동해 및 동파가 발생하게 된다.

사계절이 비교적 뚜렷한 우리나라는 동결융해 작용에 의한 동파 발생이 가능한 기후 조건을 가지고 있다. 그러나 동파예방을 위해 마련된 품질기준(압축강도, 흡수율)을 외국의 그것과 비교해 볼 때 상당히 완화된 기준을 적용하고 있다는 사실을 확인할 수 있다(표 2).

압축강도와 흡수율 시험 결과를 비교·분석하기 위하여 우리나라의 '단체 표준' 과 우리나라와 기후가 비슷한 미국의 'ASTM C 902' 기준 중 물로 포화되어 얼려질 수 있는 경우에 사용되는

등급인 SX 등급 기준을 선택하였다.

표 5. 시험 합격률 비교

구분	합격률 (%)				
	압축강도	휨강도	흡수율	종합	
단체 표준	평균	100	85.7	77.8	78.6
	개개	-	-1	-	
미국	평균	64.3	-	55.6	50
	개개	71.4	-	100	

주 (1) 단체표준에 휨강도 개개 기준 적용시 합격률 : 57.1%

시료의 압축강도 시험을 수행한 결과, 14개 현장의 시료가 '단체 표준' 기준치에는 모두 합격하였으나 'ASTM C 902' 기준에는 64.3%(9/14)가 합격하였다(〈그림 12〉, 〈표 5〉).

흡수율 시험을 위해 사용한 시험법은 일반적인 흡수율 시험법인 상온법으로 수행하였다. 따라서 발수제가 도포된 것으로 추정되는 5개 현장 시료는 정확한 분석을 위해 합격률 계산시 제외하였다. 그 결과, '단체 표준' 기준에는 77.8%, 'ASTM C 902' 기준에는 55.6%로 저조한 합격률을 보였다(〈그림 13〉, 〈표 5〉).

우리나라의 '단체표준' 에서 제시된 기준은 사용자 입장을 고려한 요구 성능이 반영되지 않았기 때문에 동파 방지를 위해 요구되는 정확한 성능 기준을 실제 실험을 통하여 도출하는 것이 필요하다.

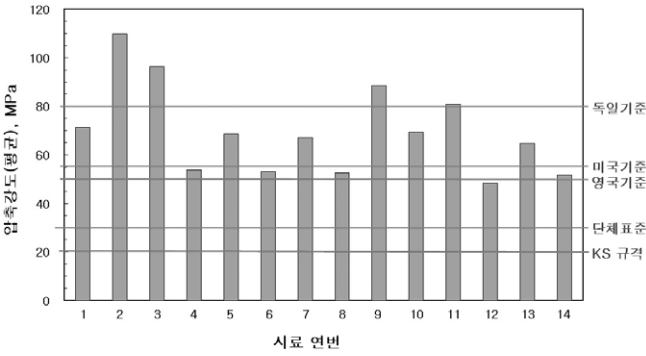
또한, 국내에서는 점토 바닥벽돌의 흡수량을 낮추고 오염 방지를 줄이기 위하여 일부 업체에서 발수제 등을 이용하여 표면을 코팅하기도 한다(한국건자재시험연구원, 2006). 하지만, 발수제 성분은 내후성이 크지 않기 때문에 외부 환경에 장시간 노출될 경우 발수 능력을 대부분 잃게 된다. 따라서 향후 점토바닥벽돌의 흡수율 시험 방법은 상온법이 아닌 끓임법을 사용하도록 해야 정확한 흡수율 시험이 가능할 것으로 판단된다.

4.3 휨파괴

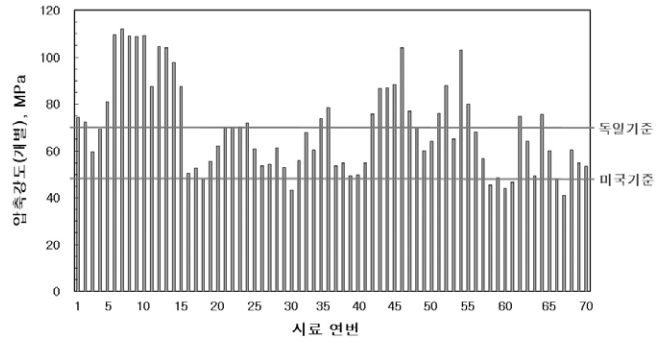
4.3.1 시험 결과 판정 기준

바닥에 설치되는 바닥재는 구조상 압축보다는 휨 하중에 의한 파괴가 일어나므로 점토바닥벽돌의 경우에도 휨강도에 의한 품질 관리가 이루어지고 있다. 압축강도와 휨강도는 재료별 상호 상관성을 가지고 있기 때문에 둘 중 어느 것을 품질기준으로 선택하여도 문제는 없을 것으로 판단되나, 현재 점토바닥벽돌의 압축강도와 휨강도에 대한 상관성 입증 자료가 없는 우리나라에서는 두 가지 항목에 대한 품질 기준이 모두 관리되어야 한다고 판단된다.

우리나라의 '단체 표준' 에도 휨강도에 대한 품질 기준 항목이 존재하지만, 휨강도 시험 결과를 판단하는 방법에 일부 문제점이

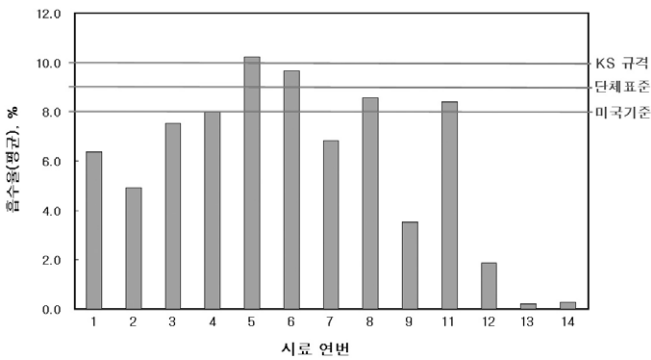


(a) 평균 압축강도

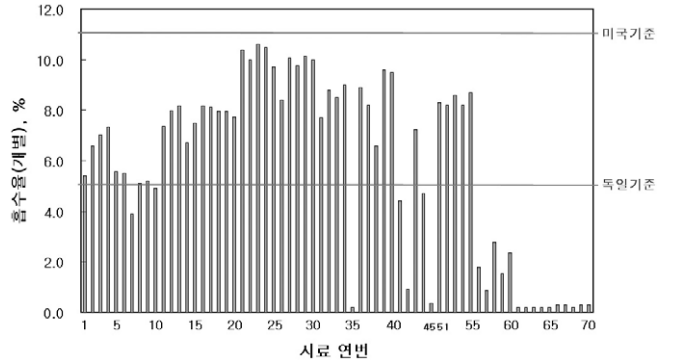


(b) 개개 압축강도

그림 12. 압축강도 시험 결과

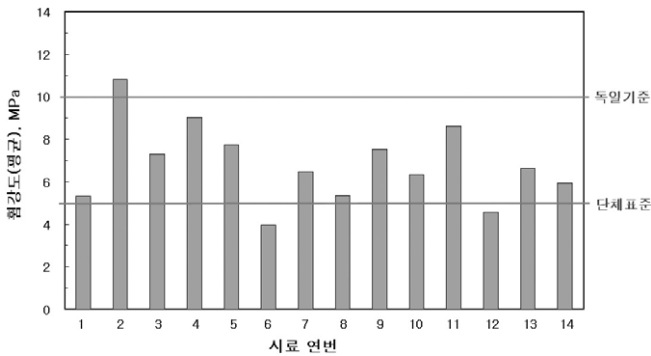


(a) 평균 흡수율

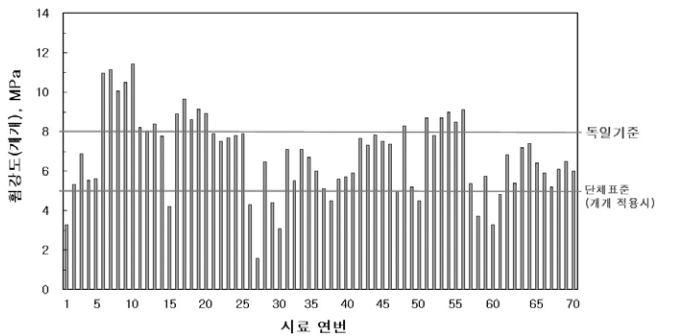


(b) 개개 흡수율

그림 13. 흡수율 시험 결과



(a) 평균 휨강도



(b) 개개 휨강도

그림 14. 휨강도 시험 결과

발견되었다. 표 2에서 확인할 수 있듯이 우리나라를 제외한 외국
의 경우, 휨강도를 비롯한 품질 기준 값에 대한 합격/불합격 판단
기준을 '개개 값'으로 관리하거나 '개개 값'과 '평균 값' 두 가지
모두를 적용하고 있는 반면, 우리나라의 '단체표준'에서는 '평균
값'만을 기준으로 적용하고 있다. 점토바닥벽돌의 휨강도 기준
을 '평균값'으로 관리할 경우의 문제점은 "시험 대상인 다섯 개
시료 중에서 '개개 값'이 5MPa 미만인 벽돌이 있을지라도 다섯

개 시료의 '평균 값'이 기준치(5MPa)를 초과하면 합격 처리"되
어 품질 기준에 미달되는 제품이 현장에 반입·시공되는 사례가
발생된다는 것이다. 참고로 점토바닥벽돌과 용도가 비슷한 '콘
크리트 인터로킹 블록'의 품질기준(KSF 4419)에서는 휨강도 기
준을 '개개 값'으로 적용하여 제품을 관리하고 있다.

휨 강도 시험 결과, '단체 표준'에서 제시한 휨강도 평균 기준
(5MPa) 적용시 85.7%의 합격률을 나타내었다. 한편 '단체 표준'

에 ‘개개 값’ 기준을 적용할 경우, ‘평균 값’ 적용시에 합격했던 재료(12개) 중 33%(4개)가 추가로 불합격 처리되어 합격률이 57.1%로 떨어지게 된다(〈그림 14〉, 〈표 5〉).

4.3.2 벽돌 절단 기준

보도블록 포장시 벽돌을 깔면서 시공하다 보면, 설계에서 이미 결정된 보도 폭원에 따라 벽돌을 절단하여 경계석 또는 구조물 주변을 마무리하는 경우가 흔히 발생한다. 이 때 벽돌은 시공되는 현장의 설계 패턴에 따라 종(장)방향, 횡방향, 그리고 2단(중+횡)방향으로 절단될 수 있는데, KS F4419에 따르면 벽돌이 종(장)방향으로 절단된다면 최대파괴하중이 현격히 저하된다.〈식 1〉 따라서 이러한 벽돌 상부에 하중이 재하 될 경우, 절단되지 않은 벽돌보다 휨파괴를 일으킬 가능성이 커지게 된다.

$$\text{휨강도 } MPa(N/mm^2) = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (\text{식 1})$$

휨강도 : 단위면적당 휨 하중에 대해 견딜 수 있는 강도

P : 시험기가 나타낸 최대파괴하중(N)

L : 지점간 거리(mm)

b : 지점간에 직각 방향의 평균 나비(mm)

d : 블록의 평균 두께(mm)

이러한 논리는 위의 휨강도 산정 공식의 주요 변수 중, 블록의 절단과 관련된 변수가 b(나비)와 관련되었다는 것으로 설명할 수 있다. 즉, KS F4419의 〈식 1〉에서 유도된 〈식 2〉와 같이 휨강도를 비롯한 다른 조건이 동일하면 나비(b)가 작아질수록 휨에 견딜 수 있는 최대파괴하중(P)이 작아진다는 것을 확인할 수 있다.

$$\text{최대파괴하중}(P=N) = \frac{MPa \cdot 2bd^2}{3L} \quad (\text{식 2})$$

현재 벽돌의 품질시험 중 휨강도 기준은 5MPa로 규정되어 있다. 하지만, 그림 15 (a)와 같은 벽돌이 휨강도 시험 결과 5MPa로 합격되어 현장반입이 되더라도 시공시 (b)와 같이 벽돌을 종(장)방향으로 1/2 절단하여 사용하게 된다면 절단된 벽돌의 최대 파괴하중은 절반으로 줄어들게 되어 파손에 취약하게 된다. 따라서 벽돌 시공시 가장자리 부분에서는 종(장)방향의 절단을 금지하고, 벽돌의 포설 패턴을 일부 변경해서라도 가급적 그림 15 (c)

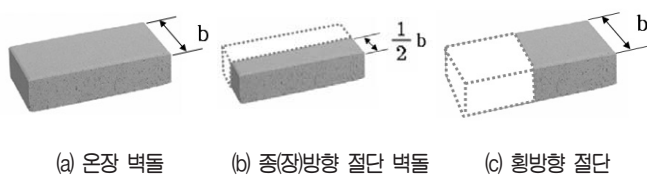


그림 15. 벽돌 절단 전·후

와 같이 횡방향으로 절단하여 마무리 시공해야 강도 저하로 인한 파손을 막을 수 있다.

4.4 줄눈 벌어짐 (벽돌 빠짐)

줄눈 벌어짐 증상은 경사지 시공과 줄눈 모래 유실의 두 가지 원인이 복합적으로 작용하여 발생한다. 경사지에 시공시 줄눈 벌어짐을 줄일 수 있는 방법은 두 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 일정 간격 마다 콘크리트 빔을 설치하여 벽돌의 슬라이딩을 줄이는 방법이 있다. 콘크리트 빔과 벽돌을 부착하여 상부로부터 밀려 내려오는 벽돌의 슬라이딩을 막아 줄눈 벌어짐이 커지는 것을 줄일 수 있다(그림 16).

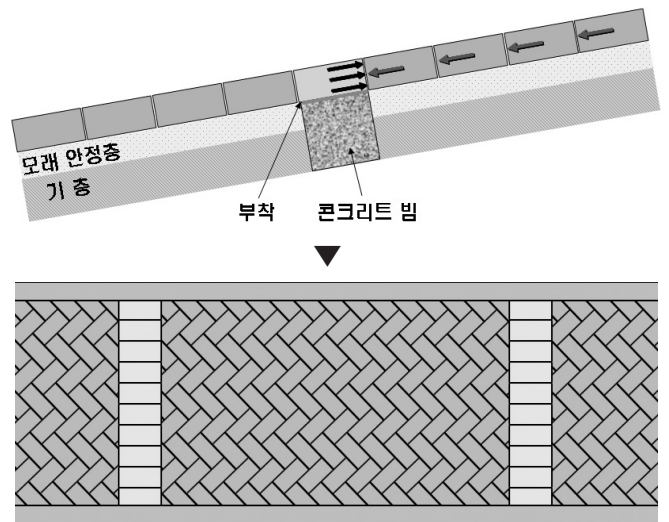


그림 16. 콘크리트 구채 설치

둘째, 경사지 시공시 깔기 패턴을 지그재그 패턴으로 유지하는 방법이다. 경사지 포장은 통행(사람, 오토바이, 차량 등)에 의한 하중뿐만 아니라 벽돌 자중에 의한 수평 움직임이 발생된다. 그림 17은 바닥벽돌 포장에 수평 하중이 가해졌을 때 하중이 어떻게 전달되는지를 보여주고 있다. (a)의 패턴은 하중을 받은 벽돌이 진행방향의 벽돌에만 하중을 전달시키는 반면, (b)와 (c)의 패턴은 주변에 맞물려 있는 벽돌에 하중이 분산되어 수평 하중에 의한 밀림 현상이 줄어드는 효과가 발생하게 된다. 이러한 효과를 경사지 포장에 이용한다면 줄눈 벌어짐 현상을 감소시키는 효과를 거둘 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 보도블록의 다양한 재료 중 최근 파손이 급증하

고 있는 점토바닥벽돌의 파손(모서리 깨짐, 휨파괴, 줄눈 벌어짐) 원인을 분석하고 원인별 파손을 최소화 할 수 있는 방안 마련을 위하여 자료를 수집·검토하고 시험(압축강도, 휨강도, 흡수율)을 수행·분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

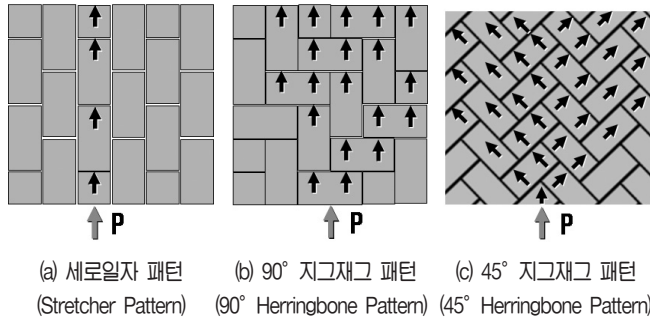


그림 17. 깔기 패턴에 따른 하중 전달 효과

첫째, 국내에서 점토벽돌에 대한 품질기준을 적용할 수 있는 국가 기준으로 KS L 4201이 존재하지만 적용 대상이 조적 또는 미장용 재료에 적합한 것으로 포장용(Paver)에는 적합하지 않아 국가 기준의 제정이 필요하다.

둘째, 점토바닥벽돌에 대한 시공기준이 부재하여 표준화된 국가 기준 제정이 필요하다. 도로공사 표준시방서(건설교통부, 2003)와 보도 설치 및 관리지침(건설교통부, 2007) 등 정부에서 지정·관리하고 있는 도로(보도) 시공 관련 기준서에서 점토바닥벽돌의 시공에 관련된 내용이 없기 때문에 시공 현장에서 표준화되지 않은 방법으로 시공되고 있다. 그 결과 부실시공에 대한 판단 기준의 부재로 책임 소재를 규명하는데 어려움을 겪고 있다.

셋째, 점토바닥벽돌의 파손 유형별 원인을 분석하여 해결방안으로 다음과 같은 가이드라인을 도출하였다.

- 모서리 깨짐
 - 돌기제품을 사용하여 시공하거나 무돌기 제품의 시공시 실 줄이나 스페이서를 사용하여 적정 간격의 줄눈을 유지하도록 한다.
 - 줄눈 채움모래 포설 후 모래가 블록표면까지 충분히 충전 될 때 까지 반복하여 다짐을 하며, 적정 입도의 모래를 사용한다.
- 동결파손(동파)
 - 동파 방지를 위해 요구되는 성능 기준을 실제 실험을 통하여 설정하는 것이 필요하며, 그 전까지는 기 검증된 선진 기준 (ASTM C 902)에 최대한 근접하도록 국내 기준 ('단체 표준')의 흡수율과 압축강도 기준치를 강화할 필요가 있다.
- 휨파괴
 - 점토바닥벽돌의 휨강도 기준을 '평균 값'으로 관리할 경우, '개개 값'이 기준치 미만인 벽돌이 있을지라도 전체 시료의

'평균 값'이 기준치를 초과하면 합격 처리되는 사례가 발생하여 저급 자재의 현장 반입·시공 문제점을 야기할 수 있으므로 "개개 값" 관리가 바람직하다.

- 가장자리 및 구조물 주변에 시공에 따른 벽돌 절단시, 종(장) 방향 절단을 금지하고 벽돌의 포설 패턴을 일부 변경해서라도 가급적 횡방향으로 절단하여 마무리 시공하는 것이 최대 파괴하중 저하로 인한 파손을 줄일 수 있다.

○ 줄눈 벌어짐

- 점토바닥벽돌을 경사지에 시공하여 발생하는 줄눈 벌어짐을 줄이기 위하여 일정 간격마다 콘크리트 빔을 설치하여 벽돌의 슬라이딩을 줄이고, 여러 가지 깔기 패턴 종류 중에서 하중 분산 효과를 최대화 할 수 있는 지그재그 패턴을 설계에 반영하여 시공토록 하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

본 논문에서는 점토바닥벽돌의 파손원인과 원인별 파손 최소화 방안을 제시함으로써, 점토바닥벽돌 보도포장의 시공품질 향상에 기여할 것으로 기대된다. 본 논문에서는 점토바닥벽돌에서 두드러지게 반복되는 파손 유형인 모서리 깨짐, 동파, 휨파괴, 줄눈 벌어짐을 대상으로 연구하였으므로, 침하, 단차, 물고임, 그리고 표면 오염(백화)는 취급하지 않았다는 한계가 있다. 침하, 단차, 물고임 등은 기층(또는 보조기층)의 충분한 다짐으로 해결이 가능한 부분이나, 이러한 다짐에 대한 기준, 시공법이 심도있게 연구되어야 할 것으로 생각된다. 그리고 표면 오염(백화)은 화학적 반응에 의한 현상이므로 다양한 변수를 고려한 실험연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

건설교통부(2003), 도로공사 표준시방서, 14-1 콘크리트 블록포장
 건설교통부(2007), 보도 설치 및 관리지침.
 서울특별시(2006), 서울특별시 전문시방서, 토목편, 10-5-3 벽돌포장
 한국건설자재시험연구원(2006), 점토바닥벽돌의 성능평가 및 품질 기준(안) 연구
 한국점토벽돌공업협동조합(2006), 점토바닥벽돌 단체표준 (KCBIC 0002-1569)
 한국표준협회(2003), KS L4201, 점토 벽돌, Clay brick
 한국표준협회(2009), KS F4419, 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록
 일본 규격협회(2007) TS A 0025, 포장용 벽돌(Brick for Pavement)
 일본 인터로킹블록포장기술협회(2007.3), 인터로킹 블록포장 설

계시공요령

ASTM C 33 (Grading Requirements for Bedding Sand)

ASTM C 144 (Grading for joint Sand)

ASTM C 902(Pedestrian and Light Traffic Paving Brick)

BS 7533(British Standard Specification for Clay Bricks)

DIN 18503(Clinker bricks for paving – Requirements and
test methods)Interpave, SPECIFICATION OF CONCRETE BLOCK
PAVING

논문제출일: 2010.09.14

논문심사일: 2010.09.17

심사완료일: 2010.11.15

Abstract

As the customer's interest for sidewalk block in the street or apartment complex is increasing, the materials of block which had been a concrete block exclusively are varied to clay paver, native rock and wood etc. Especially, the sales volume of clay paver which is environment-friendly and ergonomic is dramatically increasing every year with two digits growth rate, however, many problems like "Edge Cracking" "Freezing Breakage" "Bending Breakage" "Joint Gap" are happening frequently within a couple of hours after installation due to the durabilities.

Because of the characteristics of Ceramic products, clay pavers are very easy to be broken when they are bumped against each other. In addition, they are relatively fragile by a freezing expansion breakage when exposed to water due to hydrophilic property as well as the intensity and absorptance of the products are varied with small difference from the production process such as production equipment and process control. Therefore, it costs a lot of money to repair the breakdown unless production and installation is carried out according to the strict criteria of the quality control.

In this study, the symptoms of breakdown frequently happened in clay paver are classified by each type and finally the solution for this problem in the production of brick, installation and criteria of quality control through compressive strength and absorptance test is suggested.

Keywords : *Clay Paver, Edge Cracking, Freezing Breakage, Bending Breakage, Joint Gap*
