

차도용 인터로킹 블록의 마모 저항성 평가를 위한 다이아몬드 날의 활용에 관한 연구

A study on the application of diamond blade for the evaluation of
abrasion resistance of concrete interlocking block for road

이민경* · 이재훈** · 박준영*** · 조윤호****

Lee, Min Kyoung · Lee, Jae Hoon · Park, Jun Young · Cho, Yoon Ho

1. 서론

국내에서 블록포장은 주로 보도에 시공되고 있으나 최근 차도에 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 블록포장은 도시의 경관을 아름답게 하는 심미성을 가지고 있고 유지보수에 있어 콘크리트 포장이나 아스팔트 포장 보다 경제적인 이점을 가지고 있다. 국외의 경우 블록포장은 적절한 시공 기준에 의해 차도 및 공항, 항만 등 다양한 곳에 적용하고 있으나 국내에서는 시공 기준 없이 휴게소 및 주차장에 제한적으로 시공되고 있다. 저급 포장 형식으로 인식되고 있는 블록포장은 표면이 깨지거나 마모되는 등 공용년수에 미치지 못한 채 파손이 발생하고 있다. 국내 인터로킹 블록의 품질 기준인 KS F 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록에서는 휨강도 및 흡수율만을 규정하고 있다. 블록포장의 차도 적용을 위해서는 외국에서 규정하는 수준의 마모저항성 및 동결융해에 대한 저항성 등 내구성에 관한 기준이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 동결융해에 대한 내구성을 향상시킨 선행 연구를 바탕으로 블록의 마모에 관한 연구를 진행하였다. 블록의 마모에 영향을 미치는 인자를 파악하고, 국내·외 마모시험방법에 대해 조사하였다. 본 연구는 회전커터방식을 적용한 마모시험을 진행하여 포장용 인터로킹 블록의 마모에 관한 기준을 정립 하였다. 또한 회전커터방식의 단점을 보완하기위한 다이아몬드 날의 활용 및 적용성을 판단하였다.

2. 국내·외 블록 마모의 문헌고찰

2.1 마모의 정의 및 영향을 미치는 인자

마모는 마찰에 의해 고체 표면의 일부분이 감량하는 현상으로 보통 표면에서 재료의 입자가 작은 파편의 형태로 탈락되어 감량되는 것을 말한다. 마모량의 측정은 마모된 깊이(mm) 또는 중량(g)감소로 평가할 수 있고 블록 마모시험의 경우 차량 바퀴 또는 사람의 구두굽에 의해 마모되는 것을 모사하여 실시한다.

Papenfus는 마모에 영향을 미치는 주 인자로 강도와 골재를 들고 있다. 단단한 골재를 사용하고 그 골재를 강도가 높은 페이스트가 감싸는 경우와 시멘트의 28%를 플라이 애쉬로 치환하는 경우 미세공극이 감소하여 마모저항성이 좋아진다고 주장하였다(Papenfus, N., 2003). 골재의 종류 또한 마모에 영향을 미치는 인자로 들고 있다(Papenfus, N., 2003). 과거에는 잔골재로 주로 강도가 좋은 강모래가 사용되었으나 급격한 산업화의 결과로 강모래가 고갈되었고, 이를 대체하기 위한 골재로서 해사를 세척한 세척사가 주로 사용되고 있다. 깬모래는 쇄석골재 생산 후 발생하는 석분을 이용하여 제조되는 골재로 최근 그 사용량이 급격히 증가하고 있다(서강현, 2007).

Shackel는 물-시멘트 비의 증가는 마모저항성은 감소시키고, 양생 조건은 강도보다는 마모에 많은 영향을

* 비회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 석사과정 · 02-816-0250(E-mail:sadyymk@nate.com)

** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 031-371-3475(E-mail:ranian74@naver.com)

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3476(E-mail:parkjevel@hotmail.com)

**** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 교수 · 공학박사 · 02-820-5336(E-mail:yhcho@cau.ac.kr)

준다고 주장하였다(Shackel, B 1994). 양생 조건에는 수중 양생, 습윤 양생, 상온 양생이 있고, 수중양생이 강도발현이 가장 좋으나, 이는 실내 실험에서만 가능한 것으로 대량으로 생산되는 블록에서는 적용이 불가능하다. KS F 4419에서 습윤 양생은 24시간동안 진행하고 양생시간과 온도를 곱했을 때 500도·시가 되는 것을 표준으로 제시하고 있다. Ahmet, C.는 양생시간이 증가할수록 마모깊이가 감소함을 증명하였다(Ahmet, C., 2009).

Ghafoori and Sukandar는 마모저항성은 대부분 표층재료의 특성에 의존한다 하였고(Ghafoori and Sukandar, 1995), Humpola 또한 마모에 영향을 미치는 깊이는 표면으로부터 1~3mm까지라고 제시하였다(Humpola, B., 1996).

일본의 [인터로킹 블록포장 설계시공요령]에 의하면 블록의 표층 골재의 입도가 마모에 영향을 미친다고 하였다. 조립률이 2.5 미만이면 마모량이 급격히 증가하고 그 이상에서는 거의 일정한 값으로 유지되므로 블록표층에 사용하는 골재의 조립률은 2.5 이상이 되어야 한다고 제시되어있다(인터로킹블록포장 협회, 2007).

Onur는 블록의 마모에 시멘트와 잔골재의 비율이 영향을 주며, 표층의 안료가 10% 이상이 되면 오히려 강도가 감소하고 6%가 가장 적당하다고 하였다(Onur, A, 2004).

요약하면 마모에 영향을 미치는 인자는 골재의 종류, 페이스트 강도, 미세공극(플라이 애쉬, 물의 양, 입도), 양생 등이다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구 결과를 바탕으로 페이스트 강도와 골재의 조립률을 중심으로 마모실험을 진행하였다.

2.2 마모시험방법

블록의 마모시험은 강제로 마모를 촉진시켜 시험체의 외관 변화를 예측하기 위한 것으로 최수경은 표 1과 같이 시험원리에 따라 크게 네 가지로 구분하였다.

표 1. 마모시험 원리(최수경, 2005)

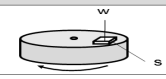
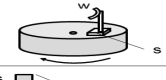


기본원리	시험장치(예)	시험체 운동	마찰제 운동	부하 대상
	Bohme형 Schidknecht형	정지	원	시험체
	Olsen형 Amsler형	원	원	시험체
	Carter형	정지	낙하 분사	마찰제
	Rotate cutter형	정지	원	마찰제

표 2. 마모시험방법 요약




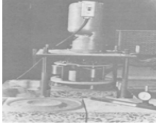
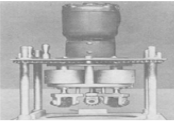
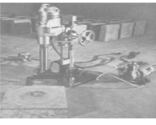


기 준	시 험 명	시 험 방 법	측 정 값 표 시	원 리
1. DIN 52108(Boehme test) 	Wear test with the grinding wheel according to Boehme. Grinding wheel	20g의 연마용 모래를 모르타르와 스틸 플레이트 사이에 두고 22회 회전시킨다. 모르타르의 크기 40mm×40mm, 높이는 50mm이다. 22회 회전후, 스틸 플레이트를 깨끗이 한다. 이 과정을 20번 반복한다.	마모 깊이 (mm)	시험체 : 정지 마찰제 : 원운동
2. EN 1338 	Wide wheel abrasion test	시료를 Wide abrasion wheel 과 접촉시키고 연마재료가 들어있는 호퍼의 받판을 연다. 이와 동시에 Wide abrasion wheel 을 1분 동안 75회 회전한다. 이 실험을 두 개의 시편에 적용한다.	마모 깊이 (mm)	시험체 : 정지 마찰제 : 원운동
3. ASTM C 944 	Abrasion resistance of concrete by the rotating-cutter method	10kg 또는 20kg의 하중을 주고 200rpm속도로 2분간 회전시킨다. 이것을 3회 이상 반복하고 매번 공기압 또는 브러쉬로 미분을 제거한 후 다음 실험을 진행 한다.	마모된 양 (g) 또는 마모 깊이 (mm)	시험체 : 정지 마찰제 : 원운동
4. ASTM C 779 A 	Revolving-disc method	Silica cabide를 1분에 4~6회 제공하면서 마모시킨다. 매 15 분마다 브러쉬로 미분을 제거하고 90분과 60분 마모량을 측정 한다.	마모 깊이 (mm)	시험체 : 정지 마찰제 : 원운동
5. ASTM C 779 B 	Dressing wheel method	세개의 마모휠이 각각 스틸회전판에 따라 회전하면서 마모시킨다. Revolving- disc method의 초기값과 중간값을 측정하므로 30분을 측정한다.	마모 깊이 (mm)	시험체 : 정지 마찰제 : 원운동
6. ASTM C 779 C 	Ball-bearing Method	8개의 스틸볼이 원형계도로 1000rpm의 속도로 회전시키고, 물 이용하여 미분 제거하면서 마모시험을 진행50초마다 무게를 자동적으로 측정하고 1200초 또는 최대 마모깊이가 3.2mm가 될때까지 실험을 진행한다.	마모 깊이 (mm)	시험체 : 정지 마찰제 : 원운동
7. JIS 1451 	Yoshioka 식 내마모성 저항 테스트	시험 전 시험체를 두께를 구한다. 회전원반은 1분에 1회 회전하고, 마찰강판과 마찰솔은 매분 6회 비율로 회전한다. 타격질은 27개의 속이 빈 원통으로 연산탄을 채워 시험관에서 20mm 높이에서 일정한 속도로 각 시험면에 낙하시킨다. 1000 회전 후 초기 시험체 두께를 측정한다. 방법과 마찬가지로 두께를 측정한다.	마모 깊이 (mm)	시험체 : 원운동 마찰제 : 원운동
8. KS F 2429 	Abrasion resistance of concrete by Sandblasting	모래를 분사함으로써 마모되는 양을 측정하는 방법. KS F 2429와 유사한 시료를 표면상태로 만든 후 질량을 달고 노출측에 직각으로 두고 7.5±0.2cm 되는 거리에 고정하고 분사로 1분 동안 쏜다. 이러한 방법을 90도 이상 각 다음 2시간 황속에 담아서 깨끗하게 씻고 질량을 연다.	마모 량 (0.01 cm ³ /cm ²)로 표시	시험체 : 정지 마찰제 : 낙하분사

표 2는 국내·외 마모시험 방법이다. 블록의 마모시험에는 ASTM C 944 회전커터방법이 가장 많이 사용되고 있다. 이 방법은 장비의 가격이 상대적으로 저렴하고 사용이 용이하며 실험 시간이 짧고 방법이 간단하여 시험자의 숙련도가 실험결과에 많은 영향을 미치지 않는다. 따라서 본 연구는 회전 커터 방법을 적용하여 블록의 마모저항성을 평가하였다.

3. 실내 실험

블록은 유색층과 무색층, 2층으로 제작한다. 유색층은 8mm두께를 지니고(여기서는 표층으로 칭함), 무색층은 통상 전체 두께에서 유색층의 두께를 뺀 것이다.

본 장에서는 기존 연구를 바탕으로 블록의 표준 표층재료를 선정하였다. 블록 표층재료 선정을 위한 실험은 실내실험으로 한정하였고 모르타르 강도 실험과 골재의 조립률 실험을 통해 마모저항성이 높은 표층재료를 선정하였다. 강도시험에는 시멘트와 잔골재의 비율을 조정하여 강도조건을 실험에 반영하였고, 잔골재의 조립률 실험에서는 조립률을 3종류로 조정하여 마모실험에 적용하였다.

3.1 표준 표층 재료의 선정

본 연구에서 진행하고자 하는 두 가지 실험 중 모르타르 강도 시험에는 세척사를 사용하였고, 골재의 조립률 실험에는 세척사와 깎모래 두 종류의 골재를 적용하였다. 플라이 애쉬의 경우 시멘트 중량의 20%를 치환하였고, 물의 양의 경우 국내 규정에 따라 25%로 결정하였다. 또한 안료량은 문헌 조사를 근거로 6%로 결정하였고, 양생조건에 있어서 모르타르 강도 시험에는 수증양생, 골재의 조립률 시험에는 습윤 양생을 각각 적용하였다.

3.2 강도 시험

모르타르 강도 실험은 50mm×50mm×50mm의 큐빅 몰드를 제작하여 압축강도를 측정하는 방법으로 진행하였다. 표준 표층 재료에 시멘트와 잔골재의 비율을 1:2, 1:3, 1:4로 조정하여 강도 실험을 하였다.

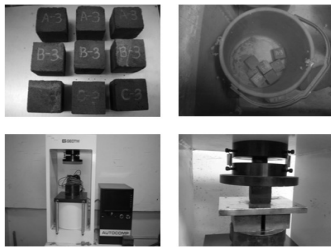


그림 1. 큐빅몰드제작 및 실험

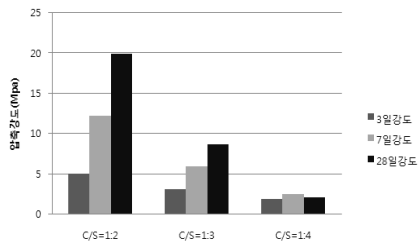


그림 2. 압축강도 결과

실험 결과, 양생 28일 강도가 시멘트와 잔골재 비율이 1:4일 때 가장 낮고 1:2일 때가 가장 높음을 알 수 있다. 시멘트와 잔골재 비율이 1:3일 때 28일 강도 기준에 해당하는 5MPa의 강도가 발현되고 있으므로 경제성을 고려하여 1:3 비율로 결정하였다.

3.3 골재 조립률 실험

골재의 조립률에 따른 마모저항성을 평가하기 위하여 기존 연구를 통해서 결정된 배합을 사용하였고 이는 표 3과 같다. 골재의 조립률은 동일 시료를 체 분석하여 2.2, 2.6, 3.0으로 조정하였고 각각의 블록을 제작하였다. 마모 시험방법은 ASTM C 944에 의한 회전커터 방식을 사용하여 마모량을 측정하였다. 시험 결과는 그림 4와 같다.

표 3. 표층배합

배합	w/c	W	C	Fly-ash	Sand	Pigment	AE제
표층배합	0.25	136.6	437	109	1639	33	0.04%

단위: Kg/m³

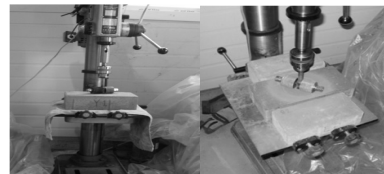


그림 3. 회전 커터 방식에 의한 마모시험

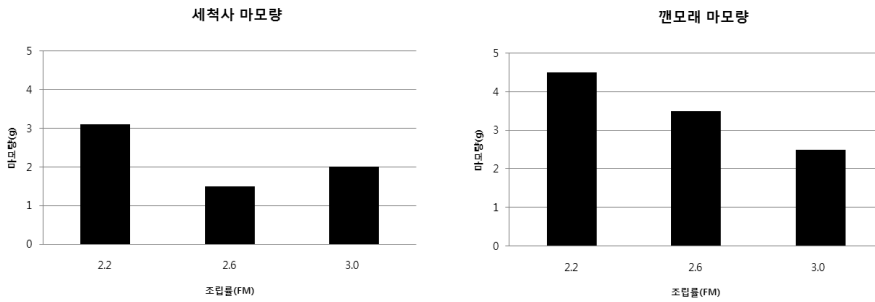


그림 4. 조립률에 따른 마모량

세척사의 경우 마모량은 조립률이 2.6인 경우 2.2보다 약 50% 감소하는 경향을 보이거나 3.0에서 다소 증가하였다. 깁모래의 경우 조립률이 커질수록 마모량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 골재의 조립률이 마모에 영향을 미친다고 판단 할 수 있으며, 블록의 제작 시 표층골재의 조립률을 고려해야 한다는 것을 보여준다. 위 실험 결과에서 세척사의 조립률 3.0의 값이 다소 증가한 것은 회전 커터 날의 마모에 의한 것으로 판단되고 이를 보완하기 위한 연구를 진행하였다.

4. 다이아몬드 날을 이용한 마모시험방법 개선

앞서 진행한 실험으로부터 회전커터 방식의 실험결과와 불안정성을 확인하였다. 회전커터 날의 경우 수명이 90분으로 ASTM C944에 명시되어 있다. 이처럼 짧은 수명과 실험의 불안정성을 보완하기 위한 개선안을 제시하였다.

회전 커터 날의 재질은 초경합금공구(hardmetal tool)로서 경도가 극히 높고 내열성, 내마모성이 우수하다. 다이아몬드 날은 절삭공구 중 가장 경도가 높은 종류로, 미세한 인조 다이아몬드 결정들을 고온 고압하에서 융합시킨 후 초경합금 모재위에 결합시킨 것이다. 따라서 본 실험에 다이아몬드 날을 적용하였다. 그림 5, 그림 6은 초경합금공구로 만들어진 회전커터 날과 다이아몬드 날이다.

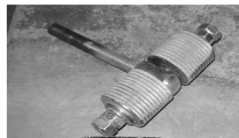


그림 5. 회전커터날



그림 6. 다이아몬드날

4.1 표준실험

연마날의 비교를 위해서 표준 실험에 적용한 시편은 일반적인 블록업체에서 생산되는 보차도용 블록으로 선택하였다. 시편은 각각 2개씩 사용하였고, 시험의 결과는 두 시편의 평균값을 사용하였다. 그림 7은 총 5종류 블록의 회전 커터 실험 결과이다. 이 중 마모량이 매우 적은 0.1mm 이하인 블록을 강블록이라 하고 0.3mm를 초과하는 블록을 약블록이라 하였다. 이 외에 블록은 중-1,2,3으로 분류하여 비교하였다.

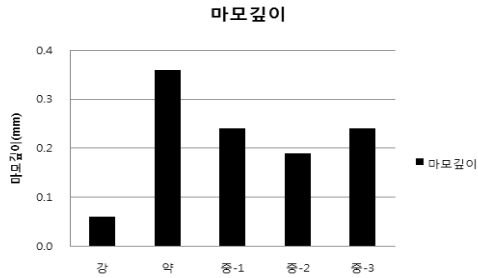


그림 7. 회전커터를 이용한 표준실험 결과

4.2 다이아몬드 날 적용

본 실험에서는 다이아몬드 날의 경도가 매우 높음을 고려하여 하중을 실험인자로 두고 마모량을 측정하였다. 하중은 기계적인 문제로 인해서 표준하중인 20kg과 최소 적용 하중인 10kg으로 조정하여 적용하였다. 마모시간은 30초 마다 한번 씩 미분을 제거하며 5분 동안 진행하였고, 실험결과는 그림 8과 같다.

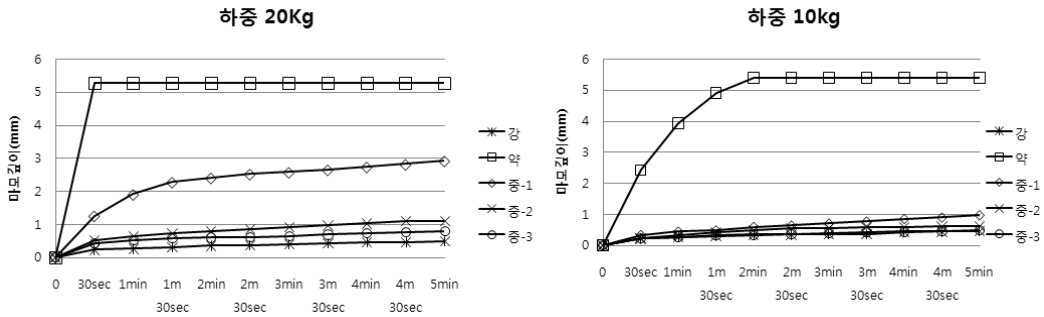


그림 8. 다이아몬드 날 - 하중10kg, 20kg 적용

약블록의 경우 하중이 20kg일 때 30초 만에 5mm를 넘는 마모가 발생하였고, 10kg일 경우에는 2분 만에 5mm가 넘는 마모가 발생하였다. 이는 마모에 대한 내구성이 매우 약한 블록으로 도로에 적용이 불가능함을 보여준다. 중-2,3은 두 가지의 하중을 적용했을 때 20kg일 때가 10kg일 때보다 상대적으로 더 많은 마모깊이를 보이지만 그 값은 매우 적음을 알 수 있다. 중-1의 경우는 하중이 10kg일 때 5분이 지나서야 약 1mm의 마모가 발생하였지만 20kg일 때는 약 1분 만에 2mm의 마모가 발생하고 5분이 지난 후에는 3mm의 마모가 발생함을 확인할 수 있었다. 3mm마모깊이의 의미는 ASTM C779의 Ball bearing 방법과 ASTM C418의 Sand blasting방법에서 제한하고 있는 마모깊이로서 이를 초과하면 사용해서는 안 된다고 규정되어 있다.

4.3 시험방법 비교

두 종류의 날을 이용한 실험결과 분석에 있어서 회전 커터 날은 20kg의 하중으로 6분간 측정된 값을 사용하였고 다이아몬드 날은 각각 10kg, 20kg의 하중을 적용하여 5분간 측정된 값을 사용 하였다. 마모량 측정값을 상관관계분석을 통해 비교한 결과는 그림 9와 같다. 하중이 20kg일 경우 R^2 값이 0.758로 10kg일 때보다 높으며, 추세선을 따라 고루 분포되어 있다. 따라서 다이아몬드 날에 20kg의 하중을 적용하게 되면 회전 커터실험과 비슷한 추세를 얻을 수 있다.

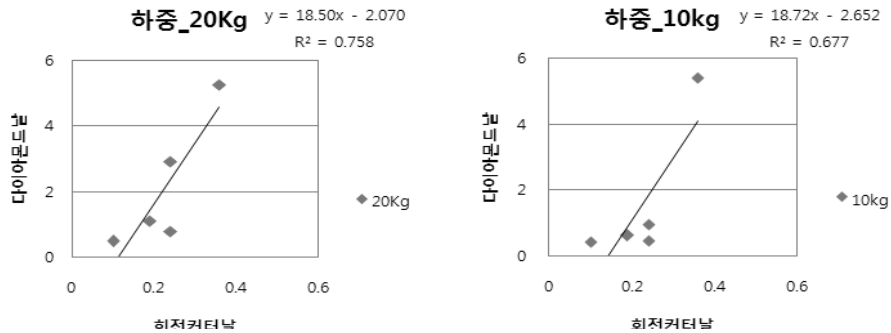


그림 9. 회전 커터 날 - 다이아몬드 날의 상관관계분석

5. 결론

본 연구는 블록의 마모에 영향을 미치는 인자와 블록 마모를 평가할 수 있는 시험 방법에 대해 조사했다. 블록의 표층 재료 개선을 위한 문헌 조사를 통해 표준 표층 재료를 선정하였고, 강도실험과 조립률 실험을 진행하였다. 강도 실험을 통해 시멘트와 잔골재 비율을 1:3로 결정하였고, 조립률 실험으로 블록 표층 조립률은 2.6 이상을 사용하여야 함을 제시하였다. 그러나 회전 커터 날의 연마에 의해 실험오차가 커짐을 확인하였고 이에 대한 개선이 필요하다 판단되었다. 따라서 연마롤러보다 경도가 강한 다이아몬드를 이용하여 비교 실험을 진행하였다. 그 결과, 다이아몬드 날에 20kg의 하중을 적용하여 5분간 측정하면 블록의 강도에 관계없이 정확한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(05 건설핵심D08-01, 장수명 친환경도로포장재료 및 설계시공기술개발)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 서강현, 2007, 부순모래를 사용한 콘크리트의 최적배합, 한양대학교 석사학위 논문
- 최수경, 2005, 건축물 바닥재의 마모에 따른 미끄럼성능 변동에 관한 연구, 한국건축시공학회 V 5, No.11
- American Society for Testing and Materials, 1978, Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates
Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials
- Papenfus, N., 2003, Applying Concrete Technology To Abrasion Resistance, Proceedings. 7th International Conference On Concrete Block Paving pp. 1-10
- ASTM C 944, 2005, Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surface by the Rotating-Cutter Method
- BS EN 1338, 2003, Concrete paving blocks Requirements and test methods
- Ghafoori and Sukandar, 1995, Abrasion Resistance of Concrete Block Pavers, ACI Materials Journal, V92, No.1, pp25-36
- Humpola, B., 1996, Some Aspects of CBP Quality, The Fifth International Conference on Concrete Block Paving, Tel-Aviv, Israel, pp. 103-113
- JIS A 1451, 1994, Method of abrasion test for building materials and part of building construction
- KS F 2811, 2001, 건축 재료 및 건국 구성 부품의 마모 시험 방법
- KS F 2429, 2002, 콘크리트 마모 저항 시험 방법



KS F 4419, 2009, 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록

Michel V., 1997, Abrasion test for precast concrete paving products, *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, Vol. 30, pp 631-633

Onur. A., 2004, A Study on abrasion resistance of concrete paving blocks, The graduate school of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University

Shackel, B., 1994, Developments in the specifications of Concrete Segmental Pavers for Australian conditions, *Proceedings 2nd International Workshop On Concrete Block Paving*, pp. 56-66