



골재노출 콘크리트포장의 적정 골재 선정에 대한 연구

A Study on the adequate Aggregate Selection of the Exposed Aggregate PCC Pavements

김 영 규* 채 성 욱** 이 승 우*** 유 태 석****
 Kim, Young Kyu Chae, Sung Wook Lee, Seung Woo Yoo, Tae Seok

Abstract

The exposed aggregate PCC(EAP) pavements have been successfully used in Europe and Japan as low-noise pavements. Coarse aggregate are exposed on the pavement surface texture of EAP by removing mortar of surface. The pavement surface texture should maintain not only low-noise characteristic but also adequate skid resistance level during the performance period. Skid resistance decreased with wearing and polishing of tire and pavement surface due to the repetition of tire-pavement contact. Since the tires mainly contact the exposed coarse aggregate, the shape and rock type of coarse aggregate significantly influence wearing and polishing of EAP pavements. The test for resistance to abrasion coarse aggregate by use of the Los Angeles machine(KS F 2508) and the method of test for resistance to abrasion coarse aggregate by use of the Accelerated Polishing Machine(ASTM D 3319-90) are generally used to evaluate polishing characteristics of aggregate. In this study, polishing of coarse aggregate of different five rock types were evaluated by KS F 2508(LA abrasion test) and ASTM D 3319-90(PSV method). The results of LA abrasion test and PSV method were contrary to each other. Since LA abrasion test is estimated the quantity of abrasion by the impact of aggregate, it may not be adequate to evaluate the polishing of aggregate by the repetition of tire. In the case of PSV method, the resistance of polishing is estimated the skid resistance variation of polished aggregate after repetition of tire. The PSV method is adequate for the evaluation on polishing of coarse aggregate. From the test results of PSV method, it was founded that rock type, specific gravity, coarse aggregate angularity, flat or elongated particles in coarse aggregate are significant to the resistance characteristic of coarse aggregate.

Keywords : *exposed aggregate PCC pavements, skid resistance, coarse aggregate angularity, flat or elongated particles in coarse aggregate, abrasion test*

요 지

골재노출 콘크리트포장은 저소음 포장으로서 유럽, 일본등지에서 성공적으로 사용되어 왔다. 골재노출 콘크리트포장은 콘크리트 표면의 모르타르를 제거하여 표면에 굵은 골재를 노출시키는 공법이다. 타이어-노면간의 소음을 저감시키는 표면특성도 중요하지만 포장표면이 공용중에 지속적으로 적정한 미끄럼저항을 확보하여야 한다는 점이 간과되어서는 안된다. 반복적인 타이어-노면간 마찰은 표면조직을 마모시켜서 미끄럼저항값을 감소시키게 된다. 골재노출 콘크리트포장의 경우

* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정

*** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사

**** 정회원 · 도로교통기술원 포장연구그룹 전임연구원 · 공학박사



노면에 굵은 골재가 노출되어 타이어와 접촉되므로 노면에 노출된 굵은 골재의 압중과 형상이 노면마모에 지대한 영향을 미친다. 일반적으로 골재마모특성에 대한 평가시험은 로스앤젤레스시험기에 의한 마모시험과 Accelerated Polishing Machine에 의한 마모시험이 사용되고 있다. 본 연구에서는 다섯 가지 압중의 굵은 골재에 대하여 두 시험법으로 마모를 평가하였다. 실험결과 두 시험법은 실험골재특성뿐만 아니라 마모특성에 따라 상반된 마모저항결과를 도출하였다. 도로노면의 마모는 타이어와 반복된 마찰에 의해 발생하는데 로스앤젤레스에 의한 굵은 골재 마모시험은 굵은 골재의 전체표면과 철구 간 충격에 인하여 마모감량이 나타나서 형상에 따라 마모에 대한 저항성을 평가하기 때문에 도로노면의 마모를 파악하기에는 적합하지 않다고 판단된다. 반면에 APM에 의한 굵은 골재 마모시험은 실험법 자체가 노출된 굵은 골재와 타이어의 반복 마찰로 인하여 마모에 대한 저항성을 평가하기 때문에 APM에 의한 굵은 골재 마모시험이 골재노출 콘크리트포장의 노면에 노출된 굵은 골재의 특성에 따른 마모에 대한 저항성을 파악하는데 보다 효과적이라고 사료된다. APM에 의한 마모저항 결과로부터 골재 압중, 비중, 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분율, 편장석 함유율등이 골재의 마모에 중요한 영향을 미친다는 점을 파악할 수 있었다.

핵심용어 : 골재노출 콘크리트포장, 미끄럼저항, 굵은 골재 입형, 편장석, 마모시험

1. 서론

아스팔트의 소성변형 및 파손으로 인한 유지관리의 어려움을 해소하고자 아스팔트포장에 비하여 내구성과 경제성을 고려하여 콘크리트포장을 고속도로에서 적극적으로 시공되고 있는 실정이다. 과거의 콘크리트포장은 도로이용자 및 화물의 운송이라는 관점에 초점이 맞추어져 타이어와 포장면에서 심하게 발생하는 소음문제와 미끄럼 저항에 대한 인식의 부족으로 인한 안전문제가 따르게 되었다. 도로이용자에게 안전하고 평탄한 노면을 제공한다는 도로의 기본적인 기능적인 역할이 많이 축소되어 왔다. 하지만 현재 경제성장과 더불어 보다 안전하고 이용편의성이 향상된 콘크리트포장의 건설을 위하여 노력하고 있다.

이러한 상황에서 콘크리트포장의 소음과 미끄럼저항성 확보를 위한 표면 마무리 공법의 하나로서 콘크리트 시공시에 표면의 모르타르를 분해제거하고 굵은 골재를 노출시킴으로서 포장표면에 별도의 표면조직을 형성하지 않고도 포장의 표면에 적정한 조직(Texture)을 형성할 수 있는 골재노출콘크리트 포장공법이 대두되었다. 골재노출 콘크리트포장은 타이어와 노면간에 발생하는 소음을 감소시키고, 특히, whine 현상을 다양한 패턴으로 최소화하며 장기간

미끄럼 저항이 유지되어서 주행의 안전성을 확보하여 차량의 미끄러짐을 방지하는 공법으로 선진외국의 연구보고와 실제 시공사례가 미국연방도로국, 일본도로공단, 유럽의 PIARC회의 등을 통하여 보고되고 있는 실정이다(이용세, 2000).

이러한 골재노출 콘크리트포장공법을 적용하기 위한 콘크리트 재료 배합시에는 균일하게 많은 굵은 골재를 포장표면에 노출되도록 굵은 골재의 용적률을 크게 하여야 한다. 일반적으로 최대입경을 20mm이하로 하는데 아스팔트포장에 비해 소음이 심하여 전형적인 문제점으로 지적되어 왔다. 외국에서는 소음 발생 저감방안에 대해 지속적인 연구로 트럭의 경우에는 입자가 큰 골재가 조용하지만, 승용차의 경우에는 입자가 작은(8~9mm)골재를 표면에 사용하는 소입경 골재노출 콘크리트포장공법이 소음저감효과가 있다는 결론이 도출되었다.

또한, 미끄럼 저항이 감소되면 포장의 내구성이 반감되고 우천시에는 교통사고의 원인이 된다. 공용연수 경과에 따라 노후화가 진행되고 교통량의 증가 및 차량의 대량화로 인해 미끄럼 저항성을 유지하던 표면조직이 손실되어 미끄럼 저항이 감소된다. 차량의 반복주행으로 인하여 마모에 의해서 영향을 받고, 영향을 주는 인자들은 사용골재의 형상 및 압중에 영향을 받는다. 합리적인 도로포장의 유지보수계획을 수



립하기 위해서 포장의 구조적인 파손 뿐만 아니라 주행안전성에 관여하는 미끄럼 저항을 적정한 수준으로 확보하는 것이 중요하다.

외국에서는 많은 발전을 거듭하여 골재노출 콘크리트포장공법에 대한 충분한 경험이 축적되어 있지만 국내에서는 까다로운 시공방법으로 인한 연구의 미흡으로 마모로 인한 골재의 내구성에 대한 연구가 필요하다. 현재의 기술로는 정량화된 설계기술이 개발되어 있지 않기 때문에 표면조직의 내구성에 영향을 미치는 인자들을 고려한 마모시험을 수행하고 미끄럼 저항값의 변화를 고려하여 적정골재 선정에 대한 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 골재노출 콘크리트포장의 표면조직인 굵은 골재 특성 즉, 압중과 골재의 형상이 골재의 내구성과 어떤 상관성이 있는지를 파악하고자 하였다. 특히, 콘크리트포장에서 사용되는 대표적인 굵은 골재에 대해 입형시험을 실시하여 과제면 백분률과 편장석 함유율에 따른 마모시험을 실시하여 골재의 특성인자에 대해 마모시험에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

2. 미끄럼 저항 이론

2.1 미끄럼 저항 정의

도로포장의 미끄럼 저항은 차량의 타이어가 발진, 주행, 정지 등의 운동을 할 때 포장노면과 타이어 접촉면에서 발생한다. 그 저항력보다 큰 힘이 발생할 경우 차량은 미끄러져 버리게 되며 이때 미끄러운 상태에서의 저항이 미끄럼 저항이다. 미끄럼 저항값(SN)은 타이어와 콘크리트포장면 사이의 마찰계수로 식 (2)와 같이 표시되고 이때 역학적으로 마찰계수(μ)는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 마찰력의 기본이론에 대하여 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 미끄럼 저항은 표면조직의 특성을 분석하는 것으로 ASTM E 303-93 "Test Method for Measuring

Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester" 시험법에 따라 그림 2와 같은 BPT(British Pendulum Tester)를 사용하여 BPT의 팬들럼이 자유낙하 - 회전운동으로 미끄러짐으로써 측정면의 마찰저항에 따른 측정결과를 시험장비의 고유지수인 BPN(British Pendulum Number)으로 나타낸다.

$$\mu = F/W \quad (1)$$

$$SN = 100 \times F/W \quad (2)$$

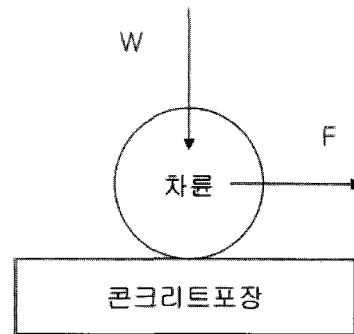


그림 1. 마찰력의 기본이론

F : 내부 평면에 있어서 마찰저항력

W : 수직하중

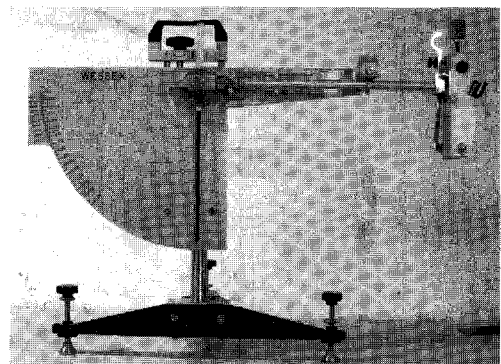


그림 2. BPT(British Pendulum Tester)

미끄럼 저항을 기준치에 충분히 확보한가를 산정하는 것은 표면조직의 성능을 평가하는 일반적인 기



준이다. 차량의 주행으로 인해 움직이는 바퀴는 포장 표면에 전단응력을 가하고 골재를 마모시키거나 분리시켜 미끄럼 저항이 감소한다.

2.2 미끄럼 저항의 저하 원인

골재의 마모와 분리로 인하여 표면조직의 미끄럼 저항에 영향을 미치는 변수는 마멸과 마손으로 나눌 수 있다.

2.2.1 마멸

마멸은 노면의 미세구조에 따라 작용하는 것이며 일반적으로는 활면화라고 말하고 마모의 첫 단계이다. 미끄럼 저항이라는 관점에서 볼 때 마손보다는 마멸쪽이 문제가 크며 교통량과 노면의 미세구조를 형성하고 있는 골재의 종류에 의하여 마멸은 일어난다. 일반적으로 트럭과 같은 중차량의 하중은 마멸에 의한 미끄럼 저항의 저하원인이 된다

2.2.2 마손

마손은 마모의 일종으로서 서서히 진행하며 골재와 같은 작은 입자가 바람 등에 의해 옮겨져 노면에 남아있게 되고 이 입자는 타이어와 노면과의 접촉면에서 연마제의 역할을 하게 된다. 지속적인 차량의 주행으로 노면은 마모되며 만약 노면이 균일한 내마모성을 갖고 있다면 노면은 균일하게 마모하나 그렇지 않을때엔 불균일한 요철이 발생되어 평탄성과 쾌적감이 불량하게 되고, 타이어의 주행부분이 국부적으로 마모가 진행하는데 이 현상을 마손이라 한다.

3. 실험재료의 특성

3.1 사용재료

본 연구에서 사용한 골재는 골재노출 콘크리트포장의 노출된 굵은 골재의 마모시험을 고려하여 국내

에서 채취되는 콘크리트포장의 대표적인 굵은 골재 5종류를 선택하였다. 골재특성인자와 마모의 상관분석을 위해 실험에 고려된 골재인자는 표 1과 같다.

표 1. 골재특성 인자

골재의 종류	화강암	안산암	사암	편마암	석회암
비 중	2.59	2.46	2.65	2.66	2.52
단위용적중량 (kg/m ³)	1557.8	1491.3	1589.6	1592.5	1513.4

3.2 굵은 골재의 입형

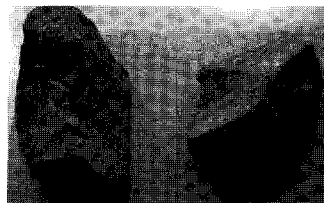
굵은 골재의 입형은 하나 이상의 파쇄면을 가진 크기 4.75mm이상 골재의 중량백분률로 정의된다. 즉, 굵은 골재에 대한 파쇄면의 백분률로 나타낸다. ASTM D 5821, "Determining Percent of



a. 파쇄면이 없는 골재



b. 하나의 파쇄면을 가진 골재



c. 둘 이상의 파쇄면을 가진 골재

그림 3. 파쇄면에 따른 골재의 분류



Fractured Particles Coarse Aggregate” 시험법에 따라 굵은 골재 입형시험을 실시하였다. 파쇄면은 그림 3과 같이 눈으로 볼 수 있는 방향에서 골재입자 면적의 25% 이상 점유하고 있는 파쇄면으로 정의된다. 표 2는 굵은 골재의 형상에 따른 입형시험을 통하여 구분된 굵은 골재 입형을 나타내었다.

표 2. 굵은 골재의 입형

암 종	총질량 (g)	체가름 후 질량(g)			하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 질량(g)			파쇄면의 백분률(%)		
		3/4in	1/2in	3/8in	3/4in	1/2in	3/8in	3/4in	1/2in	3/8in
화강암	3000	0	1840	600	0	1317	336	0	72	56
안산암	3000	0	1064	862	0	426	177	0	40	21
사 암	3000	0	831	730	0	534	353	0	64	48
편마암	3000	0	1183	658	0	820	453	0	69	69
석회암	3000	0	1215	938	0	1021	613	0	84	65

3.3 굵은 골재의 편장석 선별

굵은 골재의 편장석 선별은 너비에 대한 두께의 비, 또는 길이에 대한 폭의 비가 규정된 값보다 큰 값을 가진 크기 9.5mm이상의 중량백분률로 정의된다. ASTM D 4791, “Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and elongated Particles in Coarse Aggregate” 시험법에 따라 굵은 골재의 형상에 따른 굵은 골재 편장석 선별시험을 실시하였다. 그림 4와 같이 굵은 골재의 편장석 선별은 편장석 측정자를 사용하여 대표적인 굵은 골재입자의 크기비를 측정하면 지정된 조건을 만족하는 중량비를 식 (3)과 같이 계산한다. 식 (3)을 이용하여 굵은 골재의 형상에 따른 굵은 골재의 편장석 함유량을 표 3으로 나타내었다.

$$\text{편장석 함유율(\%)} = \frac{M_1 + M_2}{M} \times 100 \quad (3)$$

여기서, M : 각 체에 잔류한 골재의 질량(kg)

M_1 : 각 체에 잔류된 골재중 편석으로 분류된 골재의 질량(kg)

M_2 : 각 체에 잔류된 골재중 장석으로 분류된 골재의 질량(kg)

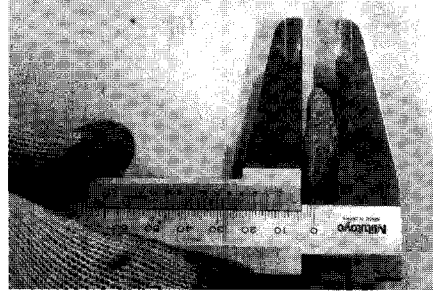


그림 4. 편장석 측정자

표 3. 편장석 함유율

암 종	총질량 (g)	체가름 후 질량(g)			편장석 질량(g)			편장석 함유율(%)		
		3/4in	1/2in	3/8in	3/4in	1/2in	3/8in	3/4in	1/2in	3/8in
화강암	3000	0	1840	862	0	240	182	0	23	21
안산암	3000	0	1064	600	0	199	145	0	11	24
사 암	3000	0	831	730	0	152	186	0	15	30
편마암	3000	0	1183	658	0	282	193	0	24	29
석회암	3000	0	1215	938	0	166	133	0	14	14

4. 굵은 골재 마모시험

4.1 로스앤젤레스 시험기를 이용한 굵은 골재 마모시험

콘크리트포장에서 사용되는 굵은 골재와 철구간 충격에 대한 마모특성을 파악하기 위해 KS F 2508 “method of test for resistance to abrasion coarse aggregate by use of the Los Angeles machine” 시험법에 따라 표 4의 조건으로 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모 시험을 실시하였다. 로스앤젤레스 시험기에 의한 마모시험은 그림



5와 같은 로스엔젤레스 시험기를 통해서 굵은 골재와 철구간 충격으로 인하여 감소하는 굵은 골재의 질량으로 결정된다. 초기 굵은 골재의 질량에 마모로 인하여 감소된 질량의 차로부터 식(4)를 이용하여 마모감량이 계산된다. 굵은 골재가 마모에 대한 저항성이 작을수록 마모감량이 많아진다.

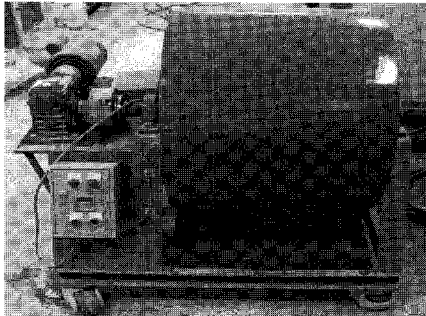


그림 5. 로스엔젤레스 시험기

표 4. 로스엔젤레스 시험기에 의한 굵은 골재의 마모시험조건

입도 구분	(H-20~10mm)
시료 중량	5,000g
구의 수	(H-10개=4160±25g)
시료 건조 온도	105±5℃
회전수	500회(분당:30~33회)
체크기	1.7mm (# 12)

$$R = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (4)$$

여기서, R : 마모감량(%)

m_1 : 시험전의 시료의 질량(g)

m_2 : 시험후 1.7mm의 망체에 남은 시료의 질량(g)

표 5. 굵은 골재의 마모율(마모감량) 한계

용도별	한 국	일 본
콘크리트용(KS F 2527)	40% 이하	40% 이하
도로(포장콘크리트)	35% 이하	35% 이하
역청포장 혼합물용(KS F 2357)	40% 이하(표층용) 50% 이하(기층용)	

* 석재골재자원부존조사 및 품질관리기술연구-골재편, 2002.12, 한국지질자원연구원

암종별 도로포장용 콘크리트 골재는 강한 것이어야 하며 굵은 골재의 마모율(마모감량)에 따른 한계는 표 5와 같이 나타내었다.

4.2 Accelerated Polishing Machine에 의한 마모시험

골재노출 콘크리트포장의 노면조직인 노출된 굵은 골재와 타이어간 마모에 대한 마모특성을 파악하기 위해 ASTM D 3319-90 "Standard Test Method for Accelerated Polishing of Aggregates Using the British Wheel" 시험법에 따라 표 6의 조건으로 APM(Accelerated Polishing Machine)에 의한 마모시험을 실시하였다. APM에 의한 마모시험은 그림 6과 같이 APM을 통해서 노출된 골재표면에 직접전단응력을 가하는 타이어로 마모를 발생시킨 후 BPT로 측정된 BPN으로 결정된다. 노출된 골재표면의 초기(Initial) BPN을 측정하고 반복주행으로 인하여 감소된 말기(Terminal) BPN의 차를 이용하여 감소한 미끄럼 저항을 PSV(Polish Stone Value)로 나타낸다. 굵은 골재가 마모에 대한 저항성이 작을수록 PSV는 커진다. 일반적으로 콘크리트포장은 고속도로에서 시공되므로 표 7에서 ADT(Average Daily Traffic)를 고려하여 최소한도 BPN을 선정하였다. 또한, 선정된 최소한도 BPN에 따라 표 8로부터 APM에 의한 마모시험에 적합한 골재의 PSV 허용기준을 결정하였다.

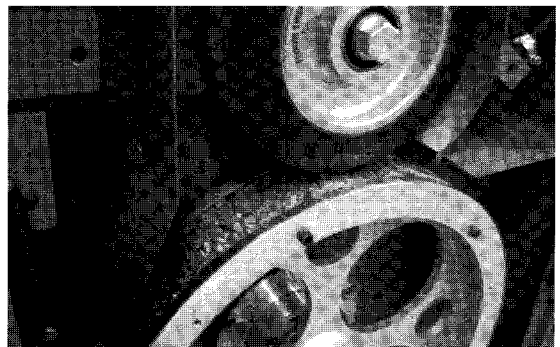


그림 6. APM에 의한 마모시험



표 6. APM에 의한 마모시험조건

회전 속도	320±5 RPM
타이어 하중	88±lbf
유량	20~34ml/min
연마재	20~34g/min

표 7. BPN 최소한도 규정

Present ADT or Type of Highway	Minimum Require BPN
Below 750	No requirements
750~2000	28
2000~5000	30
5000~above	32

표 8. 골재의 PSV 기준

Category	Polish Value(BPN) Requirements
Highly acceptable	BPN greater than 32
Acceptable	BPN between 28 and 32
Marginally acceptable	BPN between 26 and 28
Unacceptable	BPN less than 32

5. 실험결과 및 분석

5.1 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재 마모시험

굵은 골재와 철구간 충격으로 인한 굵은 골재의 마모 전·후 질량차이를 식 2를 이용하여 마모감량을 구하고 굵은 골재의 마모에 대한 저항성을 파악하기 위해 암종별 마모감량을 그림 7로 나타내었다. 전체적으로 암종별 마모감량은 표 8로 나타낸 굵은 골재의 마모율(마모감량)한계에 대하여 모두 허용기준을 만족하였다.

그림 8은 골재특성이 마모에 대한 저항성에 미치는 영향을 파악하기 위해 암종별 굵은 골재의 비중에 따른 마모감량을 나타내었다. 석회석을 제외한 암종들은 강도를 나타내는 비중이 클수록 마모감량이 큰

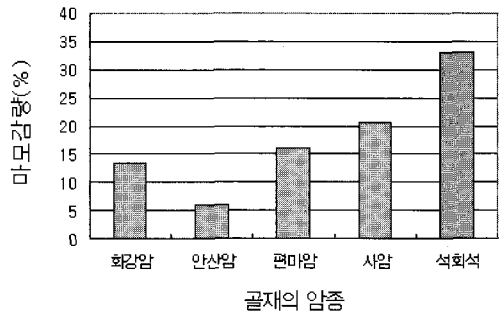


그림 7. 로스앤젤레스 시험기에 의한 암종별 마모감량

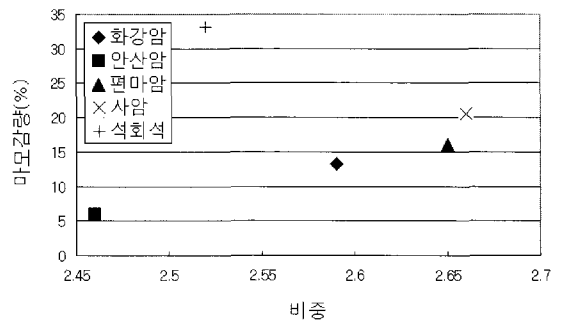


그림 8. 비중에 따른 마모감량

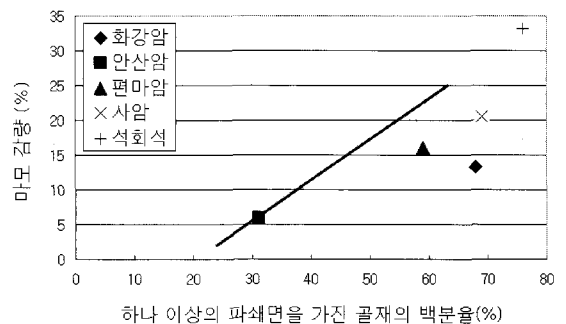


그림 9. 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분율에 따른 마모감량

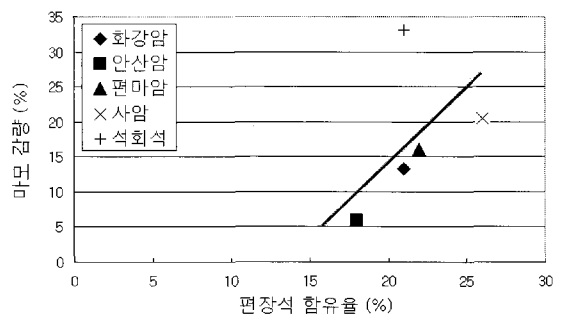


그림 10. 편장석 함유율에 따른 마모감량



경향을 나타내었다. 또한 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분율이 가장 큰 석회석과 편장석 함유율이 가장 큰 편마암의 마모감량이 가장 큰 것으로 나타내었다. 이것은 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재 마모시험은 굵은 골재와 철구간 충격에 의한 마모감량이 비중보다는 입형과 편장석 함유율에 많은 영향을 받은 것으로 사료된다.

그림 9는 골재특성이 마모에 대한 저항성에 미치는 영향을 파악하기 위해 암종별 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률에 따른 마모감량을 나타내었다. 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률이 클수록 마모감량이 큰 경향을 나타내었다. 골재의 파쇄면이 많은 골재는 골재의 파쇄면이 없는 골재보다 더 높은 능각(稜角, angularity)을 갖기 때문에 마모에 대한 저항성이 감소하여 마모감량이 큰 것으로 판단된다.

그림 10은 골재특성이 마모에 대한 저항성에 미치는 영향을 파악하기 위해 암종별 편장석 함유율에 따른 마모감량을 나타내었다. 편장석 함유율이 클수록 철구의 충격에 의해 세립되기 쉽기 때문에 마모에 대한 저항성이 감소하여 마모감량이 증가한 것으로 판단된다. 한편, 석회석은 편마암보다 편장석 함유율이 작지만 파쇄면이 가장 많은 골재로서 높은 능각을 갖기 때문에 마모감량이 가장 큰 것으로 나타났다.

5.2 APM에 의한 굵은 골재 마모시험

노출된 골재표면과 타이어의 반복마찰로 인한 굵은 골재의 Polish Value는 그림 11과 같다. 노출된 골재표면과 마모에 대한 저항성을 파악하기 위해 그림 11로부터 PSV를 구하여 암종별 PSV를 그림 12로 나타내었다. 안산암을 제외한 네 가지 암종은 골재의 PSV 허용기준을 만족하였다.

그림 13는 골재특성이 마모에 대한 저항성에 미치는 영향을 파악하기 위해 암종별 비중에 따른 PSV를 나타내었다. 비중이 큰 값을 가진 골재일수록 PSV가 감소하는 경향을 나타내었다. 비중이 큰 값

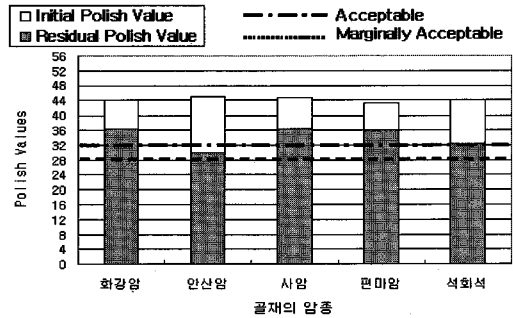


그림 11. APM에 의한 마모시험 결과

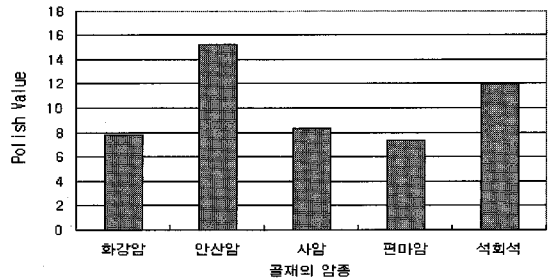


그림 12. 암종별 PSV

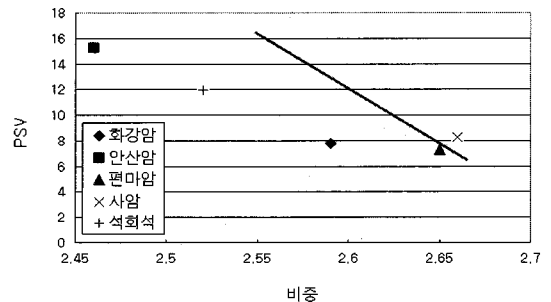


그림 13. 비중에 따른 PSV

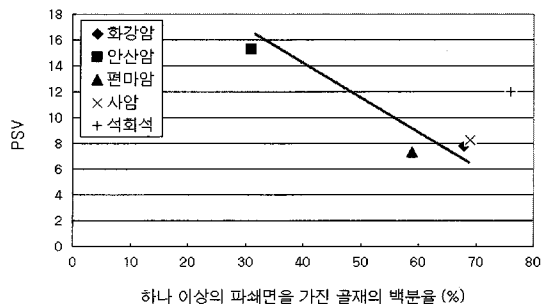


그림 14. 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률에 따른 PSV

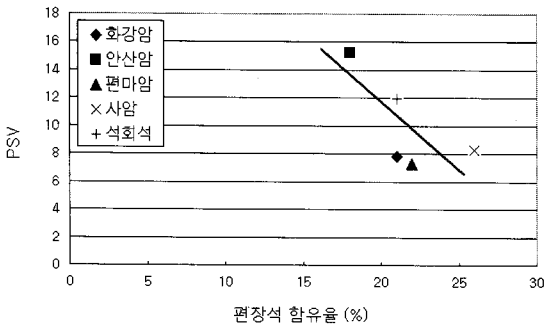


그림 15. 편장석 함유율에 따른 PSV

인 골재일수록 노출된 골재의 표면이 타이어에 대한 내마모성이 크므로 마모에 대한 저항성이 큰 것으로 판단된다.

그림 14는 골재특성이 마모에 대한 저항성에 미치는 영향을 파악하기 위해 암종별 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률에 따른 PSV를 나타냈었다. 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률이 증가할수록 PSV는 감소하는 경향을 나타내었다. 골재의 파쇄면이 많은 골재는 파쇄면이 없는 골재에 비해 더 거친 조직을 갖기 때문에 내부마찰력이 증가하여 마모에 대한 저항성이 큰 것으로 판단된다.

그림 15는 골재특성이 마모에 대한 저항성에 미치는 영향을 파악하기 위해 암종별 편장석 함유율에 따른 PSV를 나타냈었다. 편장석 함유율이 증가할수록 PSV는 감소하는 경향을 나타내었다. 노출된 골재의 표면과 타이어간 접지면이 내부마찰의 주요인자이므로 편장석이 많은 골재는 내부마찰력이 증가하여 마모에 대한 저항성이 큰 것으로 판단된다.

5.3 로스앤젤레스 시험기와 APM에 의한 굵은 골재 마모시험의 비교분석

본 연구에서는 골재노출 콘크리트포장의 노면마모에 영향을 주는 골재특성을 입형시험을 통하여 분류하고 로스앤젤레스 시험기와 APM에 의한 굵은 골재 마모시험으로 마모특성을 비교분석하여 골재의 특성에 따른 마모에 대한 저항성을 파악하였다.

굵은 골재의 특성에 따른 마모저항결과로부터 골재특성중 비중에 대해서 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재 마모시험은 암종별 마모감량은 다양하게 나타나서 비중이 마모에 대한 저항성에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다. APM에 의한 굵은 골재 마모시험은 비중이 큰 골재가 타이어의 반복마찰에 더 큰 내마모성을 제공하여 노출된 골재의 전체적인 마모에 대한 저항성이 증가하기 때문에 비중이 PSV에 미치는 영향은 비교적 큰 것으로 나타났다.

하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률에 대해서 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재 마모시험은 표면조직이 거친 골재가 매끈한 골재에 비해 더 큰 능각을 제공하여 굵은 골재의 전체적인 마모에 대한 저항성이 감소하기 때문에 입형이 마모감량에 미치는 영향은 비교적 큰 것으로 나타났다. APM에 의한 굵은 골재 마모시험은 표면조직이 거친 골재가 매끈한 골재에 비해 더 큰 내부마찰각을 제공하여 노출된 골재의 전체적인 마모에 대한 저항성이 증가하기 때문에 입형이 PSV에 미치는 영향은 비교적 큰 것으로 나타났다.

편장석 함유율에 대해서 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재 마모시험은 편장석이 많은 골재는 형상이 불규칙하고 세립되기 쉽고 골재의 전체적인 마모에 대한 저항성이 감소하기 때문에 편장석 함유율이 마모감량에 미치는 영향은 비교적 큰 것으로 나타났다. APM에 의한 굵은 골재 마모시험은 편장석이 많은 골재는 더 큰 내부마찰력을 제공하여 노출된 골재의 전체적인 마모에 대한 저항성이 증가하기 때문에 편장석 함유율이 골재와 타이어간 내부마찰의 주요인자로서 PSV에 미치는 영향은 비교적 큰 것으로 나타났다.

로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재 마모시험은 굵은 골재가 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률이 클수록 높은 능각을 갖게 되고 편장석 함유율이 클수록 세립되기 쉽다. 이러한 결과는 로스앤젤레스 시험기에 의한 굵은 골재 마모시험에서는 마모감량이 골재의 전체표면과 철구간 충격에 영향을 받



으므로 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률과 편장석 함유율이 크면 깨지기 쉽기 때문이다. 이것은 골재와 타이어간 반복주행에 의해 마모되는 골재노출 콘크리트포장의 노출된 굵은 골재와 마모에 대한 저항성을 파악하는데 적합하지 않은 것으로 판단된다.

반면 APM에 의한 굵은 골재 마모시험은 굵은 골재가 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률이 클수록 거친 조직을 갖게 되고 편장석 함유율이 클수록 내부마찰력이 크다. 이러한 결과는 APM에 의한 굵은 골재 마모시험에서는 PSV가 노출된 골재의 표면과 타이어의 반복마찰에 영향을 받으므로 비중, 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률 및 편장석 함유율이 크면 마모에 대한 저항성이 크기 때문이다. 이것은 골재노출 콘크리트포장에서 노출된 골재의 굵은 골재특성과 마모에 대한 저항성을 파악하는데 보다 효과적인 것으로 판단된다.

APM에 의한 마모시험은 노출된 골재의 표면조직에 대하여 표 5와 같이 도로실정을 고려한 조건으로 타이어 반복마찰을 실시함으로써 암종별 골재의 특성에 따른 PSV를 비교하여 마모의 저항성을 분석할 수 있는 실내 마모시험으로 재현할 수 있었다. 이것은 골재노출 콘크리트포장공법에서 공용중에 지속적으로 미끄럼 저항을 유지할 수 있는 적정골재 선정에 대하여 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 앞으로 암종별 골재의 입형, 파쇄면 등을 관리할 수 있는 품질관리기준을 마련하기 위한 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

6. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 골재노출 콘크리트포장의 노출된 골재의 특성 즉, 골재의 암종과 입형에 따라 마모에 대한 저항성을 파악하고자 하였다. 굵은 골재의 특성에 대해 마모시험을 실시하여 마찰로 인한 마모감량을 구하고 마모에 따른 PSV의 분석을 통해 다음과

같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 굵은 골재의 특성에 대하여 로스엔젤레스에 의한 굵은 골재 마모시험은 굵은 골재의 전체표면과 철구간 충격으로 인하여 마모감량이 나타나서 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률과 편장석 함유율에 따라 마모에 대한 저항성이 나타났다. APM에 의한 굵은 골재 마모시험은 노출된 굵은 골재와 타이어의 반복마찰로 인하여 비중과 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률 및 편장석 함유율에 따른 골재표면의 특성으로 마모에 대한 저항성이 나타났다.
2. APM에 의한 굵은 골재 마모시험은 비중이 타이어에 대한 내마모성을 나타내고 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률과 편장석 함유율이 골재 조직을 나타낸다. 골재노출 콘크리트포장의 노면에 노출된 굵은 골재의 특성에 따른 마모에 대한 저항성을 파악하는데 APM에 의한 마모시험이 효과적이었다. 로스엔젤레스에 의한 굵은 골재 마모시험은 골재와 철구의 충격에 대한 저항성을 파악하는 것으로 골재노출 콘크리트포장에서 노출된 굵은 골재특성과 마모에 대한 저항성을 파악하는데 적합하지 않은 것으로 판단된다.
3. APM에 의한 마모시험은 노출된 굵은 골재표면과 타이어의 반복마찰로 인하여 내부마찰에 따른 마모에 대한 저항성을 실내 마모시험으로 재현할 수 있었다. 이것은 암종별 골재특성에 따른 PSV 비교를 통하여 골재노출 콘크리트포장공법의 적정 골재 선정에 대하여 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

타이어 - 골재간 마모에 따른 특성을 분석하기 위하여 적정골재로 가능하더라도 골재조직에 따라 내구성에 차이가 있을 수 있다. 동일암종에 대하여 골재조직을 나타내는 하나 이상의 파쇄면을 가진 골재의 백분률과 편장석 함유율에 따른 APM에 의한 마모시험을 통해 최적 골재조직을 선정한다면 골재노



출 콘크리트포장공법에서의 적정골재 선정에 좋은 결과가 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업인 '장수명·친환경도로포장 재료 및 설계시공기술 개발' 의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

권봉경, 김준범, 김홍기, 홍승호, "포장 기능성 평가기준 및 미끄럼 관리기준 설정 연구", 한국도로공사 도로교통기술원, (2003)

김남철, "골재노출 콘크리트포장 노면특성에 관한 연구", 강릉대학교 석사학위논문, (2005)

이용세, "콘크리트포장 표면처리공법 조사보고서", (주)서영기술단 부설기술연구소, (2000)

ASTM D 3319-90, "Standard Test Method for Accelerated Polishing of Aggregates Using the British Wheel". *Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials*, Philadelphia,(1997).

ASTM D 4791 "Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and elongated Particles in Coarse Aggregate". *Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials*, Philadelphia,(1997).

ASTM D 5821 "Determining Percent of Fractured Particles Coarse Aggregate". *Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing*

and Materials, Philadelphia,(1997).

ASTM E 274 "Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full Scale Tire", *Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials*, Philadelphia,(1997).

ASTM E 303-93, "Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester". *Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, (1997).

"BLENDING PROPORTIONS OF HIGH SKID AND LOW SKID AGGREGATE"-*Final Report, FHWA*, BY Robert Y. Liang

"Development of an Alternative Test Procedure to 'BS812' for Accelerated Polishing of RoadStones"- *Ministry of Road and Transportation Iran*, BY Ahadi, M.R.

"Performance Testing of Hot-Mix Asphalt Aggregates"-*Special Report, U.S.Army*, BY Vincent C. Janoo and Charles Korhonen

"Polishing Aggregates to Equilibrium Skid Resistance"- *The University of Auckland*, BY Douglas Wilson and Roger Dunn

접 수 일 : 2007. 8. 22
 심 사 일 : 2007. 8. 27
 심사완료일 : 2007. 11. 2