

배수성 포장의 활용방안과 품질개선 방안



손 종 철 | 정회원 · 건설교통부 도로관리과 토목사무관(도로 및 공형기술사)

1. 개요

일반국도의 도로포장 유지관리를 위하여 건설교통부에서는 PMS(Pavement Management System)를 활용하여 포장 공법을 결정하고 있다. 근래 한국의 기후가 아열대성 기후의 특징을 나타내어 포장 파손의 형태가 다양하게 나타나고 있어 유지보수를 위하여 소성변형 방지 포장 등 특수포장 공법이 많이 도입되어 활용되고 있는 상태이다.

또 한편으로는 2001년에 발생한 전체 교통사고 260,579건 가운데 3.7%인 9,549건이 비가 오는 기상 조건에서 발생했고, 이로 인한 사망자가 417명, 부상자가 15,548명이 발생했다. 사고 100건당 사망자 수를 의미하는 치사율을 보면 맑은 기상 조건에서 3.1, 비가 오는 조건에서는 4.3으로 나타나고 있어 빗길 운행에 대비한 포장도 검토하고 있다.

따라서 도로 주행 시 교통의 안전성 제고와 친환경적인 측면으로도 많은 관심을 가지게 되어 빗길 수막 현상 방지 및 야간 시인성 증진 등의 효과와 소음 감소 기능을 가지고 있는 배수성 포장의 사용이 날로 증가되고 있는 추세여서 본 고에서는 배수성 포장의 활용방안과 품질개선 방안에 대하여 검토해 보기로 한다.

2. 배수성 포장

2.1 배수성 포장의 의미

배수성 포장은 포장체 내부의 공간으로 빗물을 흘려서 배수시키는 포장의 의미를 가지고 있으며, 포장체 하부의 지하로 침투시키는 투수성 포장과는 별개의 의미이다.

1950년대 중반 영국에서 처음으로 시도될 때는 포장이 수막 현상으로 인한 마찰저항 감소를 방지하기 위한 목적이었으므로 이름이 “공항용 마찰층(Airfield Friction Course)”이었으며, 그 후 프랑스에서는 배수 기능을 강조한 “Drainasphalt”, 독일에서는 저소음 특성을 강조하여 “Whispering Asphalt”라 부르고, 미국에서는 생긴 형상을 보고 “Popcorn Mix”라 부르기도 한다. 학술적으로는 多孔性(porous)포장이 적절할 것이다.

2.2 배수기능

다공성 포장인 배수성 포장은 포장체의 공극률이 20% 정도인 것을 뜻하며, 이 공극을 통하여 포장 표면의 우수를 배수시킨다. 공극률 20%의 5cm 두께의 표층은 시간당 강우량 10mm의 우수를 단시간에 배수시킬 수 있는 기능이 있다고 볼 수 있다.

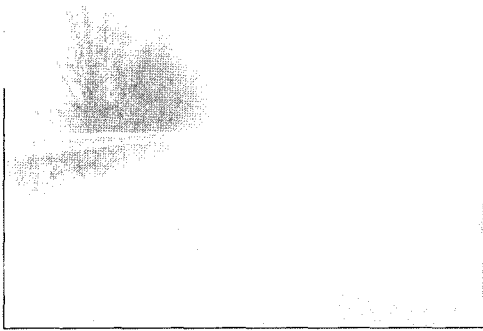
비가 내리는 도중에는 포장면 위에 매우 얇은 층의 물일지라도 자동차 타이어에 의해 상당한 양의 물보라가 발생할 수 있으며 기존 아스팔트 포장의 횡방향 경

사는 너무 낮아서 이러한 물보라 현상을 예방할 수 없다. 이러한 물보라 현상은 자동차의 속도와 관계가 있는데 50km/h 이하에서는 큰 문제가 발생하지 않았지만 110km/h의 속도에서는 운전자의 시야 장애로 인하여 주행에 큰 영향을 미친다. 따라서 이러한 물보라 현상은 속도가 낮은 도시 구간의 도로보다 80km/h 이상의 고속 주행 도로에서 심각한 문제가 된다.

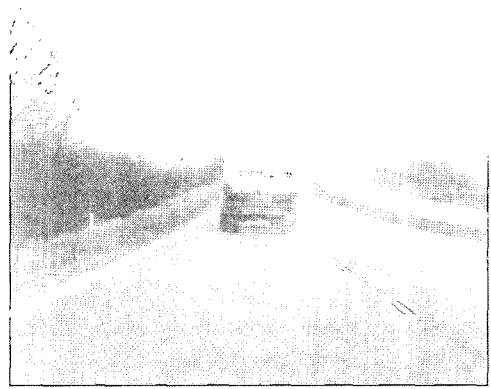
다음 그림 1는 차량이 90km 속도로 주행하였을 경우, 배수성 포장과 기존 포장간의 물보라 현상의 정도를 나타내는 그림이며, 상당한 차이를 나타내고

있다.

배수성 포장은 또한 표면이 우수를 배수시켜 젖은 상태로만 남게 되어 야간에 운전할 경우, 전조등 때문에 난반사와 눈부심 현상을 줄여주어 차선을 명확하게 보이게 해준다. 즉, 노면에 수막이 없기 때문에 빛이 반사되지 않는 것이다. 다음 그림 2는 기존 포장의 눈부심 현상과 배수성 포장의 눈부심 현상을 비교한 것이다. 경제적으로 이러한 편익을 정량화하기는 어렵지만, 운전자의 시인성을 개선함으로써 안전에 기여하는 바가 클 것이다.

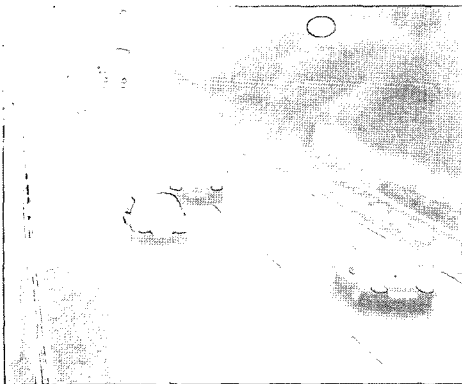


기존 포장



배수성 포장

그림 1. 포장에서의 물보라 현상(속도 : 90km)



기존 포장



배수성 포장

그림 2. 포장에서의 난반사 현상

2.3 소음 저하 기능

도로의 소음은 자동차가 그 주요한 발생 원인이 되고 있어 자동차 소음이라고도 부른다. 자동차로 인해 발생하는 소음은 내연기관에서 발생하는 소음과 타이어가 도로를 주행함으로써 발생하는 타이어 도로 소음 이렇게 두 가지로 대별될 수 있다. 이 중에서 도로포장과 직접 관계되는 것은 타이어 소음이며 자동차 소음에서 차지하는 비율은 가속 주행시에는 엔진음이 탁월하기 때문에 10~30%로 상대적으로 작지만, 정상 주행시에는 50~80%를 점하게 된다. 또한 점차 자동차 기술의 발달로 엔진 소음은 줄어들고 있어 타이어 도로 소음의 비율은 증가하는 상황이다.

타이어 도로 소음은 차량의 주행속도, 차종, 타이어의 종류, 적재량, 타이어의 공기압, 노면의 건조상태, 공극 등의 상태, 온도 등의 영향을 받는다. 소음의 발생 메카니즘은 다음 3가지로 알려져 있다.

- 1) 타이어가 접지할 때, 그림 3과 같이 트레드 부분의 홈 속에 공기가 압축되었다가 방출되는 펌프 작용을 받아 발생하는 패턴 에어 펌핑음이라 불리는 기주 공명음이고, 이 공명음은 접지부분 홈의 길이에 의존하고 속도에는 거의 일정하다.
- 2) 타이어 트레드 형태의 불연속 부분이 접지할 때, 충격을 받아 그 충격력에 의해 발생하는 진동음이다.
- 3) 이 외에 정상주행 중의 음으로 접지마찰 진동음, 노면 공극에 의한 공기 펌핑음, 노면 요철에 의한 타이어 및 차량에의 진동음 및 바람과의 마찰음 등이다.

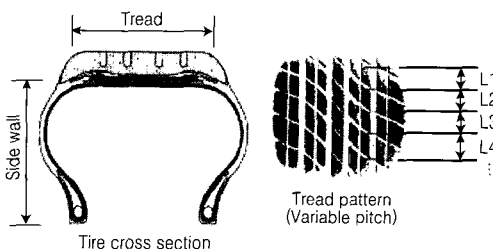


그림 3. 타이어 구조

이러한 자동차 소음이 앞에서 제시된 배수성 포장에 의해 크게 줄어드는 것으로 확인되고 있다. 배수성 포장이 자동차 소음을 줄이는 메카니즘이 완전히 밝혀진 것은 아니지만, 배수성 포장은 기존 포장에 비해 공기의 투과성이 높아 타이어에 의한 공기의 압축이 작아지기 때문인 것으로 인식되고 있다. 배수성 포장의 소음 저감의 한 예로써, 승용차의 단독 주행에 의한 소음 측정 결과를 그림 4에 나타내었다. 이에 따르면, 밀입도 아스팔트 혼합물과 비교했을 때, 고주파수 영역에서 소음 저감 효과가 크고, 주행속도 40~80km/h에서 소음 레벨은 5~8dB 저감하고 있는 것을 알 수 있다.

속도 (km/h)	40	60	80
감음량 (dB(A))	5.7	6.1	8.1

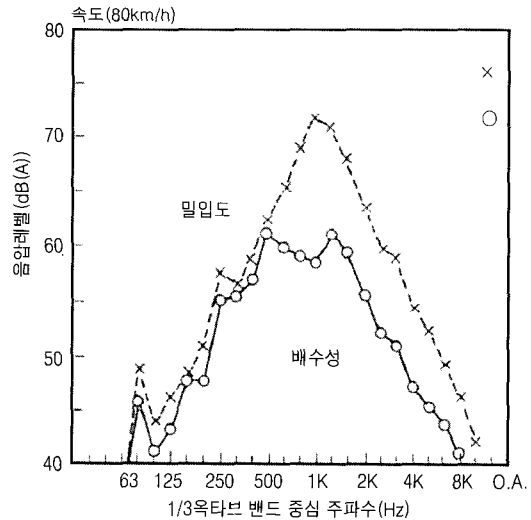


그림 4. 주행시 소음 측정 결과

노면이 젖어 있을 경우, 타이어와 노면 사이에서 발생하는 물이 튀는 소음을 줄임으로써 불투수성 표면에 비해 소음 저하 성능이 현저히 증가한다. 비오는 날, 기존의 포장 공법과 배수성 포장의 소음을 비교해보면, 표층의 유형과 차량의 속도에 따라 다르기는 하지만 기존의 포장 공법에서 5~10dB의 소음이

차이가 있는 것으로 나타났다.

또한 배수성 아스팔트 혼합물의 최대 입경이나 표층의 두께에 따라서도 소음 감소 효과가 변화하였는데, 최대입경이 작을수록, 두께가 클수록 소음 저감 효과가 큰 것으로 알려지고 있다.

2.4 국내에 사용되고 있는 배수성 포장 공법

현재 국내에서 배수성으로 시공할 수 있는 포장 공법은 신공법을 획득한 것으로서 혼합물 자체를 개선한 것과 바인더를 개선한 것 등으로서 아래와 같은 것이 있다.

가. 건설교통부 지정 신기술 제206호('99. 10. 1)

“아스팔트 개질 첨가제(다마, DAMA)를 이용한 다공성 아스팔트 포장” 일명 “에코팔트”

나. PMA 배수성 포장: 점도를 개선한 개질 아스팔트 바인더를 이용한 종류

- CRM(Crumb Rubber Modifier)아스팔트 바인더를 사용한 겹입도
- SBS(Styrene-Butadiene-Styrene) 및 첨가제가 배합된 바인더. 국내는 SK에서 생산한 슈퍼팔트가 이에 해당
- 하이드로 팔트(라이준)

2.5. 배수성 포장 시공을 위한 잠정 시방서

현재 국내에는 배수성포장이 다양한 방법으로 적용되고 있다. 한국도로공사와 한국도로교통협회에서는 일본식의 시방 규정을 적용하고 있으나, 건설교통부로부터 신기술을 획득한 배수성 포장 공법의 규격은 이 규격과 상이하야 실무자들이 혼란과 어려움을 느끼고 있다. 따라서 국내 사용되고 있는 배수성 포장의 종류가 각각 특징이 있어 특정 공법에 맞는 시방서만 운용할 경우 다소 문제점이 있으므로 배수성 포장의 특성을 유지하면서 공통으로 사용될 수 있는 잠정 시방서를 작성(2004. 3)하여 각 국도유지건설 사무소에 배부하였다. 그 중 아래에 배수성 아스팔트

혼합물의 품질기준에 대한 부분을 수록한다.

가. 배수성 아스팔트 혼합물의 품질기준

배수성 아스팔트 혼합물의 품질기준은 표 1을 기준으로 한다.

표 1. 배수성 아스팔트 혼합물의 품질기준

항 목	품질기준	비 고
다짐 횟수(회)	50회	양면
공극률(%)	20 이상	
안정도(kg)	500 이상	
잔류안정도비(%)	75 이상	
동적안정도(회/mm)	3,000 이상	
칸타브로 손실률(%)	20 이하	
현장투수성능(sec)	10 이내	시공 후 성능

나. 아스팔트

아스팔트는 혼합물의 특성상 골재와의 접착력이 강하고 내후성, 내수성이 양호하여야 하므로, 원칙적으로 개질 아스팔트를 사용해야 하며, 다음 중에서 한가지 이상을 만족하는 것으로 선정한다.

1) 배수성 포장으로 건설교통부로부터 신기술로 지정된 것

※ 건설교통부 신기술 지정 내용에 따르며 별도의 아스팔트 품질기준을 규정하지 않는다.

2) 신기술 지정 이외의 것

표 2. 배수성 포장용 개질 아스팔트의 품질기준

항 목	품질기준
침입도(25℃, 100g, 5초), 0.1mm	40 이상
연화점, ℃	70 이상
신도(15℃, 5cm/min) cm	50 이상
박막 가열 후 질량변화율, %	0.6 이하
박막 가열 후 침입도잔류율, %	65 이상
터프니스, kg · cm(25℃)	200 이상
티네시티, kg · cm(25℃)	150 이상
점도(60℃), Poise	200,000 이상

표 2의 품질기준을 만족하여야 한다.

다. 골재

사용할 골재는 잔골재, 굵은 골재 및 채움재로써 아래의 기준에 합격한 것이어야 한다.

1) 잔골재

- (1) 잔골재란 2.5mm체(No.8)를 통과하고 0.08mm(No.200)체에 남는 골재를 말하며, 천연모래, 부순모래 또는 이 두 가지를 혼합한 것을 사용한다.
- (2) 부순모래는 굵은 골재의 품질기준에 합격하는 부순돌 또는 부순자갈을 파쇄하여 생산한 것이어야 한다.
- (3) 잔골재는 깨끗하고, 견고하며, 내구적이어야 하고, 점토, 흙, 먼지 또는 유해물을 허용치 이상 함유하지 않아야 한다.
- (4) 잔골재 중 0.4mm체를 통과한 것을 흙의 액성한계 시험법에 따라 시험하였을 때 비소성이어야 한다.
- (5) 천연모래는 2.5mm체에 남는 골재가 10% 이상 함유되어 있어서는 안되며, 골재의 안정성 시험(KS F 2507)을 5회 반복했을 때 감량이 중량비로 10% 이하이어야 한다.

2) 굵은 골재

- (1) 굵은 골재는 2.5mm체에 남는 골재를 말하며, 부순돌(쇄석), 슬래그 또는 부순자갈이어야 한다.
- (2) 부순자갈은 최대입경의 3배 이상의 자갈을 부수어 생산한 것이어야 한다. 강자갈은 표면에 묻어있는 진흙, 먼지 등을 물로 씻어내야 한다. 굵은 골재는 깨끗하고, 단단하며, 내구적인 것으로서 흙, 진흙, 먼지 기타 유해물이 함유되거나 피복되어 있지 않아야 한다.
- (3) 슬래그는 선철의 생산 과정에서 얻어지는 부산물로서 견고하고 내구적이어야 한다. 슬래

그는 저장 기간 중 습윤 상태로 유지되어야 하며 재료의 밀도와 품질이 균등하여야 한다.

- (4) 5mm체에 남는 굵은골재 중 편평하고 세장한 골재를 20% 이상 함유하여서는 안된다.
- (5) 특수 포장의 특화된 입도에 맞추기 용이하도록 2~5mm 골재를 별도로 관리하여 배합설계에 활용하여야 한다.
- (6) 굵은골재는 표 3에 합격한 것이어야 한다.

표 3. 굵은 골재의 품질 기준

구 분	시험방법	품질기준
파쇄율(%)	-	40 이하
흡수율(%)	KS F 2503	3.5% 이하
마모감량(%)	KS F 2508	40% 이하
안정성 시험감량(%)	KS F 2057	황산나트륨인 경우 12 이하
편장석 함유량(%)	ASTM D 4791	20 이하
피막박리시험에 의한 피복면적(%)	KS F 2355	95 이상

* 편장석 함유량은 국내 기준으로는 특수포장의 품질 확보가 어려우므로 KS F 2575가 개정되기 전까지 ASTM 규정을 적용한다.

3) 채움재

- (1) 채움재는 KS F 3501의 규정에 적합한 것으로 석회석, 시멘트 또는 감독원이 승인한 재료로서 함수비는 1% 이하이어야 하며, 입도는 표 4에 따른다.

표 4. 채움재의 입도

체	체 통과 무게 백분율(%)
600 μ m	100
300 μ m	95~100
150 μ m	90~100
75 μ m	70~100

- (2) 석회석분말, 포틀랜드시멘트, 소석회 이외의 것을 채움재로 사용하는 경우에는 표 5의 기준에 따른다.

표 5. 채움재의 품질기준

항 목	기 준
소 성 지 수	6 이하
흐 립 시 험 (%)	50 이하
침 수 팽 창 (%)	3 이하
박 리 저 항 성	1/4 이하

4) 재료의 합성입도

굵은골재, 잔골재 및 채움재를 혼합한 골재 합성입도는 표 6을 표준으로 한다.

표 6. 골재 합성입도

골재크기 공칭최대치수 호칭치수(mm)	통과율(%)	
	13mm	19mm
25	-	100
20	100	95~100
13	92~100	53~78
10	62~81	35~62
5	10~31	10~31
2.5	10~21	10~21
0.6	4~17	4~17
0.3	3~12	3~12
0.15	3~8	3~8
0.08	2~7	2~7

3. 문제점과 개선방안

3.1. 문제점

국내 배수성 포장의 경우 아스팔트 바인더 문제보다는 골재의 문제점이 꼭 개선이 되어야 할 부분이다.

특히 배수성 포장의 경우는 내부 공극률이 큰 만큼 일반 밀입도 아스팔트 혼합물보다 훨씬 고급화된 골재의 품질이 요구된다.

그러나 국내의 아스팔트 혼합물용 골재의 품질관리는 여러 문제점을 안고 있으며, 이러한 문제점들은

다음과 같이 정리할 수 있다.

- 아스콘용 골재의 품질 경쟁이 이루어지지 않음
 - 국내에 개발되어 운영되고있는 석산의 숫자에 비하여 레미콘, 아스콘 골재 수요가 과다하여 공급이 항시 부족한 상태이므로 골재 품질 경쟁 체제가 형성되지 않음.
 - 아스콘 골재 물량에 비하여 콘크리트 골재의 물량이 훨씬 많아, 석산의 생산 체제가 콘크리트용 골재에 맞추어져 있음.
- 채석장에서의 골재 품질 관리가 거의 이루어지지 않음.
 - 정기적인 품질 검사나 품질 관리 교육 등과 같이 일정한 골재 품질을 유지하기 위한 제도적 장치가 거의 없음.
 - 해외에서 입형 관리용으로 활용되고 있는 VSI 크러셔 등과 같이 양질의 입형을 생산하기 위한 설비가 거의 보급이 되어 있지 않음. 일부 VSI 크러셔를 설치한 현장이 있으나, 생산량 감소 등 경제성이 떨어진다는 이유로 가동을 하지 않는 실정임.
 - 콘 크러셔의 경우, 크러셔 내부에 골재를 가득 채워 생산을 하여야 하나, 장비의 마모를 줄이고 생산량을 늘이기 위하여 부실 운영되는 사례가 많아 편장석의 발생 비율이 매우 높은 실정임.
- 석산마다 생산 및 분류되는 골재의 규격이 차이가 있어 아스팔트 혼합물의 안정적 입도 관리에 어려움 있음.
 - 석산에서 역청 혼합물의 골재 규격(7호, 8호, 78호)에 따라 골재를 생산하지 않고, 레미콘 골재를 생산하고 남은 골재를 이용하여 생산을 하기 때문에 석산마다 생산되는 골재 규격이 다름.

(예) 13mm아스팔트 혼합물을 생산하는 골재의 조합
 A사: 13~6(8)mm + 6mm이하 골재 + 자연모래
 B사: 13~8mm + 10mm이하 골재 + 자연모래
 C사: 13~0mm골재 + 자연모래
 D사: 13~8mm + 5mm이하 골재 + 자연모래

현행 골재 품질관리의 문제점

혼합물의 입도를 맞추기 위해 3개 골드빈의 입도를 조합함

- 골재1 : 5(8)mm 이상의 혼합입도
- 골재2 : 5(8)mm 이하(스크리닝스)
- 골재3 : 자연모래

특수 아스팔트 혼합물의 입도조건을 맞추기는 어려움

- 5(8)mm 이하의 스크리닝스에서
 - 2-5mm 알갱이 많이 필요로 하고,
 - 0-2mm 부분은 아주 조금만 필요함

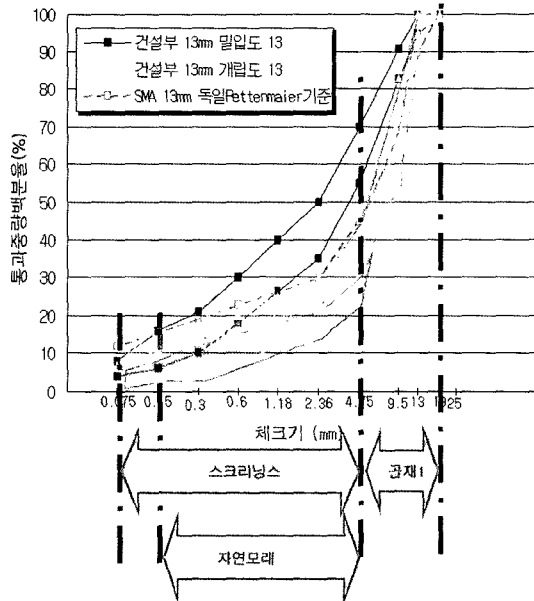


그림 5. SMA 및 배수성 포장 입도

- 대부분 혼합 입도로 생산되어 배수성 포장과 같은 특화된 특수 포장용 입도 규정을 만족시키는데 어려움 있음.
- 아스콘 골재의 입형에 대한 품질관리가 거의 이루어지지 않고 있음.
 - 현재 국내 골재의 기준은 아스팔트 혼합물의 경우 두께와 폭(편석) 또는 폭과 길이(장석)의 비가 1:3 이상인 것의 비율이 20% 이내로 하는 편장석율을 규정하고 있으며, 특수 아스팔트 혼합물의 경우에도 같은 기준을 적용하고 있음. 따라서 최악의 경우 두께와 길이의 비가 최대 1:9가 될 수 있음.
 - ※ 미국 재료 시험 협회(ASTM) 등은 편석, 장석 구분없이 최소 길이와 최대 길이의 비가 1:3으로 규정하고 있음.
 - 그러나 국내 골재 입형 시험결과, 이러한 편장석에 관한 기준은 거의 무관심하여 지켜지지 않는 것으로 나타나며, 국내에 사용되는 일반골재는 현 국내 기준에는 아주 양호하게 합격되는 수준이지만 ASTM의 규정에 따라

시험해 본 결과는 거의 모두 기준을 벗어나는 시험치를 나타냄.

- 현재 SMA나 배수성 포장과 같은 특수 아스팔트 혼합물용 골재를 생산하기 위하여 골재 생산자가 자체적으로 1:3 이상인 골재의 비율을 15% 이내의 편장석율을 적용하여 생산하고 있으나, 자체적인 기준이기 때문에 제도적인 검증을 필요로 함.

3.2. 해외의 아스팔트 포장용 골재 관리 현황

- 국외 채석장 현지 조사
 - Haniel Bau Industrie GmbH, Hilgesdorfer Strasse, 39345 Flechtingen, Germany
 - Tarmac, Millfields Road, Ettingshall, Wolverhampton, WV4 6JP, UK
 - Vulcan Material Company, 747 E.22nd St. Lombard, IL, USA
 - Shinei Stone Aggregate Industry, Kitakyushu, Kyushu, Japan

- 해외의 경우 골재 품질관리 체제를 갖추고 있음
 - 무엇보다 조사된 대부분의 나라에서 골재 산업이 매우 경쟁적으로 이루어지고 있기 때문에, 생산되는 골재는 대부분 그 나라의 품질 규정을 초과하여 만족하고 있음.
 - 골재 품질관리를 위한 상시 검사 및 정기 검사 체제 갖추.
 - 상시 검사 항목: 골재입형, 입도, 콘크리터 간격 등
 - 정기 검사 횟수: 구체적 형식 등은 나라마다 차이를 보임. 대체로 매 10,000톤 생산시마다 실시하며, 외부의 독립적 기관에 의해 수행됨.
 - 자체적인 품질관리를 위한 데이터 베이스 가동.
 - 품질관리 교육
 - 미국의 경우 정기적인 골재 생산 품질관리 교육을 실시함.
 - 다양한 장비와 생산 기술이 적용됨.
 - 일본의 경우, 화성암 계열 골재의 입형 개선을 위하여, 국내에는 거의 소개되지 않은 Vertical Shift Impact(VSI) Crusher(일명 Barmac)라는 장비를 사용하고 있음.
 - Barmac이라는 장비는 아스팔트 포장용 골재에 사용되며, 필요에 따라 2회를 통과하게 되면 1:3의 편장석 비율이 거의 0에 가까운 매우 우수한 골재를 얻게 된다. 이 장비를 가동하여, 양질 입형의 부순모래를 얻기도 함.
 - 다양한 크기의 단입도 골재를 생산하고 있음.
 - 2.5mm 크기의 단입도 골재를 생산함.
 - 석분은 2.0mm 크기의 입자로 분류함.
 - 5mm 이상의 골재도 단입도로 분류하고 있음.
- 아스팔트 플랜트에서의 골재 관리
 - 다양한 크기의 골재를 다수의 콜드빈에 담아 놓고, 다양한 종류의 아스팔트 혼합물을 생산하고 있음.

3.3. 배수성 포장용 골재의 품질향상 방안

이상의 검토를 바탕으로 국내 배수성 포장용 골재의 품질 향상 방안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

가. 채석장에서의 생산 체계 개선

- 콘 크러셔 가동시 크러셔 내부를 골재로 가득 채워 생산
- 최종적으로 입형 관리용 크러셔(VSI) 가동
- 생산된 골재의 단입도 관리

나. 플랜트에서의 생산체계 개선 (채석장 개선이 안될 경우)

- 가장 양호한 방법으로는 플랜트 내에 VSI크러셔를 설치 가동
- 보관하는 골재의 단입도 관리
- 최소한 2~5mm 크기의 단입도 골재를 별도로 관리
- 석분 대신, 최대치수 2mm이하의 부순모래 사용 권장

다. 품질관리 기준의 개선

- 골재의 입형 관리 강화
 - 골재 입형 1:3기준을 최소길이와 최대길이의 비로 적용하는 것으로 개정 (골재 입형 측정 기준을 KS F 2575에 규정된 방법이 아닌 ASTM D 4791 방법으로 변경)
 - 특수 아스팔트 혼합물용 골재의 편장석 함유율은 15% 이내로 강화
 - 일반 아스팔트 혼합물용 골재 20% 이내
 - ※ 기준 개선과 관련하여 건설교통부에서 보다 구체적인 안을 수립하여 산업자원부와 KSF 2575 개정을 협의할 예정