

저소음·배수성 포장의 확대 시행을 위한 타당성 조사

완 료 보 고 서

2010년 8월 18일



- 주관기관 : 서울특별시 도로관리담당관
- 사업자 : (사)한국도로학회

연 구 진

▣ 서울특별시 도시교통본부

도로관리담당관 과장 장인규

팀장 김효식

담당 지세진, 이상엽, 박대근

< 목 차 >

제 1 장 서 론	1
1.1 과업의 배경	1
1.2 과업의 목표 및 내용	1
제 2 장 국내 외 기술 동향 및 적용 사례	3
2.1 저소음·배수성 포장의 연구동향	3
2.1.1 네덜란드의 저소음·배수성 포장 연구	3
2.1.2 미국의 저소음·배수성 포장 연구	7
2.1.3 영국의 저소음·배수성 포장 연구	7
2.1.4 저소음·배수성 포장의 기능 유지방법	9
2.2 저소음·배수성 포장의 사회 환경적 개선 효과	10
2.2.1 서울시 교통사고 및 소음 관련 민원 발생 현황	10
2.2.2 교통사고 저감 효과	14
2.2.3 교통소음 저감 효과	16
2.3 주요 적용사례	16
2.3.1 미국 메사추세츠주 세일럼 친환경 주거단지	17
2.3.2 영국 A38	18
2.3.3 일본 도쿄	19
2.3.4 미국 US 287	19
2.3.5 영국 웨일즈 M4 고속도로	20
제 3 장 서울시 저소음, 배수성 포장 공법의 기술수준 분석	21
3.1 원재료의 생산 기술 수준 분석	21
3.1.1 개질 아스팔트 바인더	21
3.1.2 골재	24
3.1.3 아스팔트 혼합물의 품질 수준	25
3.2 시공기술 수준 분석	26
3.3 서울시 저소음·배수성 포장 적용사례 및 현황 분석	29
제 4 장 저소음·배수성 포장 확대시행에 대한 경제적 타당성 분석 33	
4.1 초기시공비와 유지관리비 등을 포함한 비용분석	33
4.1.1 초기시공비(한국)	33
4.1.2 유지관리비 (한국)	34

4.1.3 초기시공비 & 유지관리비 (미국)	34
4.2 사회 환경적, 공용성 효과분석	35
4.2.1. 소음저감에 의한 편익 산정방법	35
4.2.2 사고율 저감을 통한 편익 분석	45
4.2.3 공용성 측면의 편익 분석	47

제 5 장 생애주기비용 분석을 통한 타당성 분석	49
5.1 생애주기비용 분석을 통한 저소음·배수성 포장의 타당성 분석	49
5.1.1 품질관리 수준에 따른 민감도 분석	49
5.1.2 사고율에 따른 민감도 분석	52

제 6 장 저소음·배수성 포장의 확대 시행을 위한 장단기 계획	53
6.1 연차별 확대 시행 구간	53
6.1.1 추진전략	53
6.1.2 1단계 확대시행구간 선정	53
6.1.3 1단계 확대시행구간 사업비 추정	55
6.2 확대 적용을 위한 제도적 개선 방안	56
6.2.1 기술적 개선방안	56
6.2.2 제도적 개선 방안	57
6.2.3 대외 홍보 및 유지관리 방안	64

제 7 장 결론	65
-----------------------	-----------

<참고문헌>	67
---------------------------	-----------

부 록	69
------------------	-----------

< 표 목 차 >

<표 2-1> Rollpave 방법에 대한 장점 및 단점	6
<표 2-2> 각 방법에 대한 이물질 수거량	10
<표 2-3> 차량 1만대당 교통사고 사망자수	11
<표 2-4> 인구 10만명당 교통사고 사망자수	11
<표 2-5> 서울시 교통사고 발생건수 (서울 서베이)	12
<표 2-6> 서울시 교통사고 인명피해 (서울 서베이)	12
<표 2-7> 세계보건기구(WHO) 사회 소음 가이드라인	14
<표 2-8> 국외 적용사례 요약	17
<표 2-9> 차량 속도 비교 (북 웨일즈)	20
<표 3-1> 서울시와 일본의 저소음·배수성 아스팔트 포장용 개질 아스팔트의 품질 규격 비교	22
<표 3-2> 시험시공에 사용된 저소음·배수성 개질 아스팔트 바인더의 품질시험 결과	22
<표 3-3> 일본 및 국내 K사 개질 아스팔트 바인더의 품질시험 결과	24
<표 3-4> 서울시 저소음·배수성 아스팔트용 굵은 골재 품질 기준	25
<표 3-5> 일본의 저소음·배수성 아스팔트용 굵은 골재 품질 규정	25
<표 3-6> 저소음·배수성 아스팔트 혼합물의 품질 기준 비교	26
<표 3-7> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 현장 다짐도 측정 결과	27
<표 3-8> 서울시 저소음·배수성 포장 시공실적 상세	30
<표 3-9> 2009-2010년도 서울시 포장도로 재포장 현황	31
<표 4-1> 서울시 단가산출 일반 아스팔트	33
<표 4-2> 서울시 단가산출 배수성 아스팔트	34
<표 4-3> 한국 E사와 S사 초기시공비 비교	34
<표 4-4> m ² 당 포장별 비용	35
<표 4-5> 한계소음비용 계산 예시	38
<표 4-6> 소음노출지수 가중치	41
<표 4-7> 소음 1dB(A) 주거재산가치의 손실비율	45
<표 4-8> 기상상태별 교통사고 (2008년 교통사고 요인분석)	46
<표 4-9> 피해종별 평균비용 (2008년 도로교통사고 비용 추계와 평가)	46
<표 4-10> 차량 속도 비교 (북 웨일즈)	47
<표 4-11> 업무통행 시간가치 (2007년 기준)	48
<표 5-1> 소음가치의 평균원단위 (2009년 교통시설 투자평가 지침)	49
<표 5-2> 생애주기비용 분석결과표 (1km 당 소요비용)	50
<표 5-3> 생애주기비용 분석결과표 (1km 당 소요비용)	52
<표 6-1> 저소음·배수성 포장의 확대적용 추진전략	53

<표 6-2> 서울시 도로종류별 소음도 측정 결과	54
<표 6-3> 1단계 서울시 저소음·배수성 포장 추진 소요예산 추정	56
<표 6-4> 연차별 포장구간 시공계획 (160Km, 1,497억원)	56
<표 6-5> HMA 주별 지불규정 인자 사용현황	63
<표 6-6> 슈퍼페이브 주별 지불규정 인자 사용현황	64

<제목 차례>

<그림 2-1> 감속도 측정 모습	4
<그림 2-2> 각 포장방법별 감속도	4
<그림 2-3> 미끄럼저항 실험모습	5
<그림 2-4> 시간의 흐름에 따른 미끄럼저항성 변화	5
<그림 2-5> 설치사진	6
<그림 2-6> 기존 청소 방법과 장비	9
<그림 2-7> 최신 청소 방법과 장비	10
<그림 2-8> 서울시 소음민원 발생 분포도	13
<그림 2-9> 교통사고율 저감 효과 분석	15
<그림 2-10> 물고임 및 물보라 방지효과와 난반사 방지 효과	15
<그림 2-11> 포장 형식별 제동거리 (한국건설기술연구원)	16
<그림 2-12> 소음감소로 인한 효과	16
<그림 2-13> 세일럼 친환경 주거단지 시공 전·후 모습	17
<그림 2-14> Burton-on-Trent A38 도로	18
<그림 2-15> 우천시 도교만 아쿠아 라인-우미호타루 휴게소 부근	19
<그림 2-16> US 287 in Wichita Falls	19
<그림 2-17> 비교 조사 지역 (영국)	20
<그림 3-1> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 현장 투수능력 측정 결과	27
<그림 3-2> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 현장 소음도 측정 결과	28
<그림 3-3> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 바퀴부 소음도 측정 결과	28
<그림 3-4> 서울시 저소음·배수성 포장의 기술수준 및 개선사항	29
<그림 3-5> 경과년수에 따른 투수량 (일본)	31
<그림 3-6> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 미끄럼저항(BPT) 시험 결과	32
<그림 3-7> 저소음·배수성 포장 전 후의 시인성 개선 효과	32
<그림 4-1> Gillen-Levinson Model 예시	37
<그림 4-2> 소음노출지수 (NEF)	40
<그림 4-3> 소음불만지수 (Annoying Factor, 2005)	41
<그림 4-4> 소음노출지수와 비용관계도	42
<그림 4-5> 소음 환경 기준치를 초과하는 면적 (U) 1dB(A)당 평방미터의 손실비용(LC)의 산정	44
<그림 4-6> 배수성 포장과 일반포장의 시야 비교	47
<그림 5-1> 분석기간 20년 동안의 비용 및 편익 추이	51

제 1 장 서 론

1.1 과업의 배경

사회가 발전함에 따라, 국민들에게 도로 환경의 중요성을 인식 되고 있다. 우리나라는 OECD 국가 중 교통사고율이 1위라는 불명예를 안고 있다. 따라서 이를 해소하기 위하여 주행 안정성이 향상된 포장도로를 제공할 필요가 있다. 또한 시민들의 의식 변화로 인한 기본생활권 추구 성향이 증대됨으로 인해, 도로·환경문제의 하나인 소음·진동에 관한 민원이 증대 되고 있는 실정이다. 교통량 증가 및 차량의 대형화로 인한 교통소음의 증가로 발생하는 대부분의 소음은 기준치를 상회하는 실정이다. 따라서 서울시에서는 교통사고 저감 및 소음 감소를 위해 저소음·배수성 포장의 확대 시행을 위한 타당성 조사를 실시하게 되었다.

저소음·배수성 포장은 소성변형에 대한 저항성이 높고 양호한 평탄성을 제공하며, 소음 저감 효과가 탁월하다. 또한 우천시 신속한 배수를 통한 안전사고 발생 저감 효과 및 미끄럼 저항성 능이 우수한 특성을 가지고 있다. 저소음·배수성 포장의 적용 효과에 대한 선진국의 사례를 살펴보면 우천시 시인성 향상, 미끄럼 저항성 증대 등으로 교통사고 발생률을 93% (Permeable Friction Courses Add Safety, Dale A. Rand, P.E. TxDOT, 2008) 이상 획기적으로 저감시키고, 소음과 관련해서는 기존 포장에 비해 3-5dB(A)의 소음 저감 효과가 있으며 이를 차량 속도로 환산할 경우 20%의 속도를 줄이거나 교통량이 50% 줄었을 때와 같은 효과를 나타내었다. 또한 저소음·배수성 포장은 일반형태의 방음벽을 1개 (3.96m(L)×0.5m(H)×0.095m(W)) 설치하는 효과와 동등하며 방음벽 설치를 최소화 할 수 있어 도시 경관의 개선이 기대된다.

저소음·배수성 포장은 이러한 사회 환경적 요구들을 만족할 수 있는 포장공법이며, 본 용역에서는 이러한 사회환경적 편익과 비용 등의 분석을 통해 저소음·배수성 포장의 기술적, 환경적, 경제적 타당성을 분석하는 것이 주된 목적이다.

1.2 과업의 목표 및 내용

본 과업의 목표는 다음과 같다.

- 가. 선진도시의 저소음·배수성 포장관련 동향 분석
- 나. 서울시의 저소음·배수성 포장 공법의 기술수준 분석
- 다. 저소음·배수성 포장 확대시행에 대한 경제적 타당성 분석

본 과업의 세부내용은 다음과 같다.

- 가. 선진도시의 저소음·배수성 포장관련 동향 분석

- 1) 저소음·배수성 포장의 연구동향
- 2) 저소음·배수성 포장의 사회환경적 개선 효과
- 3) 주요 적용사례

나. 서울시의 저소음·배수성 포장 공법의 기술수준 분석

- 1) 원재료 생산 기술수준 분석
- 2) 시공 기술수준 분석
- 3) 서울시 저소음·배수성 포장 적용 사례 및 현황분석

다. 저소음·배수성 포장 확대시행에 대한 경제적 타당성 분석

- 1) 초기시공비, 유지관리비 등을 포함한 비용 분석
- 2) 사회환경적, 공용성 효과 분석
 - 소음 및 사고율 저감을 통한 편익분석
 - 공용성 측면의 편익 분석
 - 기타 영향에 대한 정성적 분석
- 3) 생애주기비용 분석을 통한 저소음·배수성 포장의 타당성 분석

라. 저소음·배수성 포장 확대시행을 위한 장단기 계획 수립

- 1) 연차별 확대 시행 구간 제시
 - 적용구간의 특성 및 경제적, 기술적, 환경적 타당성 고려
- 2) 확대적용을 위한 제도적 개선 방안 제시
 - 양질의 검증된 재료를 확보토록 자재선정방안 개선안 제시
 - 공법의 확대적용을 위하여 효율적인 대외홍보 방안 제시
 - 주기적이고 합리적인 유지관리 시행 방안 제시

제 2 장 국내 외 기술 동향 및 적용 사례

2.1 저소음·배수성 포장의 연구동향

현재 선진국들에서는 저소음·배수성 포장에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 소음으로 인한 피해의 저감을 위한 연구와, 사고율을 저감시키기 위한 연구에 이르기 까지 다양한 연구들을 진행 중에 있다. 이러한 연구의 목적은 각 나라의 국민들에게 쾌적하고 안전한 도로 환경을 제공함에 있다. 연구들은 단순히 소음 저감과 사고율 저감뿐만 아니라, 시공 후 소음 저감, 배수성 증가로 인하여 생기는 여러 가지 편익들에 대한 분석도 같이 이루어지고 있다. 저소음·배수성 포장들의 특징 중 하나는 공극의 크기가 크다는 점인데, 이런 큰 공극들로 인하여 배수를 원활히 하게 만들며, 소음을 저감 시키게 된다. 따라서 공극에 이물질이 있을 경우 효과가 감소하기 때문에, 예방유지 보수를 하는 방법도 중요하다 볼 수 있다. 저소음·배수성 포장의 유지보수는 일반 아스팔트 방법으로는 적용하기가 어려운 점이 있기 때문에 이를 해결하기 위한 유지보수방법이 연구되어지고 있다. 본 장에서는 해외 선진국에서 수행하고 있는 연구 내용 및 결과를 정리하였다.

본 연구에서 저소음·배수성 포장이라 불리는 명칭은 각 나라마다 다르고 약간의 성질이 다르다. 하지만 소음저감과 배수의 목적이 같으므로 저소음·배수성 포장과 같은 의미로 보고 있다. 미국의 경우 개펄도 아스팔트 콘크리트(OGAC : Open Graded Asphalt Concrete), 투수성 마찰층(PFC : Permeable Friction Courses), 개펄도 마찰층(OGFC : Open Graded Friction Courses), 배수성 포장(Porous Asphalt)을 사용하고, 일본에서는 배수성 포장이라고 명명하고 있다. 따라서 위의 모든 명칭은 저소음·배수성 포장 및 배수성 포장과 그 의미를 같이 한다.

2.1.1 네덜란드의 저소음·배수성 포장 연구

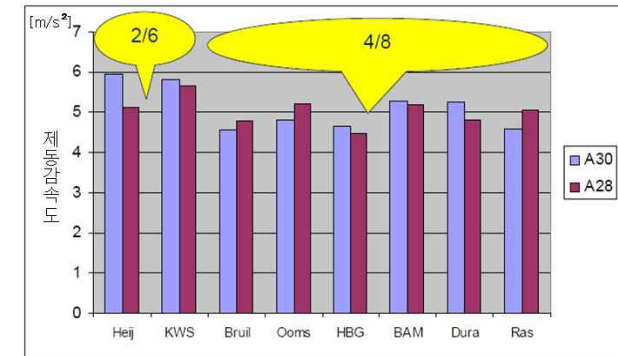
네덜란드에서는 골재 크기의 혼합 비율에 따라 저소음 배수성 포장에 대한 효과를 알기 위해 다양한 실험을 시행하고 있다. 다년간 배수성 포장을 사용하여 도시 환경적 문제에 대처하고 있으며, 새로운 개념인 2층 아스팔트 포장 시공기법을 제안하였다. (위층에는 fine-graded porous asphalt, 아래 층에는 coarse-graded porous asphalt : 골재 사이즈의 변화를 뒷면과 아랫면에 다르게 두는 방법이다.) 그 결과 50km/h의 속도일 때 전체 소음의 3-4dB(A), 100km/h의 속도일 때는 5.5dB(A) 감소, PCC에 비해서는 7-12dB(A) 소음감소의 효과를 보이는 것으로 나타났다. 이외에도 골재 크기에 따른 감속도와 미끄럼저항에 대한 연구를 하고 있다.

가. 감속도 효과

네덜란드에서 시행한 저소음·배수성 포장의 감속도 실험은 다음과 같다. 건조한 도로 상황에서 실험자가 차량에 탑승하여 주행 중 알람소리가 울리면, 실험자가 감속을 하게 된다. 운전자가 감속하는 상황에서의 감속도를 측정하는 형태의 실험을 실시하여 포장공법에 따른 감속도를 연구하고 있다.



<그림 2-1> 감속도 측정 모습



<그림 2-2> 각 포장방법별 감속도

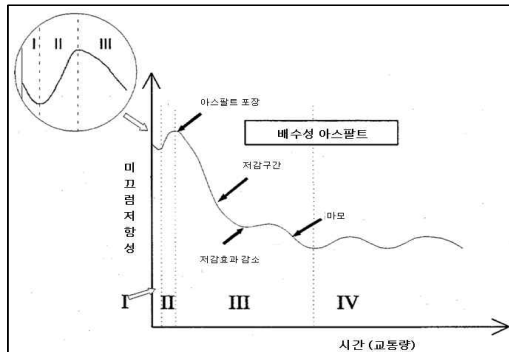
골재크기와 포장방법에 따른 감속도 효과는 다음과 같이 2-6mm(2/6)의 골재를 사용하는 포장의 경우는 감속도가 5m/s²를 넘는 반면 4-8mm(4/8)의 골재를 사용하는 포장방법의 경우는 대부분 5m/s²의 감속도를 넘지 않는 값을 보인다. 즉 2-6mm(2/6) 골재가 4-8mm 골재보다 감속도 효과가 우수하다는 것을 의미한다.

나. 미끄럼저항 증대효과

미끄럼저항의 측정 방법은 표면에 이물질이 없는 깨끗한 상태의 도로에서 실험차량 뒤쪽에 측정 장비를 장착한다. 실험차량이 이동하면서 포장의 미끄럼저항에 대한 실험을 실시한다. 결과는 시간의 흐름에 따라 미끄럼저항성의 변화를 나타낸다.



<그림 2-3> 미끄럼저항 실험모습



<그림 2-4> 시간의 흐름에 따른 미끄럼저항성 변화

시공 후 시간의 흐름에 따른 미끄럼 저항성 측정값의 변화를 통하여, 미끄럼 저항성이 급속도로 감소되는 시점을 측정할 수 있다. 미끄럼 저항성의 감소는 포장 성능의 감소라 볼 수 있으므로, 시공 후 초기에는 우수한 효과를 나타내지만 어느 정도의 교통량과 시간이 경과되면서 감소하다가, 일정 기간을 경과하게 되면 저감효과 감소정도가 작아지면서 일정한 값에 수렴한다. 따라서 미끄럼 저항성의 측정값을 통한 유지보수 시기 결정방법도 고려하여야 한다.

다. Rollpave

아스팔트 포장의 새로운 포설방식으로 Rollpave 방법을 소개하고 있다. 기존의 큰 시공 장비를 사용하는 포장 방법에서 벗어나 장비를 단순화 시킨 방법으로, 포장 시 소음감소뿐 아니라 시공시간도 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 시공으로 인하여 생기는 교통 지체시간도 줄이는 효과를 보인다.

1) 장점 및 단점

<표 2-1> Rollpave 방법에 대한 장점 및 단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ○ 건설시 소음감소와 시공시간 절약 기대 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 겨울철의 시공과 커브에 대한 성공적인 설계 증명 부족 ○ 포장이 소음요구 기준치에 미달 ○ 큰 규모의 건설에 적용하기 부적절

2) Rollpaver 설치

Rollpaver는 30mm 두께 다공성의 얇은 층을 감을 수 있는 장비를 이용한다. 그 후 아래 <그림 2-5>와 같은 방식으로 아스팔트로 포장 재료를 감아서 포설 준비를 한다. 포설 장비가 이동 시 감았던 아스팔트를 점점 풀어가며 표면을 설치하는 방법이다. 넓이 조절은 트의 폭에 따라 조절이 가능하다.



<그림 2-5> 설치사진

2.1.2 미국의 저소음·배수성 포장 연구

가. 연구방향

캘리포니아 교통국 (Caltran : California department of transportation)과 텍사스 교통국 (TxDOT : Texas department of transportation)은 개립도 아스팔트 콘크리트(OGAC : Open Graded Asphalt Concrete)로 인한 저소음·배수성 포장 연구에 초점을 맞추고 있다. TxDOT는 투수성 마찰층(PFC : Permeable Friction Courses)를 저소음·배수성 포장으로 채택하였다. TxDOT의 첫 PFC는 1999년에 만들어졌으며, 대략 25개의 PFC가 텍사스 전역에 건설되었다. 투수성 마찰층(PFC)은 수막현상과 미끄럼방지, 물보라현상 감소시킨다. 또한 주행성을 향상 시키고 야간 및 도로 표지의 시인성을 향상 시킨다. 애리조나에서는 오래된 콘크리트를 개립도 마찰층(OGFC : Open Graded Friction Courses)으로 재포장 하여 9.5dB(A)의 소음감소 효과를 보았고, 쉐안토니오에서는 1.5인치의 투수성 마찰층 시공으로 기존의 포장보다 10dB(A)의 소음감소효과를 보았다.

나. 효과비교

캘리포니아의 다비즈 주변의 도로포장 9km를 1998년 6월 재시공 하였는데, 이 포장은 6cm 두께의 밀입도 아스팔트 콘크리트 (DGAC : Dense Graded Asphalt Concrete)와 2.5cm 두께의 개립도 마찰층(OGFC)로 덧씌우기 포장을 실시하고, 소음기준치를 확립하기 위하여 1개월동안 소음값을 측정하였다. 밀입도 아스팔트 콘크리트(DGAC)일 때는 측정된 기준치 보다 3~4dB(A) 감소하였고 연구 기간 전체 기준으로 보았을 때 이전과 비교하여 4~6dB(A) 정도의 감소 효과가 있었다.

2.1.3 영국의 저소음·배수성 포장 연구

가. 개념 및 역사

영국에서의 배수성 포장에 대한 연구는 강우로 인한 공항포장에서의 피해를 막기 위해 시작되었다. 많은 양의 빗물을 감소시켜 그로 인한 항공기의 미끄럼을 방지하기 위한 방법으로 출발하였다. 미끄럼 저항성을 높이기 위하여 골재 크기가 큰 포장 재료가 사용되어 많은 양의 공극을 포함하게 되었다. 그리고 포장에서 바인더를 제외한 재료를 보호 하고 물의 침투로 인한 포장면의 기초 피해를 줄이기 위해 불투수성 재료를 사용했다. 배수성포장은 1950년대 중반 UK Ministry에서 개발되었다. 이 시기에 적용된 방법은 개립도 10mm 골재를 사용하였으며, 20%의 공극률을 가진 재료로 시공을 하였다. 시공 후 매우 우수한 성능으로 판명되어 1960년대 초반까지 많은 토목공사 및 공항 활주로 표층에 사용되었다. 많은 연구기관(Road Research Laboratory)에서 이 재료의 적용을 검토하였다. 대부분의 결과 우수한 성능으로 판명되었으

나, High Wycombe 도로에서 시도된 초기 도로 시험 중 하나는 기존에 예상된 도로의 수명이 15년 남았음에도 불구하고 배수성 포장의 기능을 단 몇 년 만에 상실한 경우도 있었다.

나. 영국에서의 배수성 포장 적용

영국에서는 배수성 포장을 수막현상으로 인한 미끄럼 방지에 사용하기보다 소음 감소의 관점에 큰 초점을 두고 있다. 배수성 포장을 무조건 장려 하는 것이 아니라 시공 시 배수성아스팔트의 장, 단점을 고려하고 있다. 배수성 포장 시, 배수성 포장의 장점인 소음 감소, 미끄럼 저항의 증가뿐만 아니라 단점 또한 고려하여 시공 구간 선정 후 여러 가지 요인에 맞춰 대안을 결정하게 된다. 다음은 영국에서 제안하고 있는 배수성 포장의 문제에 대한 주요 인자 및 문제점에 대한 사항이다.

1) 골재의 품질 및 비용

배수성 포장의 경우 골재의 PSV(Polishes Stone Value)가 높기 때문에 경제성이 떨어진다. PSV란 골재가 포장과 타이어 사이에서 마모되는 정도를 나타내는 값이다. PSV가 높다는 것은 골재가 마모가 잘된다는 것이다. 더 잦은 유지보수가 더 필요하고 마모된 먼지로 인한 배수 기능을 유지하기 위해 청소가 필요하다. 그리고 배수성 포장에 사용되는 골재는 일반적으로 사용치 않는 골재이고, 골재원이 비교적 멀리 위치해 있기 때문에 초기 비용도 높다.

2) 골재의 크기

현 영국 지방서에는 최대 크기 20mm 골재를 요한다. 이로 인하여 표층의 두께가 두꺼워져 경제성이 떨어진다.

3) 혼합물 생산 플랜트 운영

플랜트의 기존 장비로는 생산이 어려워 새로운 여러 가지의 장비 구비가 필요하기 때문에 시간 및 비용의 증가가 발생하게 되어 효율적이지 않을 수 있다. 또한 상황에 따라 아스팔트 종류를 변경 사용해야 하는 경우가 있는데, 현 플랜트의 장비에서는 아스팔트 종류를 변경하여 생산하기 어려운 경우가 있다.

4) 포설 및 다짐

횡방향 배수성을 증대시키기 위해서는 종방향 시공줄눈을 제거하여야만 한다. 이를 위하여 적어도 각 2개 이상의 페이버와 롤러가 필요하고 이는 직접적으로 비용의 증가를 가져온다. 또한 시공 후 1개 차선이 부적합한 경우 재포설을 해야 한다. 그러나 위에 서술된 여러 문제점을 보

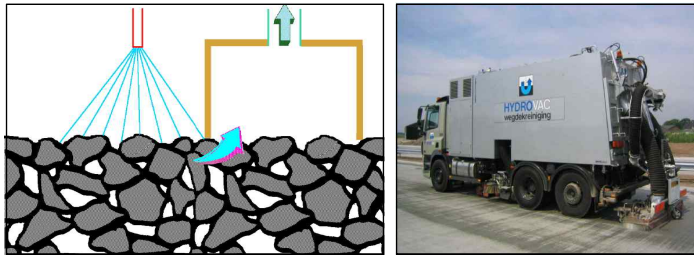
완하기 위하여 다음과 같은 보완책을 제시하였다. 우선 골재의 PSV를 감소시켜 경제성을 높이고 굵은 골재만 사용이 가능한 것이 아닌 10mm나 14mm의 골재의 사용도 허용하게 하였다. 이로 인하여 골재 생산시의 비용이 절감되고, 표층의 두께도 기존의 50mm보다 얇은 35-40mm로 시공하여 비용을 절감할 수 있다. 또한 배수성 향상을 위하여 2개 이상의 페이퍼와 롤러를 필요로 하였으나, 경제적 요인으로 각 장비의 종류당 1대의 장비로 시공이 가능하게 하였다.

2.1.4 저소음·배수성 포장의 기능 유지방법

가. 기존 방법과 최신 방법의 비교

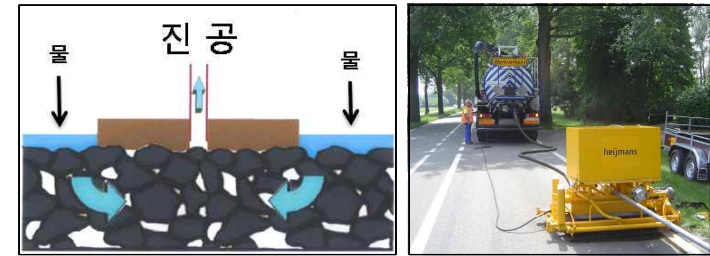
저소음·배수성 포장은 공극이 막히면 효과가 줄어들기 때문에 청소가 중요하다. 최근 개발된 방법은 진공을 이용한 방법으로 <그림 2-7>에서 나타내고 있다.

우선 기존 방법의 경우 강한 압력으로 물을 뿌려 공극 사이의 이물질들을 나오게 하여 이물질들을 수거하는 방법이다. 수압으로 인해 나온 이물질이 다른 공극으로 흘러들어갈 수 있기 때문에 효과가 적다.



<그림 2-6> 기존 청소 방법과 장비

다른 공극으로 이물질이 들어가는 기존 방법의 문제점을 해결하기 위해 새롭게 개발된 방법은 진공을 이용한 방법이다. 물을 장비 주변에 뿌려 진공을 이용해서 주변의 물을 다시 장비로 흡수하여 방법이다. 이물질이 다른 공극으로 흘러들어가는 경우가 줄어들어 더욱 효과적인 청소가 가능하고 청소장비의 소형화가 되었다.



<그림 2-7> 최신 청소 방법과 장비

나. 효과비교

<표 2-2> 각 방법에 대한 이물질 수거량

방 법	제거된 오물 [kg(건조중량)/80m(주행차로)]
기존 방법	15.48
기존+최신 방법	55.55
최신 방법	28.07

위의 <표 2-2>에서 볼 수 있듯이 기존의 방법보다 최신 방법의 경우가 더 높은 효과를 보이고 있지만 하나의 방법만 사용한 것보다 두 가지 방법을 같이 사용할 경우 더 높은 효과를 보이는 것을 볼 수 있다. 즉 수압으로 이물질을 제거하고 진공으로 그 물을 흡수하는 방법이 이물질을 가장 효과적으로 제거한다. 그리고 4.1.3의 내용으로 배수성 포장의 기능을 유지하기 위해서는 일 년에 6회 정도의 청소가 필요하다.

2.2 저소음·배수성 포장의 사회 환경적 개선 효과

저소음·배수성 포장은 기존 도로포장과 비교하였을 때, 소음저감과 배수효과로 인해 교통안전, 통행 만족도, 시민의 기본생활권을 보장 할 수 있으며 우선 시 물튀김 현상을 방지하는 효과가 있어 기존의 도로포장보다 이용자 친화적이라 할 수 있다.

2.2.1 서울시 교통사고 및 소음 관련 민원 발생 현황

가. 교통사고 발생 현황

2009년도 OECD에서 발표한 국가 교통사고율 현황에서 대한민국은 OECD국가 중 교통사고율이 가장 높은 국가이다. 도로교통공단의 2009년 교통사고 통계자료에 의한 <표 2-3>, <표

2-4>, <표 2-5>와 <표 2-6>을 보면 알 수 있듯이, 대한민국의 차량 1만대당 교통사고 사망자수는 '01년 4.9명에서 '08년도 2.9명으로 큰 폭으로 줄었고, 인구 10만명당 교통사고 사망자수 또한 '01년 17.1명에서 '08년 12.1명으로 감소하였다. 또한 아래의 <표 2-5>를 보면 서울시 교통사고 발생 건수는 자동차 1만대당 2000년 188.7건에서 125.1건으로 약 30% 감소되었고 사망자수는 자동차 1만대당 약 1.4명으로 집계되었다. <표 2-6>에서 나타난 바와 같이 2007년 서울시 교통사고 사망자수는 인구 10만명당 4.3인이며 부상자는 550.7인으로 조사되었다. 2000년에 비해 인구 10만명당 사망자수는 줄어들고 있다. 사고 발생건수 및 사망자는 점차 줄어들고 있지만 원초적인 문제를 해결했다고 말하기 보다는 기술 및 의료기술의 발달로 인해서 일어난 세계적인 추세이라 할 수 있다. 하지만 OECD 평균과 비교를 해 보았을 때 '06년도 차량 1만대당 사망자수는 2배 이상의 차이를 보이고 있고 인구 10만명당 사망자수 또한 4명이상의 차이를 보이고 있어서 세계적인 관점에서 아직 대한민국은 교통안전지대라고 말할 수 없다.

<표 2-3> 차량 1만대당 교통사고 사망자수

(단위 : 명)

구 분	'01년	'02년	'03년	'04년	'05년	'06년	'07년	'08년
대한민국	4.9	4.1	4.0	3.5	3.4	3.3	3.1	2.9
OECD 평균	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	-	-

(주) 건설기계, 농기계 등 포함 차량 대수 총 2,048만대

<표 2-4> 인구 10만명당 교통사고 사망자수

(단위 : 명)

구 분	'01년	'02년	'03년	'04년	'05년	'06년	'07년	'08년
대한민국	17.1	15.2	15.1	13.7	13.2	13.0	12.7	12.1
OECD 평균	10.9	10.9	10.2	9.4	9.1	1.5	-	-

(주) 2008년 12월 기준 총인구(추계인구) : 48,606,787명

<표 2-5> 서울시 교통사고 발생건수 (서울 서베이)

(단위 : 건)

연 도	교통사고 발생건수	자동차 1만대당 발생건수
2000	53,569	188.7
2001	45,255	154.8
2002	39,412	128.6
2003	40,279	127.8
2004	38,714	122.5
2005	38,528	120.7
2006	38,234	117.8
2007	39,360	118.0
2008	42,006	125.1

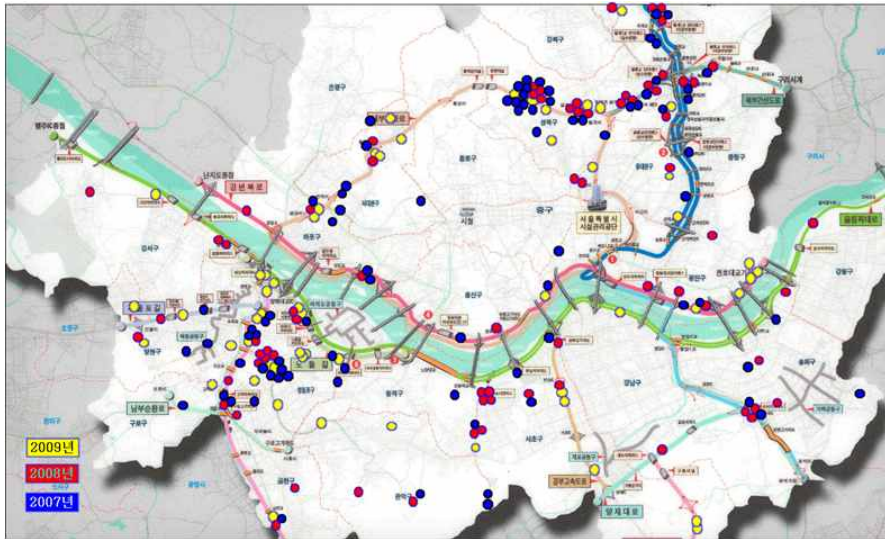
<표 2-6> 서울시 교통사고 인명피해 (서울 서베이)

(단위 : 명)

연 도	10만명당 교통사고 인명피해 상황		
	합 계	10만명당 사망자	10만명당 부상자
2000	724.4	7.2	717.2
2001	621.8	4.9	616.9
2002	548.8	5.0	543.8
2003	575.9	4.9	571.0
2004	557.2	4.5	552.7
2005	560.5	4.7	555.8
2006	548.4	4.3	544.0
2007	555.0	4.3	550.7

나. 소음관련 민원

전체적인 삶의 질이 향상되면서 시민들의 인식이 변화하는 가운데 시민들의 기본생활권 추구에 대한 성향이 증대하기 시작하였다. 따라서 이에 따른 민원이나 법적 대응 등이 많아지고 있다. (<그림 2-8> 참조).



<그림 2-8> 서울시 소음민원 발생 분포도

교통량의 증가 및 차량의 대형화로 인한 교통소음 증가로 대부분의 도로가 환경 소음 기준치를 상회하고 있고, 방음벽에 의한 소음저감 또한 조경이나 기능적인 문제로 한계에 도달하고 있다. 세계적으로도 소음에 관한 민감도가 크게 증가하고 있는 실정이다. 세계보건기구(WHO : World Health Organization)에서는 소음 가이드라인을 만들어 소음에 대한 정의를 하고 있으며, 다음 표는 세계보건기구(WHO)에서 제시한 장소 별 소음 가이드라인이다. 소음 크기별 지속시간에 따라, 건강에 미칠 수 있는 영향을 나타내고 있다. 예를 들어 <표 2-7>에서 병실 내 지역에서의 주간 소음을 평가할 때 30dB(A)이상의 소음 하에 16시간 지속 노출 시 수면을 방해할 수 있다는 것을 나타낸다.

<표 2-7> 세계보건기구(WHO) 사회 소음 가이드라인

구체적인 환경	건강 효과	낮 : LAeq(dB(A)) 밤 : Lnight(dB(A))	시간축(시간)
낮과 저녁 소음			
실외지역	심각한 짜증, 낮과 저녁시간 때에 보통의 짜증	55 50	16 16
실내 지역	의사소통가능 및 보통의 짜증	35	16
학교나 유치원 내 지역	의사소통가능, 정보전달 방해,	35	교실에 있는 시간 중
학교 운동장 지역	짜증	55	운동중
병실내 지역	수면 방해	30	16
병원 치료실 지역	치료 및 휴식에 방해	a	
야간 소음			
정면, 바깥쪽	수면방해, 자각 몸의 움직임	30	야간

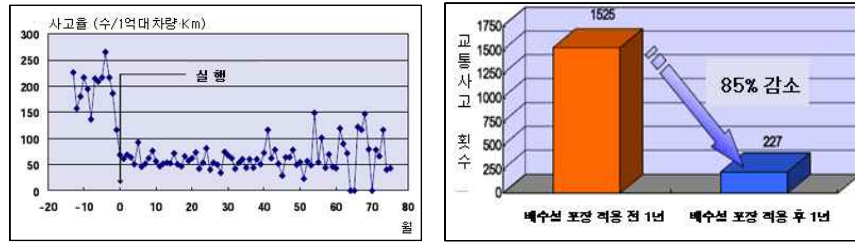
(주) a 가능한 소음을 작게 유지함.

2.2.2 교통사고 저감 효과

저소음·배수성 포장은 우천 시 물튀김 현상과 야간 운행 시 난반사에 의한 시인성 저감을 개선, 미끄럼 저항성의 증대 및 제동거리의 감소로 인하여 교통사고 발생을 획기적으로 저감 할 수 있다.

가. 교통사고 저감 사례

일본의 Nakanishi H. Kawanaka에 의하여 수행된 연구에 따르면 배수성 포장을 적용함으로 인하여 차량과 도로연장을 고려한 사고율(수/1억대 차량수·km)은 약 200에서 50으로 75%이상 감소하였고, 교통사고 발생건수는 기존의 1,525건에서 227건으로 약 85%정도 저감되었다고 한다.



<그림 2-9> 교통사고율 저감 효과 분석

1) 시인성

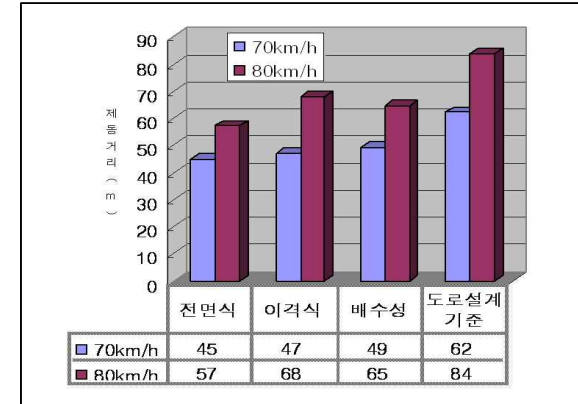
우천시 포장 면 위에 물은 매우 얇은 층의 물일지라도 자동차 타이어에 의한 상당한 양의 물보라가 발생할 수 있으며 80km/h 이상의 고속주행 도로에서 심각한 시인성 문제가 될 수 있다. 또한 야간 운전 시 전조등 때문에 일어나는 난반사와 눈부심 현상이 일어나게 되는데, 저소음·배수성 포장 시공 시 물고임 현상이 없어지므로, 운전자의 시인성이 개선되어 교통안전에 크게 기여한다.



<그림 2-10> 물고임 및 물보라 방지효과와 난반사 방지 효과

2) 제동거리

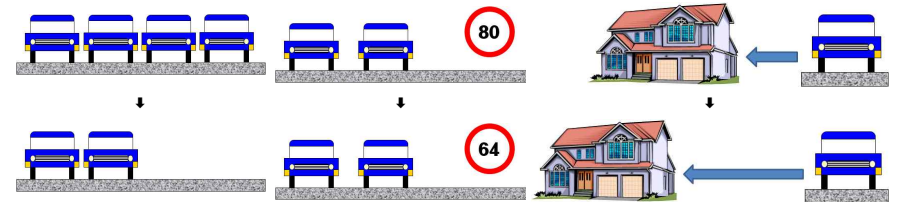
저소음·배수성 포장과 전면식(해당 구간의 노면 전체를 처리하는 것) 미끄럼 포장과 이격식(일정 부분을 띄워 부분 처리하는 것) 미끄럼 포장을 비교해 보았다. 70km/h구간 일 때는 배수성 포장이 전면식과 이격식에 비해 더 높은 제동거리를 나타내었으며, 80km/h일 때는 전면식과 이격식의 중간정도의 값을 보여 일반포장보다 미끄럼 저항의 증가로 짧은 제동거리를 가지게 됨을 알 수 있다. 따라서 기존 미끄럼 방지 포장의 기능을 포함하고 있다고 볼 수 있으며, 도로설계 기준의 제동거리에 더욱 근접하다고 볼 수 있다.



<그림 2-11> 포장 형식별 제동거리 (한국건설기술연구원)

2.2.3 교통소음 저감 효과

저소음·배수성 포장은 기존 포장에 비해 3-5dB(A)의 소음 저감 효과가 있다. 이를 차량 속도로 환산할 경우 20%의 속도를 감소시키거나 교통량이 50% 감소할 때와 같은 효과를 나타낸다. 또 저소음·배수성 포장은 방음벽을 1개 설치하는 효과와 동등하기 때문에 방음벽 설치를 최소화 하여 도로 경관에 도움이 된다.



<그림 2-12> 소음감소로 인한 효과

2.3 주요 적용사례

<표 2-8>을 보면 알 수 있듯이 미국이나 유럽 등의 선진국 들은 이미 1970년대나 1980년대부터 배수성 포장에 많은 관심을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 역으로 언급하자면 우리나라의 배수성 포장의 도입이 선진국에 비해 많이 늦으며 도입이 시급하다고 말할 수 있다.

<표 2-8> 국외 적용사례 요약

국 가	적 용 내 용	
미 국	오레곤	<ul style="list-style-type: none"> 1972년부터 본격적으로 시공시작 1979년에 개립도 고온 혼합체(Open-graded hot mix)를 사용
	메릴랜드	<ul style="list-style-type: none"> 1972년부터 시공시작
	플로리다	<ul style="list-style-type: none"> 사용장소 : 주간고속도로, 50mph이상, 복수차선
	조지아	<ul style="list-style-type: none"> 1970년부터 시공시작
오스트리아	<ul style="list-style-type: none"> 1984년부터 시공하여 근 7년간 약 300만m²의 실적 터널 내 포장에도 시공 	
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> 1984년부터 시작하여 실적은 1991년까지 약 400만m² 시공 	
네덜란드	<ul style="list-style-type: none"> 1986년부터 소음저감 주목적으로 도로포장에 적용하여 같은 해에 70km 시공 현재 65%이상의 고속도로 시스템에 저소음 포장이 시공되어 있음 	
영국	<ul style="list-style-type: none"> 1984년 영국의 Trial-roads-Q38 Burton bypass에 처음 사용 2011년까지 영국 도로망의 60퍼센트를 저소음 포장 시공 	
이탈리아	<ul style="list-style-type: none"> 고속도로의 35%인 1,958km를 2003년 저소음 포장으로 시공 완료 	

2.3.1 미국 메사추세츠주 세일럼 친환경 주거단지

미국의 메사추세츠주 세일럼 친환경 주거단지를 만들기 위해 땅위를 흐르는 빗물(유거수)을 10% 정도로 유지하는 것을 목표로 거리와 골목길에 저소음·배수성 포장을 시공하였다. 유거수를 저감하는 이유는 차량 운행시 쾌적성을 제공하고 유거수로 인한 하천·바다의 오염을 막기 위해서이다. 세일럼은 2000년 기준 40,407명의 소규모 도시이기 때문에 서울과 비교하기에는 다소 차이가 있을 수 있으나 기후가 서울과 비슷하고, 친환경 주거단지 조성으로 시민의 삶의 질을 높인다는 관점에서 본 연구에 적합한 사례로 평가 할 수 있다. 아래의 <그림 2-13>은 세일럼 친환경 주거단지 시공 전·후 모습이다.

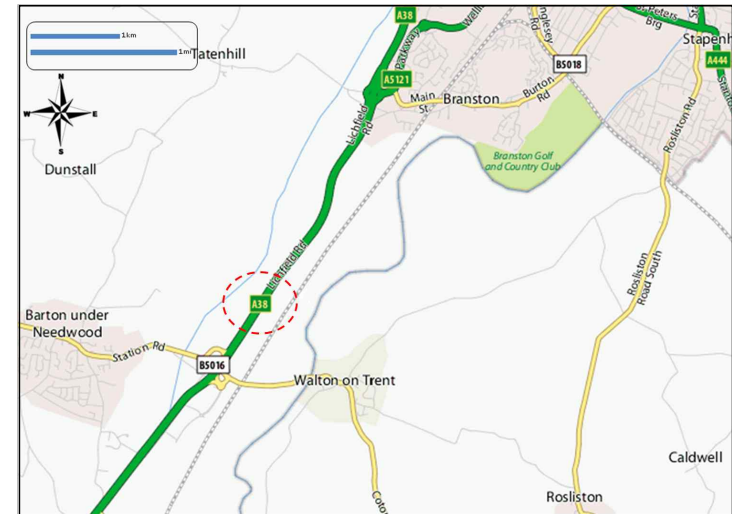


<그림 2-13> 세일럼 친환경 주거단지 시공 전·후 모습

방음벽의 시공을 하지 않아 쾌적한 경관의 향상을 가져 왔으며, 소음저감 및 사고율 감소를 보여주고 있다.

2.3.2 영국 A38

1980년대 후반 영국 Burton-on-Trent에 위치한 A38도로에 배수성포장 기능시험을 위해 롤드 아스팔트(Rolled asphalt)와 배수성 포장을 각 100m정도 시공하였다. 그 후 날씨(맑은 날과 우천시)에 따라, 롤드 아스팔트(Rolled Asphalt)와 배수성 포장의 평균 차량속도 조사를 시행하였다. 조사 방법은 날씨에 따라 각 구간의 정해진 지점을 통과하는 차량속도를 측정하여, 포장공법에 따른 차이를 비교하였다. 여기서, 롤드 아스팔트(Rolled Asphalt)는 균열 및 마모에 대한 내구성이 강해 눈이 많은 지역이나 산악지대 도로에 주로 사용되는 포장 공법을 말한다. 차량속도 조사 결과는 다음과 같다. 롤드 아스팔트(Rolled Asphalt)를 시공한 구간은 맑은 날과 우천시 비교 시, 맑은날에 비해 우천시 10 km/h 정도 평균속도의 감소(약 8%의 감소)효과를 나타냈고, 배수성 포장의 경우 같은 조건에서, 7 km/h 평균속도의 감소(약 5.7%의 감소)효과를 나타내었다. 이것을 기반으로 배수성 포장의 우천시 통행시간 감소 효과는 약 2.5%라 볼 수 있다. 이것을 통행시간 감소 효과로 정량화 하였을때 간선도로 연간 1km 당 600파운드의 절약효과로 볼 수 있다. 이 비용은 한화로 1,114,380원(2010년 8월 기준)이다.



<그림 2-14> Burton-on-Trent A38 도로

2.3.3 일본 도쿄

일본 도쿄만에 위치한 아쿠아 라인 노선 중 우미호타루 휴게소 부근에 배수성 아스팔트 포장을 시공하여 물보라 현상과 수막현상으로 인한 교통사고 피해를 줄이고 시인성을 증가시켜 안전적인 측면에서 큰 기여를 하고 있다.



<그림 2-15> 우천시 도쿄만 아쿠아 라인-우미호타루 휴게소 부근

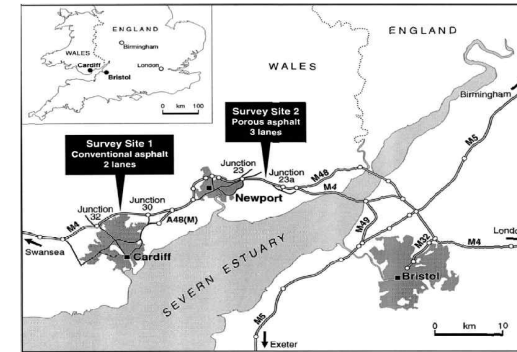
2.3.4 미국 US 287

미국의 Wichita Falls에 위치한 US287 도로는 2001년에 PFC의 시공을 완료하였으며, 그로 인해 콘크리트 포장과 비교하여 3dB(A)의 소음 감소 효과를 보였다. 또한 국제 평탄성 지수 (IRI : International Roughness Index)의 값을 40이하로 낮추어 승차감을 향상 시켰다.



<그림 2-16> US 287 in Wichita Falls

2.3.5 영국 웨일즈 M4 고속도로



<그림 2-17> 비교 조사 지역 (영국)

북 웨일즈의 M4 고속도로에서의 배수성 포장을 시공하고 기존도로와의 비교를 위해서 위의 그림에 위치한 두 곳에서 속도조사를 실시하였다. 우천시와 맑은 날을 비교한 결과는 아래의 <표 2-9>와 같다.

<표 2-9> 차량 속도 비교 (북 웨일즈)

	Cardiff지역 기존 아스팔트 포장		Margor지역 배수성 포장	
	맑음	우천시	맑음	우천시
85% 속도 (km/h)	114.7	109.6	121.2	117.6
평균 속도 (km/h)	103.5	99.0	113.5	108.6
표준편차	7.09	6.33	5.89	6.13
속도차 범위 (km/h)	72.4	80.5	74.0	77.2
변형계수	11.03	10.30	8.36	9.09

위의 <표 2-9>를 보면 알 수 있듯이 제한속도의 기준이 되는 85% 속도와 평균속도에서 기존 아스팔트 포장과 배수성 포장의 속도 차이가 약 5-10km/h 정도임을 알 수 있다. 특히 우천시에 약 10km/h 정도의 속도차이가 발생하기 때문에 배수성 포장의 장점을 수치적으로 잘 나타내고 있다.

제 3 장 서울시 저소음, 배수성 포장 공법의 기술수준 분석

3.1 원재료의 생산 기술 수준 분석

현재 서울시에서 시공되고 있는 저소음·배수성 포장의 제품이 다양하기 때문에 본 용역에서는 2009년도 서울시에서 수행한 저소음·배수성 포장 품질향상 방안 용역결과를 바탕으로 저소음·배수성 포장의 현재 기술수준을 분석하였다. 동 용역에서는 총 9개 제품의 저소음·배수성 포장이 동시에 시험시공 되었고, 시험시공에 참여한 개질아스팔트 업체는 9개 업체, 아스팔트 플랜트는 5개, 시공은 1개사가 참여하였다.

또한 저소음·배수성 포장의 현재 국내 기술수준을 평가하기 위하여 일본의 기술 수준과 비교하여 상대적인 기술수준을 분석하였다. 현재 전 세계적으로 저소음·배수성 포장을 많이 적용하는 국가들은 일본과 유럽의 네덜란드 등을 들 수 있으며, 특히 일본의 경우 시가지 도로 뿐만 아니라 고속도로 등에 정책적으로 가장 활발히 적용하고 있어 일본을 비교 대상으로 하였다. 일본의 품질기준은 중앙 일본 고속도로 주식회사에서 작성한 설계요령의 포장편을 참고하였다.

3.1.1 개질 아스팔트 바인더

저소음·배수성 포장에 사용되는 고점도 개질 아스팔트 바인더는 배수성 포장의 기능성 및 내구성에 상당히 큰 영향을 미친다. 현재 서울시에서 적용하고 있는 저소음·배수성 포장의 아스팔트 바인더에 대한 시방기준은 <표 3-1>에서 보는바와 같이 일본의 시방기준과 상당히 유사하다. 가장 큰 차이점은 일본의 경우 공용성 등급(PG 규격)을 사용하지 않으나 기존 서울시 시방의 경우 PG 규격을 같이 사용하고 있다는 점이다.

2009년도 서울시에서 수행한 시험시공 결과 분석자료에 의하면 <표 3-2>와 같이 현재 서울시의 시방기준을 만족하는 제품은 총 9개의 제품 가운데 3번 구간과 8번 구간의 제품이 만족하는 것으로 나타났고(3번 구간의 제품은 점도기준을 만족하지 못하나 일본의 경우 점도에 대한 규정은 삭제되어 있으므로 큰 의미가 없는 것으로 간주함), 6번 구간의 제품은 PG 규격의 저온 등급만을 제외하면 만족하는 것으로 나타났다. 또한 9개의 제품을 일본 규격과 비교하면 8번 구간의 제품 하나만이 일본 규격을 만족하는 것으로 나타났다.

<표 3-1> 서울시와 일본의 저소음·배수성 아스팔트 포장용 개질 아스팔트의 품질 규격 비교

항 목	서울시 규격	일본 규격	비 고
침입도 (25℃, 100g, 5초)	40 이상	40 이상	
연화점 (℃)	70 이상	80 이상	
신도 (25℃, 5cm/min) (cm)	50 이상	50 이상	일본은 15℃ 적용
박막가열 후 질량변화율 (%)	0.6 이하	0.6 이하	
박막가열 후 침입도의 비 (%)	65 이상	65 이상	
티프니스 (Nm)	20 이상	20 이상	
테네시티 (Nm)	15 이상	-	
점도 (60℃, poise)	200,000 이상	-	
프라스 취하점 (℃)		-12 이하	적설한냉지역 적용
휨 일량(-20℃) kPa	-	400 이상	적설한냉지역 적용
휨 스티프니스(-20℃) MPa	-	100 이하	적설한냉지역 적용
PG	82 - 22	-	

<표 3-2> 시험시공에 사용된 저소음·배수성 개질 아스팔트 바인더의 품질시험 결과

시험항목	구간									서울시 품질기준
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
PG 등급	76-22	70-22	82-22	64-22	64-22	82-16	76-16	82-22	76-16	82-22
침입도 (1/10mm)	47	49	47	23	25	55	60	52	38	40이상
박막가열 후 침입도 비 (%)	78.7	61.2	74.5	64.2	66.7	76.4	61.7	78.8	84.2	65이상
박막가열 후 질량 변화율 (%)	-0.74	-0.13	-0.32	-0.07	-0.02	-0.14	+0.062	-0.11	-0.43	0.6이하
연화점 (℃)	57	57	78	66	69	98	53	88	57	70이상
밀도 (g/cm ³)	1.025	1.029	1.014	1.038	1.042	1.036	1.040	1.037	1.027	
점도 (60℃, Poise)	160,704	135,908	16,135	12,755	3,441	244,027	12,435	237,543	12,678	200,000 이상

9개의 제품 가운데 6번과 8번 구간의 제품은 Pre-mix 방식으로 개질제를 공장에서 아스팔트 바인더와 미리 혼합한 제품이며, 나머지 제품들은 플랜트에서 혼합물 생산시 개질제를 첨가하는 방식이다. 따라서 주로 현장 투입형 개질 아스팔트의 경우 품질기준이 만족하지 못하는 것으로 평가되었는데 이는 실내시험시 아스팔트와 개질제를 혼합하는 과정에서 개질제가 잘 녹지 않는 문제 때문에 개질 아스팔트에 충분한 양의 개질제가 첨가되지 않았을 가능성이 있을 것으로 사료된다. 물론 현장의 혼합물 생산시에는 골재와 아스팔트가 혼합되면서 첨가되는 개질제를 보다 잘 녹일 것으로 예상은 되나 현재로서 바인더 시험 결과만을 가지고 이를 분석하기는 어렵다.

저소음·배수성 품질향상 용역에서 일본의 개질제 1종을 입수하여 바인더 시험을 수행하였으며 그 결과는 <표 3-3>과 같다. 일본 개질제의 경우 바인더와의 용융문제는 전혀 발생되지 않았고, 모든 규격을 만족하였다. 최근 국내 K사에서 개발된 개질제도 비교를 위하여 시험을 수행하였으며, 용융문제가 없음을 물론 일본의 지방규격을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 국내의 제품들 또한 용융문제만 해결되면 지금보다 많은 제품들이 일본의 지방규격을 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

현재 국내 저소음·배수성 포장용 개질 아스팔트의 품질수준은 일본에 비해 많은 차이를 보이고 있으며 <표 3-3>의 품질항목 45개(품질항목 5개, 제품 9개 = 45개) 가운데 9개 제품 중에서 총 15개 항목이 품질기준을 벗어난다(박막가열후 침입도비 64.2와 연화점 69℃는 통과한 것으로 간주). 따라서 전체 45개 항목에서 30개 항목이 만족하므로 품질기준을 만족하는 것은 약 70% 정도의 수준이다. 또한 현재 서울시의 품질기준은 일본과 크게 다르지 않으므로 현재 서울시에 적용된 개질 아스팔트 바인더의 품질수준은 선진국 대비 약 70%로 판단하였다. 지방서 개정작업이 완료되고 엄격한 품질관리를 실시할 경우 향후 2년 이내에 일본의 90% 수준까지는 도달할 것으로 판단된다.

<표 3-3> 일본 및 국내 K사 개질 아스팔트 바인더의 품질시험 결과

시험항목	시험방법 (ASTM)	일본규격	시험결과	
			국내 K사	일본제품
침입도(Penetration) 25℃ 0.1mm	D5-86	40 이상	54	55
연화점(Softening Point) ℃	D-36	80 이상	90.4	93.6
절대점도(Viscosity) 60℃, Poise	D-2171	-	292,181	151,885
프라스 취하점 (Fraass Breaking Point) ℃	-	-12 이하	-35 이하	-30
신도(Ductility) 15℃, cm	D-113-86	50 이상	80	81
터프니스(Toughness) N.m	-	20 이상	21.8	24.5
테네시티(Tenacity) N.m	-	-	12.5	15.9
박막가열시험(TFOT) 후 질량손실, Loss Weight.%	D6-86	0.6 이하	0.1	0
침입도잔류율 (Penetration Residue) wt.%	D5-86	65 이상	82	93

3.1.2 골재

국내 저소음·배수성 포장에 사용되는 골재는 일본의 골재 규격과 대동소이하나 골재의 입형과 마모 감량에서 가장 큰 차이를 보인다. 일본의 경우 편장석 함유량을 15%이하로 규정하고 있는 반면 서울시는 20% 이하로 규정하고 있다. 또한 서울시는 마모감량이 35%이하, 일본은 20% 이하로 규정하고 있다. 골재의 등급을 1등급 기준(마모감량 10% 이하)으로 상향시킬 경우 일본과 동등한 또는 우수한 골재를 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

잔골재의 경우 서울시와 일본의 경우 거의 유사하며, 일본의 경우에는 잔골재에 대한 품질기준을 마련하여 0.42mm 체를 통과하는 부분의 재료는 KS F 2303(액성한계·소성한계 시험방법)에 따라 시험하였을 때 NP(non-plastic)이어야 하며 천연모래는 2.5mm 체에 잔류하는 재료를 20% 이상 함유해서는 안되며, 0.3mm 체에 잔류하는 부분의 재료를 KS F 2507(황산나트륨에 의한 골재의 안정성 시험방법)에 따라 시험하였을 때, 안정성 시험함량이 12%(서울시 10%)를 초과하지 못하도록 제한한다.

<표 3-4> 서울시 저소음·배수성 아스팔트용 굵은 골재 품질 기준

구 분	시험방법	품질기준
파쇄면 (%)	KS F 2541	표층용 2면이상의 파쇄면 85 이상
흡수율 (%)	KS F 2503	3.0 이하
마모감량 (%)	KS F 2508	35 이하
안정성 시험감량 (%)	KS F 2057	황산나트륨인 경우 12이하
편장석 함유량 (%)	KS F 2575	20 이하
피막박리시험에 의한 피복면적 (%)	KS F 2355	95 이상

<표 3-5> 일본의 저소음·배수성 아스팔트용 굵은 골재 품질 규정

구 분	시험방법	품질기준
진 비중	KS F 2503	2.5 이상
흡수량(건조질량백분율) (%)	KS F 2503	3.0 이하
마모감량 (%)	KS F 2508	20 이하
안정성 시험감량 (%)	KS F 2507	12 이하
연석 함유량 (%)	KS F 2513	5 이하
편장석 함유량 (%)	KS F 2575	15 이하
박리면적률(St.As.사용)	JHS 201	15 이하

채움재의 경우에는 입도 및 기타 물성기준이 서울시와 일본 모두 거의 유사하다.

3.1.3 아스팔트 혼합물의 품질 수준

서울시 저소음·배수성 아스팔트 혼합물은 KS F 2337 마샬시험기를 사용한 혼합물의 소성 흐름에 대한 저항성 시험방법(다짐조건 : 양면 각 50회)으로 시험하였을 때 <표 3-6>의 기준에 합격하는 것으로 한다. 표에서처럼 일본의 저소음·배수성 아스팔트 혼합물 품질 기준을 서울시 기준과 비교하면 대부분의 항목과 기준에서 유사한 것으로 확인된다. 따라서 시험 기준만을 가지고 혼합물의 기술수준을 분석하는 데는 한계가 있는 것으로 판단된다.

앞서 살펴본바와 같이 골재의 품질수준은 국내 1등급 골재의 경우 일본과 유사하기 때문에 혼합물의 품질수준은 아스팔트 바인더에 의해 많이 좌우될 것으로 판단된다. 골재의 생산수준은 선진국 대비 100%, 바인더의 수준은 개질제의 성능기준 대비 70% 이므로 바인더가 혼합물의 성능을 70% 차지한다고 가정하면 우리나라의 현재 저소음·배수성 아스팔트 혼합물의 품질수준은 일본의 80% ($1.0 \times 0.3 + 0.7 \times 0.7 = 0.79$) 정도일 것으로 판단된다.

<표 3-6> 저소음·배수성 아스팔트 혼합물의 품질 기준 비교

항 목	서울시 기준	중앙 일본고속도로(주) 기준	
		일반용	적설한냉지용
안정도(N)	5,000 이상	5,000 이상	
플로우 (1/100 cm)	-	20-40	
수침마샬잔류안정도(%) 60°C 48시간	75 이상	75 이상	
공극률(%)	18 이상	20정도	17정도
투수 능력 (cm/초)	0.01 이상	-	-
현장 투수 성능(sec)	10 이내	6초/400ml 이하	7초/400ml 이하
칸타브로 손실률(%)	20 이하	20 이하 (공시체온도 -20°C)	20 이하 (공시체온도 -20°C)
동적안정도	3,000회/mm	-	-

3.2 시공기술 수준 분석

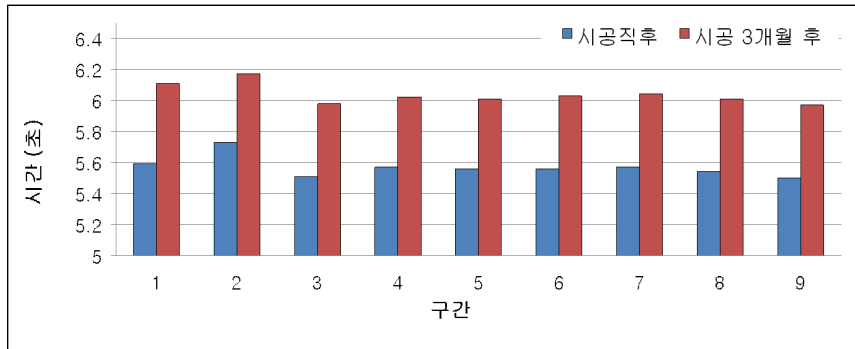
시공기술 수준을 분석하는데 있어 관련 자료의 부족 등으로 현재 서울시 저소음·배수성 포장의 시공수준을 정량적으로 나타내기에는 상당한 어려움이 있다. 본 용역에서는 최근 수행된 저소음·배수성 포장의 시방서 개정 용역에서 수행된 현장 시험시공 결과를 분석중인 자료를 사용하여 현재의 시공기술 수준을 가늠하고자 한다.

<표 3-7>은 현장에 시공된 9개 현장의 다짐도를 평가한 결과이다. 일반적으로 외국의 경우 목표 공극률 대비 $\pm 2.0\%$ 의 현장 공극률을 만족하도록 다짐기준을 적용하고 있다. 즉, 목표 공극률이 20% 내외 이면 현장에서의 공극률은 $20 \pm 2.0\%$ 가 만족되도록 규정하고 있다. 이를 다짐도로 환산하면 98%~102% 이내에 다짐도가 얻어지면 된다는 의미이다. 이러한 기준을 적용하면 현재 9개 현장의 경우 다짐도 기준을 만족하는 경우는 50% 이하가 될 것으로 판단된다. <표 3-7>의 경우에는 샘플링의 개수에서 평균과 분산 등의 통계적 데이터가 없기 때문에 명확히 몇 개 구간에서 기준을 만족하는가를 분석하기 힘들으나 개략 50% 미만일 것으로 추정된다.

<표 3-7> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 현장 다짐도 측정 결과

구간	㉔ 실측밀도 (배합설계) (g/cm ³)	최적 AP량(%)	㉕ 실측밀도 (서울시 품질시험소) (g/cm ³)	㉖ 코아밀도 (g/cm ³)	다짐도 ㉗/㉔ (%)	다짐도 ㉗/㉕ (%)
1	2.335		2.044	1.999-2.155	86-93	98-105
2	2.484	4.4	1.991	1.935-2.121	78-85	97-107
3	1.958	4.4	1.776	1.812-2.157	93-110	98-122
4	2.011	5.0	1.992	1.943-2.148	97-107	97-112
5	2.016	5.3	1.914	1.869-2.015	93-100	96-105
6	1.999	4.7	1.877	1.823-2.029	91-102	96-108
7	2.020	5.2	1.948	1.898-2.184	94-108	97-112
8	1.992	4.7	1.987	1.873-2.049	94-103	92-104
9	1.996	4.9	1.940	1.899-2.272	97-116	98-114

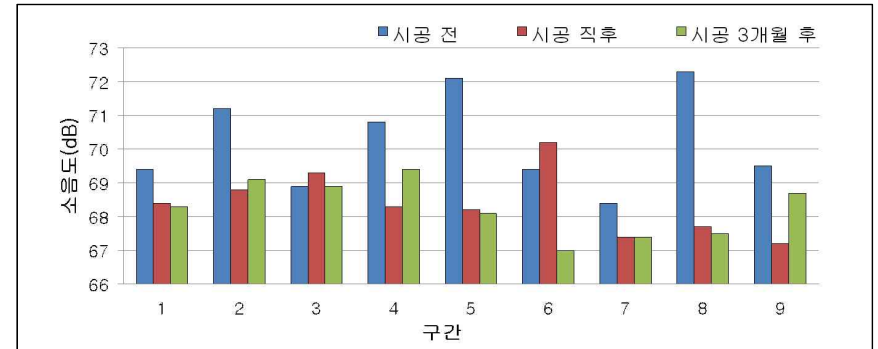
한편 현장 투수 성능에 대한 시험결과는 <그림 3-1>과 같다. 그림에서 보는바와 같이 전 구간 시공직후의 투수 성능은 6초 이내로서 현행 서울시의 품질기준(10초 이내) 및 일본의 품질기준(6초/400ml 이내)을 만족하는 것으로 나타났다.



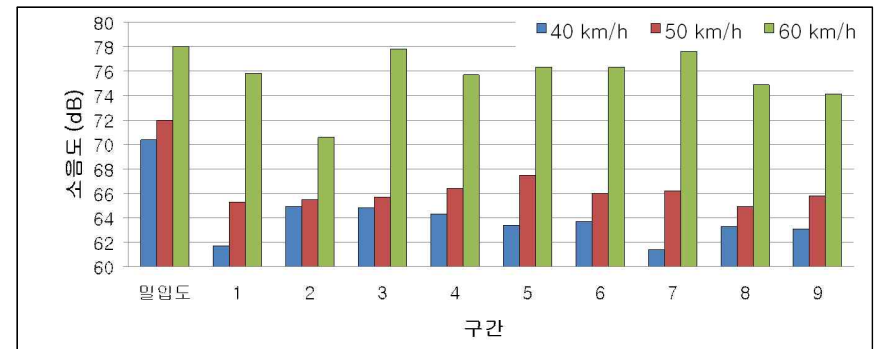
<그림 3-1> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 현장 투수능력 측정 결과

또한 현장에서 측정된 소음의 경우 <그림 3-2>에서 보는바와 같이 시공직전과 직후의 소음이 평균 2dB(A) 이상 감소되는 것으로 나타나 비교적 만족할만한 수준인 것으로 나타났다. 한편 차량 바퀴부에 소음 측정기를 설치하여 주행 속도에 따른 소음 감소효과를 측정할 결과 시속 40km/hr에서는 7.6dB(A) 소음저감효과가 있는 것으로 나타났고, 50km/hr 및 60km/hr에

서 각각 6dB(A), 2.5dB(A)의 소음 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 서울시의 저소음·배수성 포장에 대한 시공 기술 수준을 종합하여 현재의 수준을 분석하면 소음 저감 및 투수능력은 100%, 다짐능력은 50%로 보았을 때, 종합적으로 선진국 대비 약 80% 수준인 것으로 나타났다.



<그림 3-2> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 현장 소음도 측정 결과



<그림 3-3> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 바퀴부 소음도 측정 결과

서울시의 저소음·배수성 포장에 대한 재료 생산 및 시공 기술 수준은 각각 80% 내외 이므로 종합적인 기술도 약 80% 수준인 것으로 나타났다. 선진국 수준으로 기술향상을 유도하기 위해선 먼저 개질 아스팔트 바인더의 품질 향상이 시급한 것으로 나타났다. 특히 개질 첨가제의 응용문제를 시급히 해결하여야 할 것으로 판단된다. 또한 시공 기술적인 측면에서 상세 기술 능력이 다소 부족하고 다짐 부분에서 목표 다짐도를 얻을 수 있는 기술적인 숙련이 필요한 것으로 나타났다. 자재 선정 방안 및 품질관리 등에 있어서 혁신적인 제도 개선도 뒷받침되어야 할 것으로 판단된다.



<그림 3-4> 서울시 저소음·배수성 포장의 기술수준 및 개선사항

3.3 서울시 저소음·배수성 포장 적용사례 및 현황 분석

도로포장은 가로 환경과 더불어 시민의 삶에 큰 영향을 미치며 따라서 기존의 자동차 위주 도로에서 인간중심적 친환경 형식으로의 전환이 필요하다. 따라서 차량통행으로 인한 소음을 저감하기 위해 도심지 곳곳에 많은 방음벽이 설치되어 있으나 설치량이 부족하고 방음벽의 도심지 미관훼손 및 기능상의 한계 등으로 인하여 교통소음으로 인한 민원발생에 대응하기 위한 목적으로 서울시에서 1990년대 후반 저소음·배수성 포장을 처음 도입 적용하였으나 2005년도 이전까지는 그 적용이 미미한 실정이었다.

현재 서울시가 직접 관리하는 포장도로의 총연장은 1,148km, 면적은 35,292km²(352,920a)이다. 따라서 1999년 이후 시공된 저소음·배수성 포장의 누적면적은 표에서처럼 12,035a로서 전체 포장면적 대비 약 3.3%로 미미한 수준이며, 포장의 파손 등으로 현재 존재하는 저소음·배수성 포장 면적은 이 보다 훨씬 적을 것으로 판단된다.

<표 3-8> 서울시 저소음·배수성 포장 시공실적 상세

년도	노선명	연장(m)	면적(a)	예산(백만원)	비고
계		79,497	12,035	33,087	
1999	노량진로 등 4개 노선	6,300	172	272	
2003	강변북로 등 5개 노선	4,100	456	684	
2004	송파대로 등 6개 노선	6,600	482	689	
2005	용봉로 등 6개 노선	7,890	1,645	3,619	
2006	학동로 등 7개 노선	4,398	694	1,736	시범시공
2007	방아다리길 등 13개 노선	11,977	2,345	6,331	
2008	거여동길 등 19개 노선	16,874	2,588	8,280	
2009	구천면길 등 23개 노선	21,358	3,653	11,476	

<표 3-9>는 2009~2010년도 서울시 포장도로의 재포장 현황이다. 연간 약 500억원 이상의 재포장 공사비가 필요하며, 전체 포장도로의 약 7% 내외가 매년 재포장됨을 알 수 있다. 따라서 전체 포장을 재포장하는데 10년 이상의 기간이 소요됨을 알 수 있고, 일반 국도와 고속도로의 재포장 주기가 5~7년 정도임을 감안하면 서울시의 재포장 주기는 너무 길어 포장의 전반적인 수준이 일반 국도 및 고속도로에 비해 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 만약 서울시의 포장도로 수준을 일반국도 및 고속도로 수준으로 향상시키기 위해서 재포장 공사비가 현재 수준에 비해 배 이상 증가되어야함을 알 수 있다.

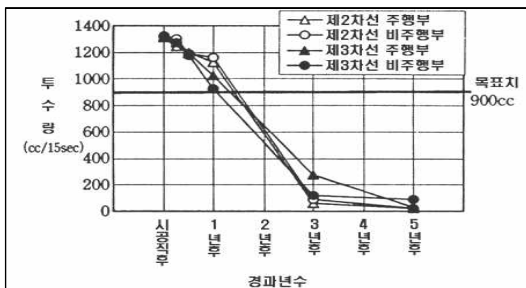
또한 저소음·배수성 포장을 1% 시공하는데 약 100억원의 예산이 필요하므로 연간 5% 수준으로 향상시키기 위해서 연간 500억원의 공사비가 필요하다. 지금부터 연간 500억원의 공사비를 10년간 투입하면 전체 포장도로의 50%를 저소음·배수성 포장으로 대체할 수 있으나 10년 안에 포장이 파손되는 구간도 발생하므로 실제로는 약 30~40% 수준의 포장도로가 저소음·배수성 포장으로 대체될 수 있을 것으로 예상된다. 또한 일반 및 개질 아스팔트로 전체 도로 포장의 5%를 재포장할 경우 연간 약 200억원의 예산이 필요함을 알 수 있다. 따라서 매년 700억원의 예산이 투입되면 매년 전체 포장도로의 10%를 재포장할 수 있고 이 중 반은 저소음·배수성 포장으로 시공이 가능하다. 이 때 전체 포장의 재보수 주기는 약 10년으로 예상된다.

<표 3-9> 2009-2010년도 서울시 포장도로 재포장 현황

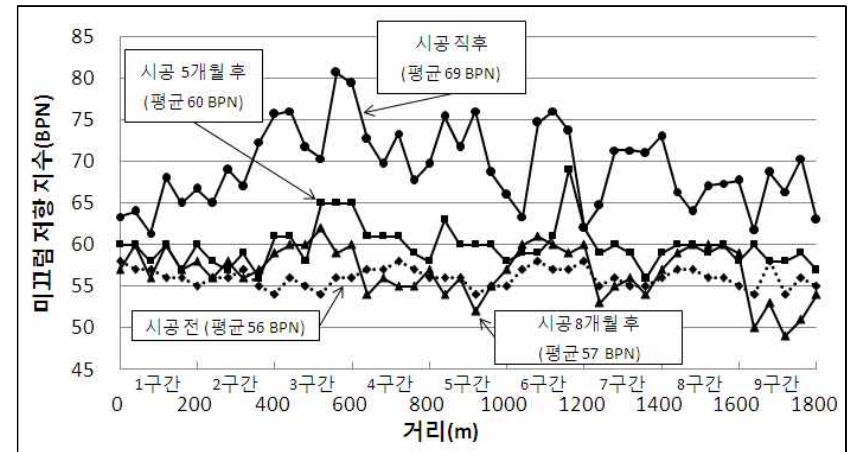
구분	2009년	2010년(계획)
총 재포장 면적 (a)	29,244 (7.98%)	22,634 (6.18%)
일반 및 개질 아스팔트 재포장 면적 (a)	25,814 (7.05%)	17,369 (4.74%)
저소음·배수성 아스팔트 재포장 면적 (a)	3,430 (0.94%)	5,265 (1.44%)
총 공사비 (백만원)	54,967	52,579
일반 및 개질 아스팔트 재포장 공사비 (백만원)	44,143	34,960
저소음·배수성 아스팔트 재포장 공사비 (백만원)	10,824	17,619

(주) ()안은 전체 포장도로 면적 대비 비율

2009년도 서울시에서 수행한 저소음·배수성 포장 품질향상 방안 용역결과에 의하면 기존의 저소음·배수성 포장에 대한 샘플조사 결과 시공 후 3년 이내에 공극이 대부분 막히는 것으로 나타나 소음 저감 효과가 대폭 감소되는 것으로 나타났다. 일본도 <그림 3-5>와 같이 역시 비슷한 실정인 것으로 파악되고 있으므로, 기능회복 및 유지를 위한 청소가 반드시 필요한 것으로 판단된다. 허나 미끄럼 저항성의 경우 대부분의 구간에서 시공 5개월 후 평균 BPN 60 이상을 유지하고 있어 비교적 양호한 상태인 것으로 판단된다.



<그림 3-5> 경과년수에 따른 투수량 (일본)



<그림 3-6> 서울시 저소음·배수성 포장 시험시공 구간의 미끄럼저항(BPN) 시험 결과

현재 한천로 시험 구간, 언주로, 올림픽대로, 노들길 등 저소음·배수성 포장 확대시행을 위한 구간들이 있으며, 차후 공용성 평가 후 확대 시행될 방안이다. 아래는 우천 시 시험구간의 포장 후 시인성의 변화 사례를 보여주고 있다.



<한천로 시험시공 구간>

<시인성 및 미끄럼 저항성 향상>

<그림 3-7> 저소음·배수성 포장 전 후의 시인성 개선 효과

제 4 장 저소음·배수성 포장 확대시행에 대한 경제적 타당성 분석

4.1 초기시공비와 유지관리비 등을 포함한 비용분석

저소음·배수성 포장의 초기시공비는 서울시 단가산출 자료와 국내 시공사(E사와 S사)의 단가를 조사하였다. 단가 조사는 페아스콘 운반 및 처리비, 절삭비용, 조절층 비용을 제외한 표층의 재료비와 포장비다. 현재 국내 저소음·배수성 포장 유지관리비 관련 비용에서 기능유지를 위한 도로청소의 비용의 사례가 없는 관계로 기능유지를 위한 유지관리 비용은 미국과 유럽의 사례를 참조 하였다.

4.1.1 초기시공비(서울시 단가산출 자료)

아래 <표 4-1>와 <표 4-2>는 서울시 단가산출에서 나온 포장별 초기시공비이다. 기존 포장 5cm절삭 후 일반포장 5cm 와 저소음·배수성 포장 5cm를 시공하는 비용이다. 단, 여기서 단가를 산출한 비용은 페아스콘 운반 및 처리비, 절삭비용, 조절층 비용을 제외하였다.

<표 4-1> 서울시 일반 아스팔트 단위면적(a)당 단가산출

구분		비용 (원)
절삭 후 포장비	택코팅(RSC-4) 30L	23,527
	절삭 후 덧씌우기 (T=5cm 절삭, 일반 t=5cm 포장)	396,392
소계		419,919
제잡비(45%)		188,964
합계		608,883
자재비	#67 일반(58,260원/톤) 11.832톤	689,332
총 금액		1,298,215

<표 4-2> 서울시 저소음·배수성 단위면적(a)당 아스팔트 단가산출

구분		비용 (원)
절삭 후 포장비	택코팅(BD-coat) 80L	95,018
	절삭 후 덧씌우기 (T=5cm 절삭, 배수성 t=5cm 포장)	396,392
	배수스크린 1개소	200,000
	유공판 20m	227,180
소계		918,590
제잡비(45%)		413,366
합계		1,331,956
자재비	#78 배수성(100,000원/톤) 10.71톤	1,071,000
총 금액		2,402,956

4.1.2 초기시공비(국내 E사와 S사)

아래 <표 4-3>는 국내 E와 S사의 시공비용이다. 페아스콘 운반 및 처리비, 절삭비용, 조절층 비용을 제외한 표층의 재료비와 시공비 사례이다. S사의 경우, E사와 다르게 초기 시공비에서 배수처리 비용이 제외되어있으나, E사와 동일한 배수처리비가 소요될 경우, 약 1,520,000원 정도로 추정된다. 또한, 일반 아스팔트 포장의 경우는 약 810,000원의 초기시공비가 요구됨을 알 수 있다.

<표 4-3> 한국 E사와 S사 초기시공비 비교

구분	내용	단가 (원 / ton)
E사 저소음·배수성 포장	개요	· 포장체가 15-25% 공극을 갖는 포장
	추정 공사비 (원 / a)	약 1,400,000 · E팔트 : 10.5×100,000 = 1,050,000 · 유제(고무유제) : 70 × 1,100 = 77,000 · 포설 및 전압비 : 107,627 · 배수처리 : 160,000
S사 저소음·배수성 포장	개요	포장체가 20% 이상 공극을 갖는 포장
	추정 공사비 (원 / a)	약 1,360,000 · S팔트 : 10.5×110,000 = 1,155,000 · 유제(고무유제) : 100 × 1,100 = 110,000 · 포설 및 전압비 : 92,053
일반 아스팔트 포장	개요	· 포장체가 2-4% 공극을 갖는 일반 포장
	추정 공사비 (원 / a)	약 810,000 · 아스콘#78 : 11.6×60,000 = 696,000 · 유제 : 40 × 550 = 22,000 · 포설 및 전압비 : 88,947

4.1.3 초기시공비 & 유지관리비 (미국)

미국에서 배수성 포장에 대한 초기시공비와 유지보수비를 아래 <표 4-4>과 같이 추정하여 사용하고 있다. <표 4-4>를 보면 전체적인 시공에 대한 값들이 m² 당 비용으로 산출되어져 있다. 유지관리방법에는 검사와 청소방법이 있다. 배수성 포장의 청소방법은 진공으로 먼지를 빼내는 스위핑(Sweeping) 작업과 고압의 물을 뿌려 먼지를 제거하는 작업이 있으며, 청소 주기는 일 년에 6회 정도가 필요하며, 배수성 포장의 기능을 유지하기 위해서 반드시 필요한 작업이다. 유지보수비용은 청소와 패칭(Patching : 포장의 균열, 국부적 침하, 부분적 박리일 때 적용하는 가장 일반적인 유지보수방법)을 포함한 것이다.

<표 4-4> m² 당 포장별 비용

	m ² 당 건설비용(원)	m ² 당 유지보수비용(원)	비고
투수성 아스팔트	105,013	646	· 표준단면 두께 : 45.7cm · 투수성 아스팔트 : 7.6cm
일반 아스팔트	72,463	969	· 아스팔트 : 15.2cm
투수성 콘크리트	184,192	388	· 표준단면 두께 : 45.7cm · 투수성 콘크리트 : 14cm
일반 콘크리트	79,567	129	· 강화 콘크리트 : 15.2cm

(출처 : 미국 샌디에고 주, 2005)

4.2 사회 환경적, 공용성 효과분석

저소음·배수성 포장의 편익 분석은 사회 환경적 측면과 공용성 효과분석 측면으로 분석을 하였다. 각 세부 사항으로는 소음 및 사고율 저감을 통한 편익분석, 공용성 측면의 편익 분석, 기타 영향에 대한 정성적 분석을 통하여 분석을 실시하였다.

4.2.1. 소음저감에 의한 편익 산정방법

다양한 방법을 통하여 소음의 손실 비용을 산출 할 수 있다. 교통소음으로 인한 지가 손실치(집값하락), 방음벽 설치비용, 교통소음으로 인한 질병, 질환 등 여러 인자가 사용될 수 있다. 덴마크의 경우에는 소음노출지수(NEF : Noise Exposure Factor)를 사용하여 산정하여 소음에 대한 피해를 정량화 하였다. 우리나라의 경우에는 지가 손실치를 산정하여 한 사례가 있다. 기존에 여러 방법으로 소음비용을 산정하였으나, 본 보고서에서는 국내에서 정량적으로 적용할 수 있다고 판단되는 방음벽 설치비용과 지가 손실치로 편익을 산정하도록 하였다.

가. 캐나다

캐나다에서는 소음에 대한 총비용과 한계 소음 비용을 산정 방법을 나타내고 있다. 한계 소음 비용이란 소음의 변화량에 따라 소음으로 인해 발생하는 비용의 변화를 말하는 것이다. 캐나다에서는 한계 소음 비용을 산정하기 위해 교통의 흐름이나 차량들의 혼합 율에 따라 소음이 변한다는 가정을 하여 산정하였다. 캐나다 산정한 소음 총비용은 27개의 도시지역의 총 소음비용의 합을 나타낸다. 캐나다 교통부에서 제공하는 자료를 기초로 계산을 하고 있으며, 값은 실제 비용 보다 높거나 낮은 수치를 보이는 경우가 있으나, 자료 불충분으로 인한 것이기 때문에 현재 개선 중에 있다. 여기서의 총 소음비용은 도로, 철도, 항공의 수단을 포함한 것이다.

다음은 캐나다 전 지역의 총 소음 비용을 구하는 식이다. (도로, 철도, 항공)

$$C_n = \left(\sum_k \left(\sum_u AN_{u,k} \right) M_u P_u \right) * HV_k, \quad AN_{u,k} = \frac{L_{u,k}}{5280} \cdot \left(\int_{d_e}^{d_t} L_{dn^k}(d_{u,k}) - ANB_{u,k} \right)$$

여기서,

C_n = 캐나다 27개의 도시지역의 총 소음(도로, 철도, 항공 포함) 비용

u 는 캐나다의 27개의 도시의 지역 번호

k 는 소음 종류 (도로, 철도, 항공)

$AN_{u,k}$ = 도시지역 u 에서의 소음타입(k)의 소음 레벨

$ANB_{u,k}$ = 지역 u 안의 거리 t 의 타입별 (k) 소음 레벨

M_u = 지역 u 의 도시지역 주택밀도

P_u = 지역 u 의 평균 주택 가격

HV_k = 타입 K 의 소음으로 인한 집합 하락 가치

$L_{u,k}$ = 지역 u 의 소음타입(k)에 노출된 도로의 길이

d_e = 소음원으로부터의 거리

d_t = 레퍼런스 레벨(reference level)에 해당하는 소음 노출 거리

L_{dn} = 거리에 따른 소음 종류 k

나. 영국 - Gillen-Levinson Model (1996)

영국의 Gillen-Levinson Model은 소음비용과 한계소음비용을 구하기 위해 만들어진 모델이다. 특정 시설의 소음 비용을 측정하기 위해 시설 혹은 시설로 인한 교통량에 의한 소음의 양을 소음 비용으로 계산하는 방법이다. 소음에 영향을 미치는 인자들로는 교통량, 중차량 구성비, 통행속도, 도로구배, 포장면의 재질을 적용하고 있다. Gillen-Levinson Model을 사용하기 위해 몇 가지의 가정을 따라야하며, 총 소음 비용은 각 구간의 합으로 계산하는 방식을 사용하고 있다.

1) Gillen-Levinson Model 총 소음비용

Gillen-Levinson Model에서 총 소음비용을 구하기 위해 다음과 같은 가정을 따른다.

- 교통량 중차량의 혼합률이 20%이다.
- 차량의 소음감각지수는 dB(A)당 0.0067이다.
- 차량의 평균속도는 80 Km/h이다.
- 주택들의 밀도는 균일하다.
- 기본적인 소음은 58dB(A)로 가정하고, 낮에는 60, 밤에는 55로 가정한다.
- 관심비용은 연간비용의 5%이다.
- 비용은 30년 이상 할부 상환한다.

위 가정들을 바탕으로 분석을 진행하며 순서는 다음과 같다.

- 1단계 : 입력 자료의 주택가치, 주택밀도는 일정하고, 도시에서 평균적인 밀도는 같다.
- 2단계 : Gillen-Levinson 모델을 근거로 하여 자료를 입력한다.
- 3단계 : 주택은 10m마다 하나씩 균일하게 존재한다고 가정하고 거리에 따라 소음이 줄어들기 때문에 10m마다 소음을 계산한다.
- 4단계 : 총 소음비용은 각 구간들의 합으로 계산된다.
- 5단계 : 가치를 1년 기준으로 계산하기 위해 할인율은 5% 기간은 30년으로 사용하여 아래 식을 사용한다.

$$Annual\ Cost = ((total\ cost) * (i * (1 + i)^t)) / ((1 + i)^{t-1})$$

Road Noise Model Spreadsheet Layout

The Cost of Road Noise: Model and Calculations

Interest rate: 0.05
 Years: 30
 Flow (hourly): 123
 Speed (km/hr): 80
 % Heavy Vehicles: 20
 height: 0
 Km of arterial road: 758.00

Mean House Value: \$149,888
 Density (hh/sqkm): 62.77
 Base dB(A): 58

Total Cost: \$39,574,389
 ANNUAL COST: \$2,077,655

Distance (m)	Noise dB(A)	Houses/Band	Cost/Band	Cost/Band/House	Relevant Costs/Band	Marginal Cost per Hourly Flow	MC per 1000 Vehicles per Hour
10	68.46	1.8554	19473	10495	\$19,473	\$20.00	\$0.16
20	65.45	1.8554	13271	7476	\$13,271		
30	63.09	1.8554	10595	5710	\$10,595		
40	62.44	1.8554	8270	4457	\$8,270		
50	61.48	1.8554	6467	3485	\$6,467		
60	60.68	1.8554	4993	2691	\$4,993		
70	60.01	1.8554	3747	2020	\$3,747		

<그림 4-1> Gillen-Levinson Model 예시

2) Gillen-Levinson Model 한계소음비용

Gillen-Levinson Model에서, 한계소음비용은 교통의 흐름이나 차량들의 혼합율에 따라 변할 것이라고 보고 있다. 이런 변화에 대해 한계소음비용을 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$MC_{Road\ Noise} = \partial TC / \partial Q_R = fD * fH (-0.018 + 0.0028 * (1 + \ln(Q_R)))$$

여기서,

- TC=총 소음 비용
- Q_R=시간당 측정되는 차량 교통량
- fD=주거 밀도
- fH=주택 가치
- fC=dB(A) 당 소음 감소 비용 (0.0062로 가정)

<표 4-5> 한계소음비용 계산 예시

	한계소음비용 / 1시간교통량	한계소음비용 / 1000대-km
캐나다 평균	\$ 193.97	\$ 0.50
브리타니 컬럼비아 주	\$ 2,432.24	\$ 5.71
앨버타 주	\$ 39.68	\$ 0.29
서스캐처원 주	\$ 2.25	\$ 0.01
매니토바 주	\$ 14.04	\$ 0.10
온타리오 주	\$ 1,661.40	\$ 4.93
퀘벡 주	\$ 1,067.87	\$ 2.35
뉴 브런즈윅 주	\$ 0.94	\$ 0.01
노바 스코샤 주	\$ 11.00	\$ 0.08
뉴펀들랜드 주	\$ 6.04	\$ 0.05

다. 미국 - USDOT Model (2006)

미국 교통국(USDOT) Model에서 아침과 저녁에 대한 소음이 퍼지는 방향과 차량의 통행량 등 여러 가지 면이 다르게 고려하고, 차종은 두 가지(승용차, 버스/트럭)로 나누어서 사용한다. 단일소음(SEL)과 차량종류 k(승용차, 트럭 시외버스, 환승버스)에 대한 한 시간 교통량(V), 7~22시까지의 교통량(V_d), 22~7시까지의 교통량(V_n) 그리고 속도(S)를 적용하여 산출식을 사용한다.

1) USDOT Model 승용차 한계소음비용

아래 식은 차량의 속도와 교통량에 대한 한계소음비용이다.

$$\frac{\partial L_{dn}}{\partial S} = \frac{15 * 10^{a+1} + 9 * 10^{b+1}}{S(5 * 10^a + 3 * 10^b)}, \text{ 여기서 } a = 0.1SEL_{ref} + \log(V_d) - 3.56$$

$$b = 0.1SEL_{ref} + \log(V_n) - 2.56$$

$$\frac{\partial L_{dn}}{\partial V} = \frac{10}{V}$$

$$\frac{\partial C}{\partial V} = \frac{10z}{V}$$

$$\frac{\partial L_{dn}}{\partial V} = \frac{10}{V}$$

$$\frac{\partial C}{\partial V} = \frac{10z}{V}$$

$$\frac{\partial L_{dn}}{\partial V_d} = \frac{10}{V_d + \frac{3}{5} * 10^{b-a} * V_n}, \text{여기서 } \begin{cases} a = 0.1SEL_{ref} - 3.56 + 3 * \log(S/50) \\ b = 0.1SEL_{ref} - 2.56 + 3 * \log(S/50) \end{cases}$$

$$\frac{\partial C}{\partial V_d} = z \frac{10}{V_d + \frac{3}{5} * 10^{b-a} * V_n}$$

$$\frac{\partial L_{dn}}{\partial V_d} = \frac{10}{\frac{5}{3} * 10^{a-b} * V_d + V_n}, \text{여기서 } \begin{cases} a = 0.1SEL_{ref} - 3.56 + 3 * \log(S/50) \\ b = 0.1SEL_{ref} - 2.56 + 3 * \log(S/50) \end{cases}$$

$$\frac{\partial C}{\partial V_d} = z \frac{10}{\frac{5}{3} * 10^{a-b} * V_d + V_n}$$

2) USDOT Model 버스/트럭 한계소음비용

버스/트럭 한계소음비용을 구하는 식은 아래와 같이 제시하고 있다.

$$\frac{\partial L_{dn}}{\partial S} = \frac{50 * (4.5 * 10^a + 2.7 * 10^b)}{S(15 * 10^a + 9 * 10^b)}, \text{여기서 } \begin{cases} a = 0.1SEL_{ref} + \log(V_d) - 3.56 \\ b = 0.1SEL_{ref} + \log(V_d) - 2.56 \end{cases}$$

$$\frac{\partial C}{\partial S} = z \frac{50 * (4.5 * 10^a + 2.7 * 10^b)}{S(15 * 10^a + 9 * 10^b)}$$

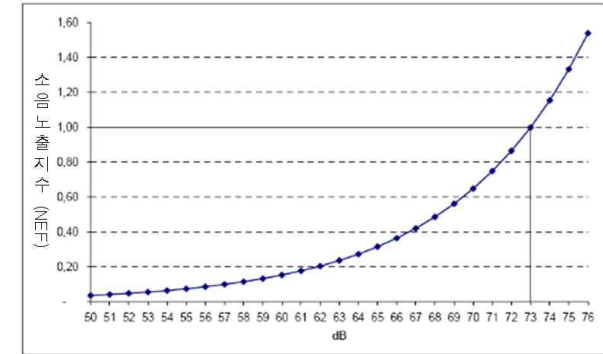
$$\frac{\partial L_{dn}}{\partial V} = \frac{10}{V}$$

$$\frac{\partial C}{\partial V} = \frac{10z}{V}$$

라. 덴마크 - 소음노출지수 (NEF : Noise Exposure Factor)

덴마크에서는 정성적인 소음을 가치화 하기 위해 소음노출지수(NEF : Noise Exposure Factor)를 사용한다. 소음노출지수(NEF)란 소음으로 인한 피해주민 반응의 평가지수이다.

소음노출지수는 소음수준별 가중치를 주어 산정을 한다. 소음노출지수를 정량화하기 위해 1970년대, 덴마크 국민들의 설문 조사를 통하여 처음으로 만들어졌다. 73dB(A)의 경우 주거 당 소음노출지수를 1로 산정한다. 아래 <그림 4-2>는 소음(dB(A))에 따른 주거 당 소음노출지수를 보여주고 있다.



(주) 덴마크 환경부 (Danish Environmental Agency, 2003)

<그림 4-2> 소음노출지수 (NEF)

주거 당 소음노출지수를 산정하는 식은 아래와 같다.

$$\text{주거 당 소음노출지수} = \text{NEF}(L) = 4.22(0.1^{L-73})$$

(주) L은 주거지역에서의 소음수준(dB(A))

아래 <표 4-6>은 덴마크에서 도시 계획 목적의 용도로 소음노출지수를 사용 시 편의를 주기 위해 소음(dB(A)) 범위에 따라 주거당 소음노출지수를 나타낸 것이다. 기존의 식 주거 당 소음노출지수 (L) = 4.22(0.1^{L-73})에 의하면 73dB(A)은 1이 되어야 하나, 이 식에서 해당되지 않으며 55dB(A)부터 75dB(A)까지 해당 구간의 소음노출지수를 따른다.

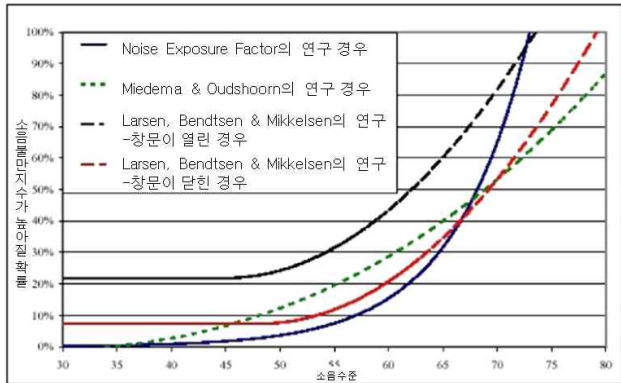
<표 4-6> 소음노출지수 가중치

	55-60dB(A)	60-65dB(A)	65-70dB(A)	70-75dB(A)	>75dB(A)
가중치	0.11	0.22	0.45	0.93	*

(주) 75(dB(A))이상의 소음일때는 각 dB(A)을 공식(L)=4.22(0.1^{L-73}) 공식에 따라 사용한다. 75-80(dB(A))의 범위 일때는 1.92를 사용

소음노출지수(NEF) 방법은 1970년대의 설문조사를 기초로 한 것으로 최근의 상황들을 고려

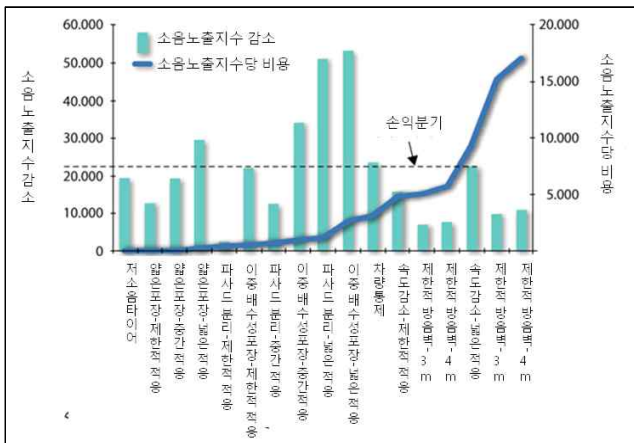
하지 못하였다. 덴마크 도로부에서 추가적인 연구하여 계속 개정 중에 있다. <그림 4-3>은 최근 개정내용(2005년)에 발표된 각 연구방법에 따른 결과를 나타내고 있으며, 소음불만지수(Annoying Factor)를 추가하였다.



<그림 4-3> 소음불만지수 (Annoying Factor, 2005)

(주) 덴마크 도로관리부 (The Danish Road Directorate, 2005)

아래 <그림 4-4>는 각 상황에 따른 소음노출지수 당 비용과 소음노출지수 감소를 나타낸 그림이다.



<그림 4-4> 소음노출지수와 비용관계도

마. 교통시설 투자평가지침 (2009) - 국토해양부

교통시설 투자평가지침에서 소음비용을 산출하기 위한 방법은 다음과 같다. 단위 소음량(1dB(A)) 저감을 위해 필요한 유지관리비용(방음벽 설치비용) 곱으로 소음저감 편익 비용을 구하는 방법이다. 소음가치의 산정을 위해서 사업시행으로 발생하는 소음변화량과 단위 소음당 원단위를 구하여 사업 미시행시와 시행시의 발생 소음도 차이를 구한 후, 유지비용법을 적용한다. 단위소음량(1dB(A)) 저감을 위해 필요한 유지관리비용(방음벽 설치비용) 원단위를 곱해 소음 영향을 화폐가치화 한다. 직접 소음도 실측이 어렵기 때문에 사업 미시행시, 시행 시에 따른 소음 예측 식을 통한 추정방법을 적용하는 방법을 원칙으로 한다. 일반도로와 고속도로에 대한 예측 식은 별도로 제시한다. 일반도로 소음 예측식은 도로 단 10m 이내 지역의 소음과 도로단 10m 이 외 지역의 소음도로 구분되어 적용한다. (단 도로 신설사업의 경우 사업미시행시 대상구간의 소음도는 도로가 없는 경우 도시부 55dB(A), 지방부 45dB(A)을 적용한다.)

1) 교통시설 투자평가지침 소음비용 산정식

소음비용(편익)을 추정하기 위한 식은 다음과 같다.

$$EVN = EVN^0 - EVN^c$$

$$EVN = P l_{ij} L_{ij}$$

여기서,

EVN : 소음비용(편익)

EVN^k : 사업미시행시 소음비용(0=사업미시행시, c=사업시행시)

P : 소음가치의 원단위

l_{ij} : 대상노선연장길이

L_{ij} : 예측소음도

i : 도로구분(일반도로, 고속도로 등)

j : 영향권 내 개별링크

<교통시설 투자평가지침 소음비용 산정식>

바. 교통소음 예측모형의 개발 및 소음손실 비용의 추정 (최기주 외, 2001)

이 방법은 소음 환경 기준치를 초과하는 부분의 면적, 측정 소음레벨, 소음환경기준, 1dB(A) 당 평방미터 손실비용을 입력변수로 사용하는 방법이다. 거리에 대한 보정은 다른 요소로 인한 소음감소가 발생하지 않는 가정 하에서 보정을 하고 있다. 5m-100m까지 소음을 예측 하여 소음이 미치는 공간 부분에 손실비용을 추정한다. 소음 환경 기준치를 벗어나는 범위에 해당하는 범위를 dB(A)의 초과범위로 정하여, 초과범위를 구간으로 나눈 후, 해당범위에 초과 dB(A)를 곱해서 합산하는 방식으로 소음 손실치를 계산하는 방식이다. 면적 손실비용은 공식

지가 부분을 이용하여 산정한다.

다음은 교통 소음 손실 비용 식이다.

$$DC = LC \sum_{n=1}^{L-S} n U_n \quad (L > S)$$

여기서,

- DC : 교통소음으로 인한 총 손실비용 (원)
- U : 소음 환경기준치를 초과하는 부분의 면적 (m²)
- L : 측정 소음레벨 (dB(A))
- S : 소음환경 기준 (dB(A))
- LC : 1dB(A)당 평방미터 손실 비용((원/m²)/dB(A))

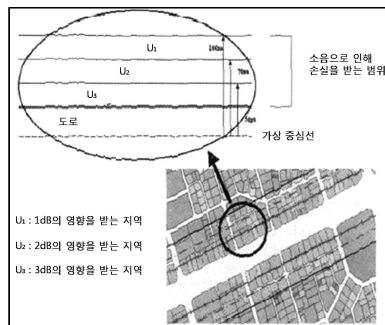
소음발생레벨이 소음 환경 기준치 보다 클 경우에만 소음 손실이 발생하게 되는데 다음 식과 같다.

$$DC = LC \sum_{n=1}^{L-S} n U_n \quad (L > S)$$

L-S 가 5인 경우에는 다음과 같은 식으로 계산한다.

$$DC = LC(U_1 + 2U_2 + 3U_3 + 4U_4 + 5U_5)$$

소음 환경 기준치를 벗어나는 범위에 해당하는 범위를 dB(A)의 초과범위로 하며, 그 범위를 구간으로 나눈 후, 그 해당범위에 초과 dB(A)를 곱해서 합산하는 방식으로 소음 손실치를 계산하는 방식이다.



<그림 4-5> 소음 환경 기준치를 초과하는 면적 (U) 1dB(A)당 평방미터의 손실비용(LC)의 산정

1970년-80년대의 연구결과를 살펴보고 손실비율을 산정한다. 평균으로 해당지역에 0.4%의 교통소음의 손실 비용이 발생한다는 것을 볼 수 있다.

<표 4-7> 소음 1dB(A) 주거재산가치의 손실비율

연구연도	연구자	대상지역	1dB(A)당 손실비율 (%)
1974	Gamble et al.	North springfield	0.26
		Townson	0.54
		Four Areas	0.32
1975	Vaughan/huckins	Chicago	0.65
1976	Langley	North springfield	0.50
1977	Bailey	North springfield	0.38
		North springfield	0.18
	Anderson/wise	Townson	0.54
		Four areas	0.31
		Hall et al.	Toronto suburbs
1978	Nelson	Washington D.C	0.88
	Allen	Northern virginia	0.15
		tidewater	0.14
	Langely	North springfield	0.50
	Plmquist	Kingsgate	0.48
		N.king county	0.30
Spokane		0.08	
○ 모든 지역 평균			0.65
○ Toronto와 Spokane 제외시 평균			0.40
○ 전체가중 평균			0.40

우리나라에서는 손실비용에 대한 특별한 연구가 이루어져 있지 않은 상태이고, 외국 문헌상에서도 이를 직접적으로 다루고 있는 부분을 찾지 못하였기 때문에 미국에서 연구한 결과치의 평균값인 0.4%를 적용하여 소음단위별 손실비용을 산정 한다.

4.2.2 사고율 저감을 통한 편익 분석

사고율 저감을 통한 편익 분석은 일반 포장에서 배수성 포장으로 교체를 하였을 때 발생하는 사고발생 건수에 초점을 맞추었다. 미국의 Texas DOT의 보고에서는 일반적인 포장표면을 개립도 마찰층(Open-graded friction course)으로 바꿨을 때, 안전적인 측면에서 편익이 발생한다고 보았다. 사고 발생 건수가 일반적인 포장표면에 비해서 93%나 줄었고, 사망자는 86% 저감되었다. 사고 발생건수와 사망자가 큰 폭으로 준 것을 알 수 있다. 시간적, 공간적인 측면을

고려하지 않고, 도로안전공단에서 분석한 2008년 교통사고 요인분석에서 발췌한 <표 4-8>을 보면 2008년 우리나라에서 비오는 날 사고 발생 건수는 58,233건, 사망자는 2,076명이다. 즉 배수성 포장을 한다면, 사고 발생건수는 약 4000건으로, 사망자는 290명 정도로 줄일 수 있다는 것이다. 이것을 비용으로 산출하면 <표 4-9>로부터 비용을 산출 할 수 있다. 2008년 도로교통 사고비용의 추계와 평가에서 발췌한 표에서 나타나듯이 물적 비용은 사고건당 1,175,300원 임으로 연간 약 637억 원(=58,233×0.93×1,175(천원))을 절약할 수가 있고, 사망자 비용은 사망자 한명 당 449,996,000원(=2076×0.86×449.996(천원)) 임으로 연간 약 8,034억원 정도를 절약 할 수 있다

<표 4-8> 기상상태별 교통사고 (2008년 교통사고 요인분석)

(단위 : 건, 명, %)

구분 기상 상태	발생건수							사망자				부상자			
	계		동일지역		타 지역		기타	계		동일 지역		타 지역		기타	
	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비	구성비		
계	639,579	100	498,164	100	120,936	100	20,478	18,869	14,296	4,281	292	1,018,368	781,127	213,100	24,141
맑음	531,017	83.0	414,483	83.2	99,117	82.0	17,417	14,680	11,238	3,226	216	835,207	642,848	172,036	20,323
흐림	38,773	6.1	29,812	6.0	7,990	6.6	971	1,706	1,245	443	18	63,543	47,871	14,652	1,233
비	58,233	9.1	45,317	9.1	11,268	9.3	1,648	2,076	1,536	503	39	99,230	75,871	21,288	2,071
안개	1,532	0.2	1,096	0.2	390	0.3	46	172	125	36	11	2,834	1,942	845	47
눈	6,117	1.0	4,465	0.9	1,459	1.2	193	160	38	58	4	11,698	8,295	3,153	250
기타	3,906	0.6	2,991	0.6	712	0.6	203	75	54	15	6	5,856	4,513	1,126	217

<표 4-9> 피해종별 평균비용 (2008년 도로교통사고 비용 추계와 평가)

(단위 : 천원)

피해종별	구분	순평균비용	교통경찰비용	보험행정비용	계
	물적피해	차량	991.0	52.4	81.7
대물		1,117.0	52.4	81.7	1,125.1
계		1,041.2	52.4	81.7	1,175.3
인적피해	사망	448,308.2	907.1	780.3	449,996
	부상	3,829.6	752.0	562.6	5,144
	계	13,912.0	755.2	566.3	15,233.5

(주) 구체적인 피해종류와 관계없이 적용할 때의 금액임 (물적피해 1건당, 사상자 1명당 평균비용)



<그림 4-6> 배수성 포장과 일반포장의 시야 비교

4.2.3 공용성 측면의 편익 분석

공용성 측면의 편익분석은 차량 통행 시간의 감소로 분석을 하였다. 앞서 언급하였던 영국M4 도로의 조사를 예시로 들었다. 영국의 북 웨일즈 M4 고속도로에서의 배수성 포장을 시공하고 기존도로와의 비교를 위해서 위의 그림에 위치한 두 곳에서 속도조사를 실시하였다. 우천시와 맑은 날을 비교한 결과는 아래 <표 4-10>과 같다.

<표 4-10> 차량 속도 비교 (북 웨일즈)

	Cardiff지역 기존 아스팔트 포장		Margor지역 배수성 포장	
	맑음	우천시	맑음	우천시
85% 속도(km/h)	114.7	109.6	121.2	117.6
평균 속도(km/h)	103.5	99.0	113.5	108.6
표준편차	7.09	6.33	5.89	6.13
속도차 범위(km/h)	72.4	80.5	74.0	77.2
변형계수	11.03	10.30	8.36	9.09

기존도로와 배수성포장 도로의 평균속도를 비교하여 보면, 우천시 기존 도로에서의 평균속도는 99.0km/h이고 배수성 포장 도로에서 속도는 108.6km/h이다. 즉, 9.6km/h의 속도차이가 나는 것을 알 수 있다. 이 결과로 인해서 우리나라에 배수성 포장을 시공했을 때의 편익을 계산할 수 있다. 배수성 포장으로 시공하였을 경우 우천시 9.6km/h의 속도 차이가 남으로 같은 거리를 갈 경우 한시간에 0.096시간의 시간차이가 난다. (108.6km/h×1=99km/h×(1+x)) 이것을 근거로 도로·철도 부분 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)에 제시된 업무통행 시간가치(2007년 기준) <표4-11>에 근거하여 한 사람당 한시간에 1788.1원(0.096시간 × 18,626원)을 절감 할 수 있다. 여기서 시간가치의 기준은 도로 교통의 운전자가 대부분 승용차 운전자이기 때문에 승용차 운전자를 기준으로 산정하였다.

<표 4-11> 업무통행 시간가치 (2007년 기준)

구 분	승용차 운전자	버스 운전자	화물차 운전자
1인당 월평균급여(원/월)	2,718,288	1,794,492	2,259,048
근로시간(시간/월)	188.7	211.6	183.9
시간당 임금(원/인·시간)	14,405	8,481	12,284
임금에 대한 오버헤드 비율(%)	29.3	20.6	34.9
시간가치(원/인·시간)	18,626	10,228	16,571

(주) 승용차 운전자는 비농전산업, 버스 운전자는 육상여객운송업, 화물차 운전자는 도로화물 운송업의 평균급여와 근로시간을 이용함.
 임금은 정액급여(기본급+통상적 수당+기타수당)와 초과급여, 연간특별급여 1/12를 포함한 값이며, 근로시간은 정산근로시간과 초과근로 시간의 합임.
 임금에 대한 오버헤드 비율은 한국은행(2008), 『2007년 기업경영분석』의 '제조업+도소매업', 육상여객운송업, 도로화물 운송업의 손익계산서에서 산출함.
 (자료 : 임금구조조사(OWS)는 2007년 원자료 샘플자료에서 산정함)

제 5 장 생애주기비용 분석을 통한 타당성 분석

5.1 생애주기비용 분석을 통한 저소음·배수성 포장의 타당성 분석

생애주기비용 분석을 통한 저소음·배수성 포장의 타당성을 분석하기 위하여, 서울시 4차로 1km구간을 저소음·배수성 포장으로 시공할 경우와 일반 아스팔트 포장으로 시공할 경우를 비교대안으로 선정하여 비용과 편익을 산정하여 분석하였다. 분석기간은 20년, 할인율은 5.5% 및 기타 비용 원단위는 서울시 시공단가 및 교통시설 투자지침 참조하였다. 단위 소음 저감에 따른 편익은 아래 <표 5-1>에서와 같이 도시부 원단위를 사용하여 소음 편익을 산정하였으며 사고편익의 경우는 서울시 통계자료에서 사망 및 부상사고 건수를 조사하여 <표 4-9>에서 제시한 사망 및 부상에 대한 비용을 이용하여 사고저감 편익을 계산하였다.

<표 5-1> 소음가치의 평균원단위 (2009년 교통시설 투자평가 지침)

(단위 : 원/dB(A) · 년 · m)

구 분	도 시 부	지 방 부	평 균
소음가치의 평균원단위	3,739	1,614	1,903

품질관리 수준에 따른 민감도 분석과 사고율 저감에 따른 사고편익 민감도 분석을 하여 생애 주기비용 분석에 반영하였다.

5.1.1 품질관리 수준에 따른 민감도 분석

덧씌우기 주기(단기, 중기, 장기)는 시공 품질을 고려하여 일반 아스팔트포장은 5년/7년/ 10년으로 하였고, 저소음·배수성 아스팔트 포장은 일반포장 대비 내구연한 80% 수준인 4년/5.6년/8년으로 하여 분석을 실시하였다. 저소음·배수성 아스팔트 포장의 사회환경적 개선효과는 소음의 경우 4 dB(A), 사고율의 경우는 80% 저감을 가정하였다. 일반아스팔트 포장에 비해 저소음·배수성 포장의 생애주기비용이 분석기간 동안에 유지보수 기간별로 단기 20%, 중기 47%, 장기 90% 저감이 되었다. 그리고 유지보수기간이 길어질수록 일반아스팔트 포장에 비해 저소음·배수성 포장의 생애주기비용의 감소율이 증가 한다. 저소음·배수성 포장의 생산 및 시공 기술수준이 증가하면 유지관리 비용이 저감되므로 감소비율은 더 커질 것으로 예상되어진다.

<표 5-2>는 일반 아스팔트 포장과 저소음·배수성 포장의 대비 분석 결과표이다.

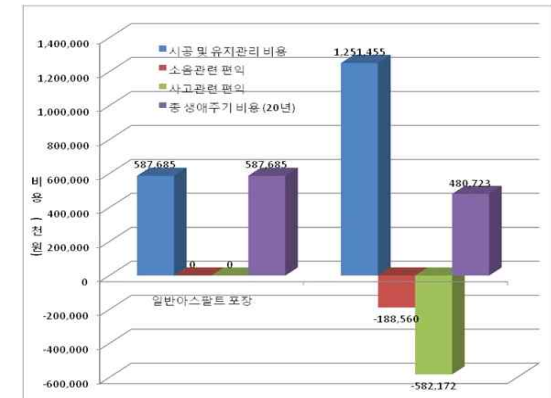
<표 5-2> 생애주기비용 분석결과표 (1km 당 소요비용)

(단위 : 천원)

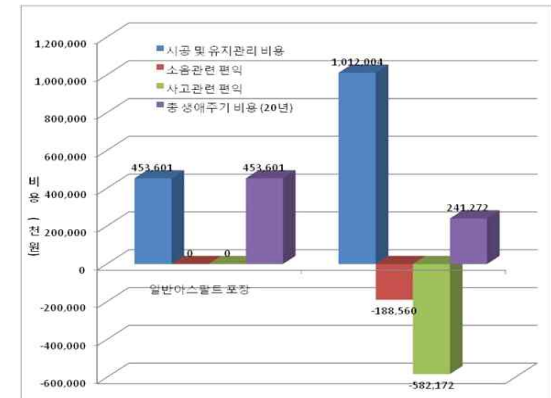
유지보수 기간	일반 아스팔트 포장			저소음·배수성 아스팔트 포장			비고
	5년 (단기)	7년 (중기)	10년 (장기)	4년 (단기)	5.6년 (중기)	8년 (장기)	
시공 및 유지관리 비용	587,685	453,601	332,940	1,251,455	1,012,004	803,500	
소음 관련 편익		-			(188,560)		(-) 비용
사고 관련 편익		-			(582,172)		(-) 비용
총비용	587,685	453,601	332,940	480,723	241,272	32,768	
일반대비 감소비율	-	-	-	(20%)	(47%)	(90%)	

일반 아스팔트 포장과 저소음·배수성 포장의 유지보수 비용을 비교 하여 확대 시행 타당성을 판단하였을 때, 저소음·배수성 포장의 확대시행은 사회·환경적인 개선효과(소음: 4 dB(A) 저감, 교통사고 80% 저감 가정)와 함께 생애주기비용의 감소로 경제적 타당성이 있다고 볼 수 있다.

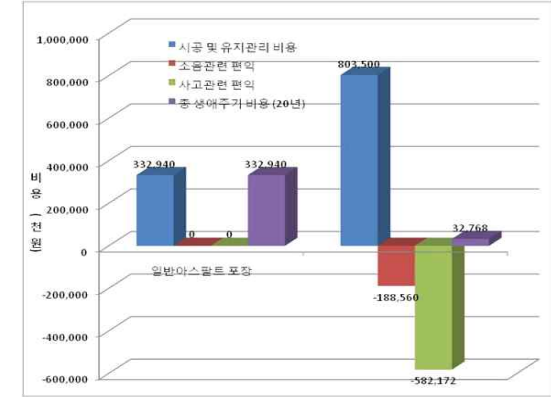
(a) 단기



(b) 중기



(c) 장기



<그림 5-1> 분석기간 20년 동안의 비용 및 편익 추이

5.1.2 사고율에 따른 민감도 분석

사고 저감율은 선진국의 경우 80%가 일반적이나 60%의 저감율을 가정하여 생애주기비용을 분석하였다. 그 결과는 아래 <표 5-3>과 같다.

<표 5-3> 생애주기비용 분석결과표 (1km 당 소요비용)

(단위 : 천원)

유지보수 기간	일반 아스팔트 포장			저소음·배수성 아스팔트 포장			비고
	5년 (단기)	7년 (중기)	10년 (장기)	4년 (단기)	5.6년 (중기)	8년 (장기)	
시공 및 유지관리 비용	587,685	453,601	332,940	1,251,455	1,012,004	803,500	
소음 관련 편익	-			(188,560)			(-) 비용
사고 관련 편익	-			(436,629)			(-) 비용
총비용	587,685	453,601	332,940	626,266	386,815	178,311	
일반대비 감소비용	-	-	-	(-5%)	(15%)	(47%)	

사고 저감율을 60%로 가정할 경우는 단기적으로는 생애주기비용이 일반 아스팔트 포장이나 저소음·배수성 아스팔트 포장이나 큰 차이가 없으나 중·장기적으로 볼 때 품질관리 수준이 향상되면 저소음·배수성 아스팔트 포장의 생애주기비용이 15%~47% 저감된다.

제 6 장 저소음·배수성 포장의 확대 시행을 위한 장단기 계획

6.1 연차별 확대 시행 구간

6.1.1 추진전략

쾌적하고, 안전한 도로 환경을 조성하고자 저소음·배수성 포장의 확대시행을 위한 장단기 계획을 수립하였다. 장단기 계획은 아래 <표 6-1>과 같이 저소음·배수성 포장의 내구성 및 기능성이 최적화될 수 있도록 단계적인 추진전략을 수립하였다. 먼저 2011년부터 5년간을 1단계 목표로 설정하고 교통소음 및 사망사고 발생이 가장 많은 주간선도로부터 우선적용하고 지속적인 모니터링을 통한 개선사항을 반영하여, 2016년 이후 2단계 목표를 설정하여 일반 도로에 적용하는 접근법을 제안하였다.

<표 6-1> 저소음·배수성 포장의 확대적용 추진전략

교통소음 및 사망사고 발생이 가장 큰 주간선도로 우선 적용	
1단계 ('11 ~'15)	<ul style="list-style-type: none"> 저소음·배수성 포장도로의 기능 및 내구성 최적화를 위한 단계적 확대 시행 특별시도는 굴착복구 및 교통처리 등의 문제로 1단계에서는 자동차 전용도로, 학교, 병원, 소음민원지역(주거밀집지역)에 제한적으로 시행 추진사항 모니터링으로 문제점 분석 및 개선사항 도출
특별시도에 단계별 확대 적용	
2단계 ('16 이후)	<ul style="list-style-type: none"> 1단계 완료 후 문제점 및 개선사항 반영 단계별 확대 적용

6.1.2 1단계 확대시행구간 선정

서울시 포장도로는 일반 국도나 고속도로와 달리 다양한 등급의 포장도로가 존재하고, 교통특성 및 주거 밀집 상태, 도로내 지하 시설물의 설치 등으로 인해 저소음·배수성 포장의 우선적용구간을 선정하는 데는 다양한 변수를 고려하여야 한다. 따라서, 적용구간의 특성 및 경제적, 기술적, 환경적 타당성을 고려하여 수행 계획을 수립하였다. 적용구간을 선정하고 우선순위를 결정하는데 고려한 주요 사항은 다음과 같다.

- 사망사고 발생률
- 소음민원 발생빈도
- 기술적 타당성

가. 사망사고 발생빈도

경찰청이 최근 3년간 고속도로 교통사고 특성에 대해 분석한 결과에 따르면, 전체 고속도로 3,777km 중 331km(8.8%, 48개 구간)에서 30% 이상의 사망사고가 발생하였고, 고속도로 사망사고의 치사율은 일반도로의 2.5배였다고 한다. 따라서 서울시의 경우에도 주간선도로와 같이 차량의 주행속도가 높은 도로의 경우 사망사고가 발생할 확률이 높을 것으로 예상된다. 또한 학교 주변과 같이 초등학교 학생 이하의 연령층에서도 사망사고가 많이 발생하므로 이러한 구역에 대한 특별한 대책이 필요하다고 판단된다.

나. 소음민원 발생 빈도

현재 서울시의 자동차 전용도로와 일반도로에 대해 소음을 측정된 결과는 <표 6-2>와 같다. 표에서 보는바와 같이 자동차 전용도로가 일반도로에 비해 교통소음이 약 10dB(A) 가량 높은 것을 알 수 있다. 실제 최근 3년간 서울시에 발생한 소음의 분포현황을 살펴보면 <그림 2-8>과 같이 주간선도로 주변에 집중적으로 발생하는 것을 알 수 있다.

<표 6-2> 서울시 도로종류별 소음도 측정 결과

구 분	주 간	야 간
자동차 전용도로	81 dB(A)	74 dB(A)
일반도로	69 dB(A)	65 dB(A)

다. 기술적 타당성

앞서 언급한 바와 같이 일반도로의 경우 각 종 지장물이 도로에 설치되어 있어 포장공사시 많은 제약이 따르고 지장물로 인한 시공과정에서의 연속시공이 어려운 경우가 많다. 또한 각 종 불법 주정차 차량에 대한 통제 등이 추가적으로 필요하고 민원발생 등으로 인한 공사차질도 예상된다. 따라서 기술적인 측면에서 본다면 일반 시도에 비해 주간선도로에 우선적으로 적용하는 것이 기술적으로 타당하며, 기술의 완성도가 향상된 이후에 특별시도로 확대하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

라. 종합분석을 통한 우선 적용대상구간 선정

상기 살펴본 사망사고 및 소음민원 발생 빈도와 기술적 타당성을 고려했을 때 자동차 전용도로와 같은 주간선도로에 적용하는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났다. 현재 서울시의 자동차 전용도로의 총연장은 176km이다. 이외에도 학교주변, 병원 및 주거 밀집 지역과 같이 소음민원이 많이 발생하고, 교통사고에 취약한 구간에도 우선적으로 적용하는 것이 필요하다.

마. 단계별 소음 저감 목표

시공이나 품질관리 수준이 국제적인 수준에 도달하기 전에는 시공이 용이한 자동차 전용도로 위주로 저소음·배수성 아스팔트 포장을 적용한다. 저소음·배수성 포장 확대시행을 위한 장단기 계획의 수립은 소음저감 목표 설정인 소음저감 환경기준치(주간 65dB, 야간 55dB)에 기준을 두고 선정 되었다.

- 1단계('10-'15년) : 야간 평균 소음도를 68dB(A) 이하로 유지
- 2단계('16년 이후) : 향후 도로교통 환경 및 정책변화에 따라 설정

그 외 고려 사항으로는 강우(강설)시 미끄럼 저항성 및 시인성 확보로 자동차 사고 감소와 최소한의 방음벽 설치로 인한 도시미관 개선을 고려하여 시행 구간을 선정한다.

6.1.3 1단계 확대시행구간 사업비 추정

서울시의 저소음·배수성 포장 확대시행 사업규모는 연장 176km이며, 기존의 포장구간 16km를 제외한 연차별 포장 시공구간은 160km이다. <표 3-9>은 2009년도 및 2010년도 서울시 포장도로의 재포장 현황이다. 연간 약 550억원 내외의 재포장 공사비가 사용되고 있으며, 전체 포장도로의 약 7% 내외가 매년 재포장됨을 알 수 있다. 따라서 전체 포장을 재포장하는데 10년 이상의 기간이 소요됨을 알 수 있고, 일반 국도와 고속도로의 재포장 주기가 5-7년 정도임을 감안하면 서울시의 재포장 주기는 너무 길어 포장의 전반적인 수준이 일반 국도 및 고속도로에 비해 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 만약 서울시의 포장도로 수준을 일반국도 및 고속도로 수준으로 향상시키기 위해서 재포장 공사비가 현재 수준에 비해 배 이상 증가되어야함을 알 수 있다. 또한 일반 및 저소음·배수성 포장을 1% 시공하는데 각각 76억원 및 122억원의 예산이 필요하므로 이를 토대로 <표 6-3>과 같은 보수비용을 추정하였다. 일반 및 개질 포장은 연간 전체 포장도로의 5%(면적대비)를 재포장하는 것으로 가정하고 이때 공사비는 380억원이 소요된다. 저소음·배수성 포장의 연간 시공면적을 전체 대비 2, 3, 4, 5%로 설정하였을 때 최소 244억원에서 최대 610억원의 사업비가 소요된다. 만약 176km(전체 포장도로 대비 약 15%)의 자동차 전용도로를 5년동안 저소음 포장으로 재포장할 경우 연간 소요되는 전체 포장비는 약 746억원이 필요하고 현재 연간 약 550억원 내외의 포장예산이 투입되고 있으므로 추가로 약 200억원의 예산확보가 필요하다. 이 경우 5년 후 저소음 포장은 전체 포장도로에서 약 15%를 차지하게 된다.

<표 6-3> 1단계 서울시 저소음·배수성 포장 추진 소요예산 추정

구 분	연간 사업비 (억원)			
	(전체 포장도로 대비 재포장 비율, %)			
일반/개질	380 (5)	380 (5)	380 (5)	380 (5)
저소음/배수성	244 (2)	366 (3)	488 (4)	610 (5)
연간 사업비 계	624 (7)	746 (8)	868 (9)	990 (10)
1단계(5개년) 사업 종료시 배수성 포장 비율	10%	15%	20%	25%

다음 <표 6-4>는 1단계 연차별 추진계획을 나타내고 있다.

<표 6-4> 연차별 포장구간 시공계획 (160Km, 1,497억원)

구 분	계	2010	2011	2012	2013	2014	2015
연장(km)	160	2.5	24.5	28	32	33	40
사업비(억원)	1,497	22	256	298	321	264	336

6.2 확대 적용을 위한 제도적 개선 방안

현재 서울시의 저소음·배수성 포장의 기술수준은 선진국에 비해 80% 내외인 것으로 분석되어 고가의 포장을 지속적으로 확대적용하기 위해서 기술적인 개선뿐만 아니라 제도적인 개선도 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

6.2.1 기술적 개선방안

가. 서울시 저소음·배수성 포장 시방서 개정 및 품질관리 강화

현재 용역을 진행 중에 있으므로 본 용역에서는 이 부분에 대한 것은 생략하기로 한다.

나. 재포장 공사시 과학적인 파손원인 분석 및 보수공법 결정

포장의 PMS(Pavement Management System)은 Network Level과 Project Level로 구분된다. 현재 서울시에서 수행하고 있는 PMS는 엄격히 정의하면 Network Level의 PMS이다.

Network Level의 PMS는 주로 사업비 추정과 보수우선순위 구간을 선정할 때는 유용하나 실제 포장의 파손을 일으킨 원인을 분석하고 적합한 공법을 제안하는 데는 Project Level의 PMS가 수행되어야 한다. 현재 국내에서는 서울시뿐만 아니라 고속도로나 국도의 경우에도 엄격한 의미의 Project Level의 PMS는 수행되지 않고 있다. 그러나 고속도로와 국도의 경우 일부 문제가 심각한 구간만 선별적인 포장조사가 진행되고 있다. 따라서 서울시에서도 일정 규모 이상의 보수공사에 대해서 예상 보수공사비의 일정 비율을 책정하여 기존 포장의 파손원인 분석과 재포장공법에 대한 실시설계를 수행하여야 향후 전반적인 포장의 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

특히 서울시의 포장도로는 건설 된지 30년 이상 경과한 도로가 많이 존재하고, 최근 버스전용차로의 운행으로 인해 적정수준의 구조적 지지력이 확보되지 않은 도로가 상당 수 존재한다. 따라서 서울시 전체 포장도로에 대해서 구조적 지지력과 포장두께 및 구조적 보강이 필요한 포장, 급속시공을 통한 구조적 지지력 보강방법 등에 대한 체계적인 조사 및 연구가 시급히 진행되어야 할 것으로 판단된다.

다. 개질 및 특수포장에 대한 공용성능의 객관적인 분석

1990년대 이래 우리나라에서는 다양한 종류의 개질 및 특수아스팔트가 개발되어 적용되고 있다. 서울시에서도 이러한 개질 및 특수 아스팔트 포장공법이 다양하게 적용되고 있다. 일반적으로 개질 및 특수 아스팔트 포장공법들은 일반 아스팔트 포장에 비하여 초기 시공비가 고가이기 때문에 이러한 공법들이 확대 적용되기 위해서 장기 공용성에 대한 과학적인 분석이 필수적이며, 이를 토대로 한 총 생애주기비용 분석이 반드시 필요하다. 그러나 이러한 특수 공법들에 대한 사후 검증은 여전히 미흡하여 각 공법들에 대한 경제성 및 장기 공용성에 대한 분석은 이루어지지 않고 있다.

본 타당성 용역에서도 저소음·배수성 포장에 대한 장기 공용성에 대한 국내의 객관적인 분석 자료를 확보하기가 불가능하여 장기 공용성을 일반 아스팔트 포장 대비 80%로 가정하여 경제성 분석을 수행하였다. 따라서 향후에는 서울시에서 수행하는 PMS 용역에 각 종 포장공법들에 대한 장기 공용성 분석을 포함시켜 용역을 수행하고, 이를 토대로 각 공법들에 대한 적용성 분석을 수행하여 정책 결정에 활용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

6.2.2 제도적 개선 방안

가. 양질의 포장재 공급을 위한 제도개선

앞서 살펴본 바와 같이 국내 저소음·배수성 포장의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 요소의 하나는 포장에 사용되는 재료의 품질이라고 할 수 있다. 특히 아스팔트 바인더와 혼합물의 품질은 포장의 내구성 및 기능성에 큰 영향을 미친다. 따라서 양질의 자재를 선정하여 공사에 사용할 수 있는 방안이 필요하다고 할 수 있다.

현재 국내의 포장재료 공급은 크게 사급 및 관급자재로 나뉜다. 사급자재란 도급 시공회사에서 자체적으로 품질규격에 합격하는 제품을 공급받아 사용하는 것을 말한다. 반면 관급자재는 발주처에서 자재를 구매하여 시공사에게 지급하는 방식을 말한다. 두 방식 모두 장단점이 있다고 할 수 있다. 관급자재의 장점 중 하나는 발주처에서 원하는 양질의 자재를 선별 구매하여 시공사에게 공급할 수 있어 포장의 품질을 높일 수 있는 장점이 있는 반면 시공 후 하자가 발생할 경우 하자에 대한 책임소계가 불분명하다는 단점이 있다. 한편 사급자재의 경우 시공사에서 직접 자재를 구매하므로 하자발생시 책임소계가 분명하다는 장점은 있으나 저급의 재료가 포장에 사용되는 것을 방지하기가 힘든 문제가 있다.

관급자재의 경우에도 현재까지는 대부분 단순 가격에 의한 입찰방식으로 아스팔트 플랜트 및 개질 아스팔트 바인더를 선정하였으나 플랜트의 규모 및 실험실 전문 인력 수, 신인도, 실적 등을 종합 평가하여 전문가들에 의한 선정방안이 있을 수 있다. 또한 개질 아스팔트 바인더의 경우에도 기술 제안서를 평가하여 자재 선정위원회를 통하여 기술 능력 및 가격을 종합 고려하여 선정할 수 있는 방안도 있다. 이러한 방식으로 자재를 선정할 경우에는 기존의 가격위주의 자재 선정에서 탈피하여 자재의 기술적인 사항을 고려하면서 가격적인 부분도 동시에 고려할 수 있어 보다 양질의 자재를 저렴하게 공급받을 수 있는 장점이 있다.

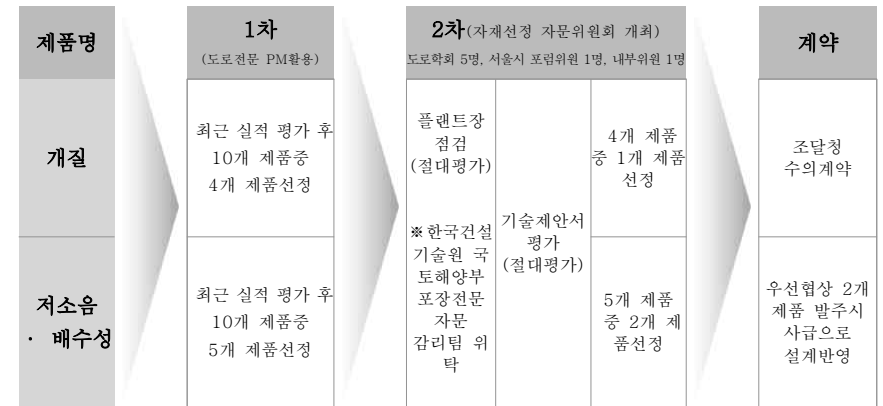
이러한 자재 선정방식은 최근 서울시 시설관리공단에서 시범적으로 도입하여 운영한 실적이 있으며 그 내용을 간략히 소개하면 다음과 같다.

기술 능력에 기초한 자재 선정 사례

□ 도입배경

특수 아스팔트 구매시 서울시 도로교통사업소와 건교부 국도유지 등은 자체 심의위원회와 같은 단순한 절차에 따라 제품을 선정 구매하기 때문에, 현장에 반입되는 아스팔트 제품의 품질 확보 및 관리에 어려운 부분이 있어, 서울시 시설관리공단에서는 제품 선정시 제품별로 기술제안서를 제출 외부 전문가(도로 PM 등)들로 하여금 현장(플랜트, 석산) 실사 및 기술자문위원회를 개최하여 제품선정의 투명성 및 품질확보가 가능한 최적의 자재를 선정 자동차전용도로의 아스팔트포장 장기 공용성 확보에 기여코자 도입함.

□ 특수 아스팔트(개질, 저소음·배수성) 선정 절차



- 우선협상 대상자는 그 자격을 2년간 유지 할 수 있다.(공단이 요구하는 기준에 적합할 경우)
- 우선협상 자격 2년 유지 사유 : 적정물량 확보 및 행정력 낭비 개선

□ 제안서의 평가항목 및 배점

구 분	평가항목	배점한도	채 점	비 고	
계		100			
기술능력 평가	직관적지표 (계량화)	○ 기술인력 보유상태 (아스팔트plant 생산관리 기술 인력이 아님, 현장시공과 관련된 기술관리 인력임)	6	6	
		○ 시공(납품)실적 (최근 3년간 실적평가)	6	6	
		○ 경영상태	6	6	
		○ 신인도 등	2	2	
주관적 평가 (사업수행계획 presentation 내용에 대한 평가)	○ 기술·지식능력 (특허 및 신기술 인증 등)	10			
	○ 사업수행계획 (생산 및 품질관리 중점)	20			
	○ 지원기술·사후관리 (현장관리 지원 및 하자관련)	30			
	○ 상호협력 관계 등 (석산+플랜트+기술보유업체)	20			

□ 객관적 지표 평가항목 및 배점 표

평가항목		평가요소			배점	점수								
합 계					20	0								
객관적 지표 (20점)	유사분야의 납품경험	○ 납품건수 <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">5건 이상</td> <td style="text-align: center;">2 - 4건</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">1건</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6점 (5건)</td> <td style="text-align: center;">4점</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">2점</td> </tr> </table>			5건 이상	2 - 4건	1건		6점 (5건)	4점	2점		6	
	5건 이상	2 - 4건	1건											
	6점 (5건)	4점	2점											
	기술인력 보유상태	○ 국가기술자격법 - 기술사 또는 기능장 : 0명 × 3점 - 기사 또는 산업기사 : 7명 × 2점 - 기능사 : 3명 × 1점 - 총계 : 17점 <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">15점 이상</td> <td style="text-align: center;">10-14점</td> <td style="text-align: center;">5-9점</td> <td style="text-align: center;">5점미만</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6점</td> <td style="text-align: center;">5점</td> <td style="text-align: center;">4점</td> <td style="text-align: center;">3점</td> </tr> </table>			15점 이상	10-14점	5-9점	5점미만	6점	5점	4점	3점	6	
15점 이상	10-14점	5-9점	5점미만											
6점	5점	4점	3점											
경영상태	○ 회사채 또는 기업신용평가등급 <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">A- 이상</td> <td style="text-align: center;">BBB+ - BBB-</td> <td style="text-align: center;">BB+ - B-</td> <td style="text-align: center;">CCC+ 이하</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">6점</td> <td style="text-align: center;">5점 (BBB0)</td> <td style="text-align: center;">4점</td> <td style="text-align: center;">3점</td> </tr> </table>			A- 이상	BBB+ - BBB-	BB+ - B-	CCC+ 이하	6점	5점 (BBB0)	4점	3점	6		
A- 이상	BBB+ - BBB-	BB+ - B-	CCC+ 이하											
6점	5점 (BBB0)	4점	3점											
대외신인도	○ 주차관련 분야 특허 보유현황 <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">2건 이상</td> <td style="text-align: center;">1건</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0건</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2점 (3건)</td> <td style="text-align: center;">1점</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">0점</td> </tr> </table>			2건 이상	1건	0건		2점 (3건)	1점	0점		2		
2건 이상	1건	0건												
2점 (3건)	1점	0점												

나. 공용성능에 대한 지불규정 제도 도입

도로포장 분야는 단기적으로 성능을 판단할 수 있는 근거가 미비하기 때문에 도로포장의 시공 품질저하에 따른 문제가 빈번히 발생하고 있다. 특히 우리나라는 두께와 평탄성만을 준공 기준으로 적용 하고 있어, 기타 요인으로 인한 공용성 감소와 수명주기 단축을 예방하기 어려운 실정이다. 하자보수기간 (2년) 내에 심각한 포장의 파손만 발생하지 않을 경우 사실상 시공관련 품질저하로 인한 포장의 조기파손에 대해서 어떠한 책임을 묻지 않는 실정이다. 이러한 문제로 서울시뿐만 아니라 전국의 모든 아스팔트 포장도로의 내구성 저하가 빈번히 발생하고 있다. 이에 따라 우리나라 역시 성능기준 설계 및 시공 지침을 운영하기 위해 단기적으로 지불규정 개발 및 적용을, 장기적으로 공용성능에 근거한 발주방식의 도입이 요구되고 있지만 관련 연구는 미비한 상태이다.

하지만 미국을 비롯한 선진국은 도로포장의 공용성 향상을 위한 성능중심의 시방서를 채택 사용하고 있다. 이와 더불어 성능기준을 만족하는 설계 및 시공을 위한 지불규정을 두어 엄격한 품질관리를 실시하고 있다. 특히 미국의 경우 51개주 중 43개주가 지불규정제도를 두고 있으며, 30여년의 역사를 자랑하고 있다. 미국은 밀도, 아스팔트 바인더 함량과 같이 공용성에 큰 영향을 미치는 인자의 시방 기준을 선정하여, 포장 시공 후 채취된 샘플과 비교하여 지불규정을 적용하고 있다. 특히 인자별 시방 기준에 따른 지불규정을 산정 후 각주의 개별적인 방식을 통해 인자의 지불규정을 합성한 전체 지불규정을 구하고, 공사비 지급시 품질기준을 초과 달성할 경우에는 계약 공사비에 추가로 보너스를 지급하고 미달할 경우 계약 공사비를 감액 지급하는 방식을 적용함으로써 도로포장의 품질관리에 성과를 거두고 있다. 하지만 국내의 경우 이와 관련된 연구는 미비한 상태이나, 최근 한국도로공사에서 이와 유사한 제도를 도입 운영하기 위한 기초 연구를 진행하고 있다. 이러한 지불규정을 개발하고 적용하는데 필요한 행위를 나열하면 다음과 같다.

- 공용성능 평가항목 선정
- 공용성능 평가항목들이 공용성에 미치는 영향 분석
- 통합공용성능 지수 개발
- 시공 후 제 3자에 의한 포장 평가방안 도출
- 공용성능지수에 따른 공사금액 증감 방안 도출
- 우수 자재 공급자, 플랜트, 시공사에 대한 입찰시 우대방안 도출

현재 미국의 지불규정에 사용되는 인자 중 가장 높은 빈도를 보이는 아스팔트 바인더 함량은 30개주, 밀도는 플로리다주 외 32개주에서 사용 중에 있다. 또한 입도의 경우 버지니아를 비롯한 24개주에서 사용 중에 있으며, 텍사스를 포함한 18개주에서 공극률을 지불규정의 주요 인자로 사용하는 등 포장 성능에 큰 영향을 미치는 인자를 중심으로 지불규정을 적용하고 있다. 하지만 휨강도 등을 사용하는 주는 극히 드문 실정이다. 또한 미네소타를 비롯한 8개 주는 슈퍼페이브에 대한 지불규정을 따로 적용하고 있다. 특이한 점은 미국의 경우 국내 준공 시험 기준

인 두께를 지불규정적용을 위한 인자로 사용하는 경우는 드물다는 것이다. 하지만 포장두께 또한 공용성에 미치는 영향이 크기 때문에 두께 역시 지불규정 적용을 위한 인자로 선택할 필요가 있다. 미국의 지불규정에 사용되는 주별 인자의 현황과 빈도는 <표 6-5>. <표 6-6>과 같다. (슈퍼페이브 포함)

<표 6-5> HMA 주별 지불규정 인자 사용현황

주	밀도	골재간극률	공극률	아스팔트함량	입도	두께	평탄성	기타
알라바마	○		○	○			○	
알래스카	○			○	○			
알칸사스	○	○	○	○				○
아리조나							○	
커네티컷	○				○			
캘리포니아	○		○	○	○			
일리노이				○		○	○	
아이오와	○				○	○		
메인	○			○	○			
메릴랜드	○			○	○		○	
미시건	○	○		○	○		○	○
미네소타	○	○	○	○	○		○	○
미주리							○	
네브라스카	○						○	
뉴햄프셔			○					
뉴저지			○				○	
뉴멕시코	○		○	○	○			
네바다			○	○	○		○	○
노스캐롤라이나	○	○	○	○	○		○	○
노스다코타							○	
오하이오	○			○	○		○	
오클라호마	○			○	○		○	
펜실베이니아	○			○	○		○	
사우스캐롤라이나	○		○	○	○		○	
테네시				○	○		○	
텍사스	○		○			○	○	○
유타	○			○	○			
버몬트			○					
워싱턴	○			○	○			
위스콘신		○	○	○	○		○	○
와오밍	○			○	○		○	
플로리다	○		○	○				
버지니아				○	○			○
인디애나		○		○				
아이다호	○			○	○			
온타리오	○		○	○	○			
콜로라도	○			○	○			
오레곤	○			○	○			○
칸사스	○		○					○
몬타나	○			○	○			
합계(총 40개주)	31	6	17	27	24	3	22	9

<표 6-6> 슈퍼페이브 주별 지불규정 인자 사용현황

주	밀도	골재간극률	공극률	아스팔트함량	입도	두께	평탄성	기타
커네티컷	○			○	○			
메인	○	○	○	○	○			
미네소타	○	○	○	○	○		○	
노스캐롤라이나	○	○	○	○	○		○	
칸사스	○		○				○	
미시시피	○	○	○		○		○	
뉴욕	○		○	○	○			
루이지애나	○	○	○	○	○		○	
합계(총 8개주)	8	5	7	6	7	0	5	0

이와 같이 미국 43개주는 밀도와 아스팔트 함량 등 포장의 공용성에 영향을 미치는 인자를 주별로 정리하여, 지방규정을 제정한 후, 기준에 따라 지불규정을 적용하고 있다. 지불규정을 시행하고 있는 주들은 자신들만의 방식을 통해 지불규정을 적용하고 있다. 예를 들어 같은 지불규정 인자인 밀도에 대해서도 다른 기준으로 공사비 삭감 혹은 보너스를 주고 있으며, 인자별 편차 또한 다양하다. 뿐만 아니라 지불규정을 통한 공사비 지급을 위한 개별적인 방법을 사용하고 있다. 따라서 각주의 다양한 기준에 대한 주요 인자별로 정리가 요구된다. 따라서 서울시에서도 지불규정을 도입하여 적용하기 위해서 앞서 언급한 절차를 통해 서울시만의 독자적인 지불규정 방법론에 대한 연구개발이 필요하다. 본 용역에서 미국의 다양한 주에서 개발하여 적용하고 있는 지불규정에 대한 사례를 요약하여 부록에 수록하였다.

6.2.3 대외 홍보 및 유지관리 방안

저소음·배수성 포장의 성공적인 확대시행을 위해서 기능성의 유지가 필수적이며 이를 위해서 주기적으로 포장의 공극을 청소해주는 것이 필요하다. 현재 서울시에서는 저소음·배수성 포장의 유지관리를 위한 청소차량을 개발하여 제작하고 있으며, 이러한 차량의 시범운행을 통하여 문제점을 보완하고 개선하여 확대 적용하여야 할 것이다.

한편 홍보 측면에서 저소음·배수성 포장을 적용하는 구간에는 입간판을 제작 설치하여 공사의 목적과 효과 등에 대한 내용을 인근 주민들에게 홍보할 필요가 있다. 또한 시공 전후의 교통사고 감소율 및 소음저감 효과를 지속적으로 측정 관리하여 그 효과를 미디어를 통해 홍보하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

제 7 장 결론

본 과업에서는 저소음·배수성 포장 확대시행을 위한 타당성 조사를 수행하였다. 먼저 기존의 국내외 저소음·배수성 포장에 대한 자료 분석을 통하여 사회, 환경적 타당성을 분석하였다. 저소음·배수성 포장은 우천 시 배수 및 미끄럼 저항성의 증가로 교통 사고율이 최대 93% 이상 저감 되는 것으로 나타나 기존의 미끄럼 방지 포장을 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 차량의 주행에 의해 발생하는 소음도 3~5dB 경감할 수 있어 방음벽 1개를 설치하는 것과 유사한 효과가 있는 것으로 나타났다. 따라서 방음벽을 설계하는 것에 비해 경제성을 제고할 수 있을 뿐만 아니라 도로 경관의 개선을 기대할 수 있다.

저소음·배수성 포장에 대한 경제성 분석을 위하여 초기 시공비와 유지관리비, 교통사고 및 소음 저감 편익 등을 고려하여 총 생애주기비용 분석을 수행하였다. 저소음·배수성 포장은 일반 아스팔트 포장에 비해 초기 시공비 및 유지관리비가 50% 이상 고가이나 교통사고 및 소음저감 편익 측면에서 월등히 우수하여 총 생애주기비용 측면에서는 유리한 것으로 나타나 경제적 타당성이 있는 것으로 분석되었다. 특히 교통사고 사망을 획기적으로 저감할 수 있어 교통사고 저감 편익이 상당히 큰 것으로 나타났다.

저소음·배수성 포장을 확대 시행 하는데 있어서 단계별 추진전략을 제시하였다. 1단계 5년 동안은 교통사고 사망 사고가 많이 발생하고, 소음이 상대적으로 큰 주간선도로(자동차 전용도로)에 기본적으로 적용하는 것으로 계획하였다. 그러나 일반 시가지 도로의 경우에도 학교 및 병원 주변, 주거 밀집 지역과 같이 소음민원이 빈번한 곳은 우선적으로 적용하는 것으로 계획하였다. 이러한 일반도로의 경우에는 기존의 미끄럼 방지포장 예산을 전용하는 것을 제안하였다. 서울시에서 관리하는 자동차 전용도로는 약 176km로서 전체 포장도로 연장 1,148km의 약 15%를 차지한다. 1단계 5년 동안 자동차 전용도로를 저소음 배수성 포장으로 시공하기 위해서 약 1,800억 원의 예산이 필요한 것으로 나타났다. 매년 일반 및 계절 아스팔트 포장을 5%, 저소음·배수성 포장을 3% 시공할 경우 연간 약 750억원의 예산이 필요하며, 기존의 예산에 비해 매년 약 200억 원의 추가 예산이 필요한 것으로 예상된다.

저소음·배수성 포장을 확대 시행하기 위해서 기술적, 제도적인 보완이 필요한 것으로 판단된다. 먼저 기술적인 측면에서 기존 서울시의 저소음·배수성 포장 기술수준은 선진국에 비해 뒤떨어지는 것으로 나타나 이를 보완하기 위해서 지방서의 정비와 품질관리를 강화할 필요가 있다. 또한 기존 노후화된 포장에 대한 전면조사를 수행하여 지지력을 분석하고 적정 포장두께 및 구조적 측면에서의 보수보강 방안을 수립하여 시행하여야 할 것으로 판단된다. 또한 기 시행한 개질 및 특수 포장들에 대한 공용성을 분석하여 내구성을 평가함으로써 보다 명확히 경제성을 분석할 필요가 있다.

제도적인 측면에서는 양질의 포장 재료를 공급하기 위해 자재공급 제도를 보완할 필요가 있다. 기존의 단순한 가격 위주의 재료선정 방식에서 탈피하여 가격 및 기술능력을 동시에 고려하여 개질 아스팔트 및 혼합물의 성능을 향상시킬 필요가 있으며, 이는 궁극적으로 저소음·배수성 포장의 내구성을 증대시키는 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 포장 공사 후 사후 평가를 강화하여 시공 품질에 따른 지불계수(Pay Factor)를 개발하여 적용함으로써 우수한 품질의

시공결과에 대해서 보너스를, 시방기준에 미달하는 경우에는 공사비를 감액 지급하는 방식의 도입이 절실히 필요하다. 또한 장기적으로는 시공사에게 시공 및 유지관리를 일괄 도급하는 제도의 도입에 대한 준비가 필요한 것으로 판단된다.

<참고문헌>

1. Julia B. Edwards, Motorway speeds in wet weather: the comparative influence of porous and conventional asphalt surfacings, JOURNAL OF TRANSPORT GEOGRAPHY, 2002.
2. Astrid H Amundsen Ronny Klaeboe, A Nordic perspective on noise reduction at the source, Institute of Transport Economics, 2005.
3. Anne Ohm, Acoustical classification and conformity checking of road surfaces, COWI, 2006.
4. David Gillen, Noise and the Full Cost Investigation in Canada:Final Report, University of British Columbia, 2007.
5. European Commission Directorate-General Environment Noise classification of road pavements, 2006.
6. M.Sc. Lars Ellebjerg Larsen & Senior Researcher M.Sc. Hans Bendtsen ,Noise reduction with porous asphalt – costs and perceived effect, 2002.
7. Dr. Hiromitsu Nakanishi, Overview of Porous Asphalt Pavement, 2000.
8. Gerbert van Bochove, Acoustic durability and cleaning, Heijmans Infrastructure, 2008.
9. Walter Gerritsen, Initial skid resistance of 2-layer Porous Asphalt, KOAC-NPC, 2008.
10. W.J.A van Vliet et al, Low Noise Pavements In IPG, IPG, 2007.

11. P.A.J.C.(Piet) Kunst, Raveling Intervention level for ZOABTW, ROYAL HASKONING, 2008.
12. Review of the Performance, Cost and Availability of Porous Pavement in Georgia, Northeast Georgia Regional Development Center, 2000.
13. THE DESIGN AND USE OF POROUS ASPHALT MIXES, Sabita Ltd, 1995.
14. Transportation Cost and Benefit Analysis - Noise Costs, Victoria Transport Policy Institute, 2005.
15. L.C. (Eelco) den Boer A. (Arno) Schroten, Traffic noise reduction in Europe Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise, 2007.
16. '08. 도로교통 사고비용의 추계와 평가, 도로교통공단, 2009.
17. 교통사고 요인분석, 도로교통공단, 2008.