

## 도로 포장의 시공 현황과 장단점 비교 분석

### Construction Trends and Relative Comparisons Between Concrete Pavement and Asphalt Pavement



조윤호\*



한만엽\*\*

#### 1. 머리말

포장 재료로서 일반적으로 사용되고 있는 아스팔트와 콘크리트의 특성 분석 및 합리적 선택 방안은 많이 논의 되어 왔다. 도로 주요 시설물의 하나인 포장 재료 선택은 두 포장 관련 이해 당사자간의 논의를 떠나, 객관적인 자료에 의한 공학적 판단에 의해 결정되어야 한다. 경제성이나 이용자의 편리성 그리고 유지 보수 등이 고려되어 결정될 포장 재료 선택이 의사 결정자의 개인적 선호나 과거 결정 답습 차원에서 선택되고 있는 점은 극복되어야 한다. 고속도로는 콘크리트 위주로 건설하되 주로 부근 콘크리트로 시공하고, 일반 국도나 지방도의 경우는 교통량에 관계없이 아스팔트로만 포장하고 있는 점 등이 국내 현실이다. 중차량이 지속적으로 주행하고 있는 주요 일반 국도나 차량 정체가 심하고 대형 트럭의 통행이

빈발하는 고속도로에 아스팔트 포장만을 고집 포설하여 막대한 바퀴자국 패임(Rutting)이 일어나고 있는 점과, 정체가 없이 고속의 승용차가 많이 주행하고 있는 구간에 부근 콘크리트 포장만을 고집 설치함으로써 소음 발생에 의한 승차감 저하가 나타나기 때문이다.

따라서, 본고는 획일적인 포장 구조 선택 방법을 지양하고 두 포장 재료의 경제적, 공학적 장단 비교를 통해 재료 선택의 바람직한 지표를 제시하고자 한다.

#### 2. 도로의 발전

인적 물질 자원의 교류 확대와 더불어 발달해온 도로는 국민 개개인의 생활의 질에 영향을 미치는 중요한 사회 간접 자본으로 자리 매김 해오고 있다. 국내에서 도로의 발달은 표 1에 보인 것과 같이 1960년

\* 정회원, 한국건설기술연구원 도로실 선임 연구원

\*\* 정회원, 아주대학교 토목공학과 조교수

표 1 연도별 도로 등급별 연장 및 포장률 비교

연도	계			고속국도		일반국도		특별·광역시도		지방도		시·군도	
	연장	포장도	포장율	연장	포장	연장	포장	연장	포장	연장	포장	연장	포장
1950	25,683	649	2.5			5,213	364			10,131	39	10,339	246
1955	26,508	643	2.4			5,706	300			10,340	37	10,463	306
1960	27,169	1,005	3.7			5,706	612			10,579	58	10,884	336
1965	28,145	1,627	5.8			5,899	1,042	63	27	12,3381	71	9,844	487
1970	40,244	3,864	9.6	551	551	8,122	1,924	5,476	724	10,880	188	15,216	477
1975	44,885	10,000	22.3	1,142	1,142	8,232	3,620	6,767	3,377	10,777	705	17,967	1,155
1980	46,951	15,599	33.2	1,225	1,225	8,232	5,547	7,939	5,036	11,021	1,385	18,535	2,407
1985	52,264	26,072	49.9	1,415	1,415	12,241	9,018	10,018	7,133	10,167	2,967	18,423	5,540
1990	56,715	40,545	71.5	1,551	1,551	12,161	10,838	12,298	10,205	10,672	6,789	20,033	11,162
1995	74,237	56,387	76.0	1,825	1,825	12,053	11,993	14,082	12,759	13,854	9,853	32,424	19,958
1996	82,342	59,840	72.7	1,886	1,886	12,464	12,185	14,857	13,251	17,147	12,528	35,989	19,990

\*1967 이후 현황=각 도의 보고자료에 의한, \*61~66 현황=건설 인감에 의한, \*60 이전 현황=국토건설년감 \*60에 의한.(단위:1000km)

말 이후 1990년대에 이르기까지 괄목할 만한 성장세를 보이고 있다. 이는 해방 전후 철도 위주의 수송 정책에서, 1960년 말 고속도로 건설을 시발로 전환된 도로 건설 우주의 정책에 따른 것이다. 1970년대 약 500km에 불과하던 고속도로는 1997년 현재 1800km로 급성장 하여 국토의 대동맥 역할을 담당해오고 있으며, 비포장 군사도로로 출발한 일반 국도 역시 4차선 확장 및 우회 도로의 건설 사업 등으로 주요 간선도로로서의 기능을 발휘해오고 있다. 건설교통부의 장기 계획에 따르면 고속도로의 경우 9×7의 격자형 도로망을 중심으로 현재의 두 배에 이르는 연장으로 발전할 것으로 보이며 국도 역시 골목노선 및 노선 확장 사업을 지속적으로 시행할 계획으로 있어 도로망의 증가세는 당분간 멈추지 않을 것으로 판단된다.

1970년에 약 10%에 불과하던 도로의 포장률은 경제 성장과 더불어 꾸준히 증가되어 왔다. 특히, 100% 포장도로 건설되기 시작한 고속도로를 위시하여 1980년대를 통하여 추진된 일반 국도 및 지방도 포장 정책에 힘입어 1996년 말 전체 도로의 72%에 해당하는 도로가 포장되어 관리되어 오고 있다. 국내 통행의 대동맥 역할을 하고 있는 고속국도와 일반 국도 그리고 특별 시도의 포장률이 90% 이상인 점을 감안하고 일부 산악지역의 군사도로와 50% 미만의 포장률을 보이고 있는 군도를 제외한다면 일반인들이 느끼는 도로에서 비포장 도로를 찾지란 어려운 일이 될 정도로 상당한 양의 포장 공사가 진행되어 왔음을 보여주고 있다.

### 3. 국내외 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 구성

아스팔트 포장 자체가 도로라고 느끼고 있는 일반인들의 인식만큼 국내외를 통틀어 아스팔트 포장이 절대 다수를 차지하고 있다.

외국의 경우를 살펴보면 미국은 전체 도로 연장의 92.3%가 아스팔트 포장이며, 일본의 경우 93%, 유럽의 대부분 국가 또한 95% 이상의 도로가 아스팔트로 포장되었다. 콘크리트 포장의 비율이 상대적으로 높은 국가로는 필리핀과 영국 그리고 칠레 정도를 꼽을 수 있다. 그러나 고속도로 및 중차량 통행이 많은 주요 도로를 대상으로 하는 경우 미국은 55%, 프랑스는 약 20%, 그리고 서독의 경우는 38% 등으로 매우 높음을 알 수 있다.<sup>64)</sup>

국내의 아스팔트와 콘크리트의 연도별 포장 연장 증가 형태를 살펴보면 그림 1과 같다. 앞서 살펴본 대로 1990년대 들어와서도 도로 연장이 지속적으로 증가하고 있음을 알 수 있으나 포장의 절대 다수는

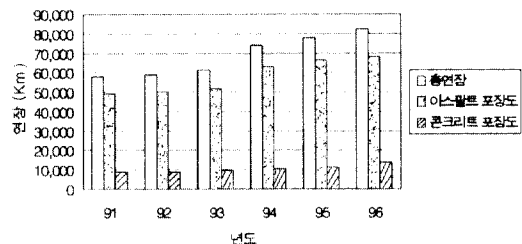


그림 1 연도별 아스팔트와 콘크리트 포장 연장 비교 (1996년 도, 도로 현황 조사)

아스팔트 포장으로 건설되고 있음을 보여 주고 있다. 활발하게 전개되고 있는 국도 개량 사업과 지방도 포장 사업 등에서 콘크리트의 연장은 소폭 증가나 정체 상태임을 보여주고 아스팔트 포장이 대부분 선택되고 있음을 보여 주고 있다.

도로망의 구축에 따른 포장률의 증가와 더불어 관리 주체별 도로 등급별 연도별 콘크리트와 아스팔트 포장의 시공 실적을 살펴보면 그림 2와 같다.

1996년 현재 15% 정도의 전체 연장 대비 콘크리트 포장의 구성비를 보이고 있는데, 고속도로가 절대적으로 많은 양을 차지하고 있다. 1980년대 정책적으로 결정 건설된 88고속도로가 신설 포장으로는 최초인 고속 국도의 경우, 1996년 말 현재 1886km의 연장중 55%의 포장이 콘크리트로 구성되어 있다. 이는 88고속 국도 이후의 대부분의 고속 도로가 콘크리트로 포장되었음을 보여주고 있는 자료이며 향후 건설될 대부분의 고속도로가 무근 콘크리트 포장으로 계획중임을 감안한다면 그 구성비는 더 더욱 높아져만 갈 것이다. 그러나 고속 국도와 함께 국도의 대동맥 역할을 하고 있는 일반 국도의 경우는 관리 연장 12464 km에 불과 281 km의 콘크리트 연장을 보여 줌으로써 약 2%만이 콘크리트 포장으로 건설되었음을 알 수 있다.

국도의 경우는 1980년 국도 7호선 강릉 지역 7.3km를 시발로 콘크리트 포장에 관심을 두었으나, 줄눈 부위의 잦은 파손과 시공상의 품질 관리 문제 등으로 인해 저조한 상태에 놓여 있다. 과적 차량이 다수 통과하고 있음을 감안할 때 콘크리트 포장이 고려되어야 할 도로임에도 불구하고 1993년 이후에 개선된 도로나 신설된 도로는 한 건도 콘크리트 포장이 선택되지 않고 있다. 특히, 유지 보수 시에는 아예 콘크리트 포장이 대안으로도 올라 있지 못하고 전부 아

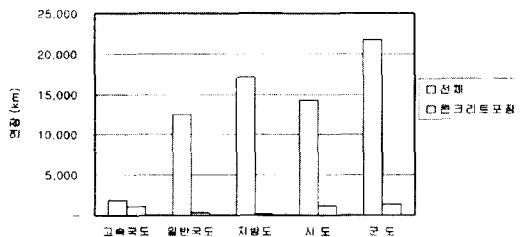


그림 2 도로 관리 주체별 콘크리트 포장 연장 구성 (1996년도, 도로 현황 조사)

스팔트만 선정되고 있는 것이 현실이다. 국내 교통 흐름에 있어 정맥 역할을 하고 있는 지방도의 경우는 겨우 1% 미만의 낮은 구성비를 보여주고 있다.

위와 같은 자료를 토대로 살펴볼 때 국내에서의 포장 선택은 고속국도를 제외한 도로 대부분의 경우 아스팔트로 포장되어 왔음을 알 수 있다. 공학적 판단 과정없이 정책적으로 포장 형식을 선택해 온 것이다. 콘크리트 포장의 경우는 새마을 도로로 포설된 시도로 일부와 1980년대 이후 고속도로를 중심으로 건설되고 있으나 활발하지 않은 실정이다. 주요 간선도로 기능을 담당하며 중차량 관리가 이루어지고 있지 않아 상대적으로 과적차량 통과 비율이 높은 일반 국도의 경우는 대부분 아스팔트로 포장 재료가 선택되고 있다.

건설 위주의 정책이 계속되고 있는 국내의 현실은 기존 시설물의 유지 관리 차원의 정책으로 바뀌어 가고 있는 선진 외국의 노정을 따를 수밖에 없을 것이다. 유지 관리의 관건 중 도로 부분에서는 포장 재료의 합리적 선택이 관건으로 작용될 것임을 예고하는 것이다. 포장 재료 선택에 고속국도는 콘크리트로, 일반 국도와 지방 도로는 아스팔트로 건설하고 있는 현실이 유지 보수의 시대로 접어들고 있는 현시점에서 타당한가에 대해 최소한 답변을 해야만 할 것이다.

#### 4. 포장의 특성 비교 분석

콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 장단점을 객관적으로 논하는 것은 거의 불가능에 가깝다. 아스팔트의 경우 최대의 장점은 포장은 무조건 아스팔트 포장이라는 인식에 있다. 승차감이 좋고 소음이 없으며 초기 건설비가 적다는 공학적 이점은 일반적 시각 뒤에 놓여 있다. 시공이 신속하고 간편하며, 단계시공 방식에 적합하고, 부분 보수가 용이하다는 점과 시공 후 즉시 교통개방이 가능하다는 점도 추가된다. 단점으로는 특히 국내의 경우 중차량 교통이 많은 곳이나 정체가 자주 일어나는 구간에서 바퀴자국 패임(Rutting)과 같은 파손과 내구성이 떨어져 비교적 단기간에 덧씌우기 등의 유지 보수가 필요로 한다는 점이다 이로 인한 잦은 유지 보수 업무로 교통 소통에 지장을 주며 따라서 도로 이용자 비용의 증가한다는 점도 또한 지적되고 있다.

콘크리트의 경우는 인력 포설에 의한 새마을 도로로서 국내에 도입되어 저급의 도로 포장용 재료로 인식되어 왔다. 초기 건설비가 많이 들고 소음이 심하며 승차감이 안 좋다는 부정적 일반론에서 시작하여 일상 유지 보수가 어렵다는 점에 이르기까지 단점이 주로 부각되는 경향이 있다. 내구성이 좋아 장기간에 걸쳐 특별한 유지 보수가 필요 없다는 점과 재료의 국내 조달 및 풍부함에 따른 자원의 효율적 사용, 그리고 중차량의 통과하는 도로라 하더라도 바퀴자국 폐임 같은 문제점이 없으므로 주행시 안전을 확보할 수 있다는 점 등의 장점은 부각되지 않고 있는 실정이다.

일반적으로 아스팔트 포장과 콘크리트의 비교 분석은 어려운 일이다. 이해 당사자간의 침해한 대립을 떠나 비교적 객관성을 유지해야만 할 연구진 또한 선호가 분명하게 나타나기 때문이다. 따라서 본 장에서는 논의되고 있는 두 포장의 일반론적인 특성 비교를 통하여 합리적인 판단을 위한 기본 자료를 제시하고자 한다.

#### 4.1 포장 형식 비교

도로를 포장하는 방식은 석유 정제 과정의 부산물인 아스팔트 결합제 또는 역청 재료(Asphalt Binder, 또는 Bituminous material)를 이용하는 아스팔트 포장과 포틀랜드 시멘트를 이용하는 콘크리트 포장으로 크게 나눌 수 있다. 일반적으로 국내에서 두 포장의 구분은 표층의 형태에 따르는데 아스팔트 포장은 골재를 역청재료로 결합하여 만든 표층이 있는 포장을 말하며, 일반적으로 표층, 기층 및 보조기층으로 이루어진다.

아스팔트 포장은 하중 재하에 의해서 생기는 수직 응력이 포장을 구성하고 있는 다양한 재질의 각 층에 의해 분산되어 길 바탕 흙(Roadbed Soil)에 도달할 때에는 흙의 강도보다 낮은 응력을 갖도록 함으로써 도로로서의 기본 기능을 발휘하도록 설계되고 있다. 상부로 올라올수록 양질의 재료를 사용함으로써 교통 하중에 의해 발생한 응력은 점차 넓은 면적에 분산되도록 하고 있으며, 포장 설계의 주 관심사인 각 층의 재료 구성과 두께는 교통하중과 역학적 균형을 유지하도록 하는 데 초점을 맞추게 된다.

콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브가 교통 하중으로 인한 전단이나 휨에 저항하여 하중 재하에 의한 응력

을 노상토의 지지력 이하로 전달함으로써 포장체의 구조적 안정성을 유지하도록 설계된다. 노상이나 보조기층의 탄성계수보다 콘크리트의 탄성계수가 비교할 수 없을 정도로 큰 구조물이다. 따라서 길바탕 흙의 조건이 매우 중요한 변수로 작용할 수 있는데, 예를 들어 연약지반 위에 콘크리트 포장을 설치 시에는 침하량이 크고 부등침하 발생에 따른 조기 파손이 우려되므로 이에 대한 충분한 검토가 필요하다. 국내에선 표층만이 건설되던 초기의 포장 형식을 탈피하여 일반적으로 보조기층을 추가하여 포설하고 있다. 보조기층은 미세한 입자와 물이 균열부나 줄눈 부위로부터 올라와 문제가 되는 펄핑 현상의 방지는 물론 슬래브에 균등한 지지력을 주고 투수층으로 동상을 방지하도록 하며, 시멘트 콘크리트 슬래브를 타설하기 위한 안전한 작업 공간을 조성하는 데에도 사용되고 있다.

#### 4.2 시공 특성 및 품질 관리

건설공사의 시공성을 좌우하는 공기나 비용 측면에서 보면 아스팔트 포장이 유리하다고 알려져 왔다. 단계 시공방식에 적합하고 신속성이나 간편성 면에서 아스팔트가 상대적으로 유리하기 때문이다. 그러나 최근의 각종 고속도로나 일반국도의 콘크리트 포장 기술의 습득으로 인하여, 그 차이는 크지 않을 것이다.

콘크리트도 비슷한 시공과정을 가지나 무근 콘크리트 포장의 경우 일정 시간 이내에 줄눈을 설치 마무리하며 양생 과정을 거쳐 완성 된다. 줄눈 설치와 양생 과정은 콘크리트 포장의 단점으로 자주 지적되고 있는데, 특히 양생과정과 시간은 동절기 시공이 어렵다는 점과 유지 보수 작업의 경우 교통 개방에 오랜 시간을 필요로 한다는 점 등의 치명적인 단점 요인을 제공하고 있다. 특히, 덧씌우기 재료의 선택에 있어 장기간의 양생과정에 의한 교통 폐쇄나 우회도로 개설의 문제는 아스팔트 포장이 덧씌우기 재료의 대명사가 되는 이유이기도 하다. 시공과 관련하여 콘크리트 포장의 또 하나의 단점으로 자주 지적되는 것은 도입 초기 시공 경험의 미천함으로 인해 품질 관리가 어렵다는 점이었다. 이러한 이유로 인해 현재까지 일반인들이 평가하는 시공성에서는 아스팔트에 많은 점수를 주는 것 같다. 그러나 양생 기간의 단축을 위해 조강 시멘트를 이용 단 하루 만에 교통에 개방한 사례가 보고되고 있으며, 줄눈의 설치 문제는

연속 철근 콘크리트를 이용하여 오래 전에 해결된 사항이기도 하다. 재료의 품질 관리 역시 많은 고속도로 건설 경험에 따라 이미 고도의 기술이 축적되어 문제가 없는 것으로 판단된다.

한편, 품질 관리가 콘크리트 포장의 문제점이라는 지적보다는 차라리 두 포장 통틀어 현재의 포장 공학 한계로 지적하는 것이 올바른 접근법일 것이다. 예를 들어 아스팔트 포장의 경우 마찰 실험에 따른 안정도 값과 흐름치가 품질 관리의 주요 인자로 사용되고 있고, 콘크리트 포장의 경우는 다짐되기 전의 콘크리트 재료를 빔 형식으로 제작하여 얻은 휨강도를 이용하고 있다. 문제는 두 방법을 통하여 얻은 값들이 현재 도로에서 일어나고 있는 문제점들을 설명하는 데 아무런 도움이 되지 않고 있다는 점이다. 마찰 안정도나 흐름치의 기준을 통과하여 건설되고 있는 많은 아스팔트 포장에서 바퀴자국 패임이 나타나고 있다는 점은 많은 관리자나 기술자가 당면하고 있는 문제점이다. 특히, 양 재료 모두가 현장에서 얻은 재료를 이용하여 실내에서 품질 검사를 실시할 뿐 현장에서 다짐 후 고체상태의 품질 상태를 나타내 줄 수 있는 주요 인자는 시방 지침에 나와 있지 않거나 개발돼 있지 못한 상태다. 현장 시공후 품질 관리에 필요한 인자를 얻을 수 있는 방법, 예를 들어 코어를 이용하거나 비파괴 검사법을 이용하여 포장의 공용성과 관련 지을 수 있는 품질관리법의 개발이 필요한 시점이다. 참고로 본 질에서는 현재 두재료의 품질 기준을 살펴보고자 한다. 콘크리트나 아스팔트 재료 모두 큰 운하중, 기상작용, 마모작용 등을 받게 되므로 사용재료는 공사 착수전에 신중한 조사 시험을 거쳐서 그 품질을 확인하고 그 사용의 가부를 결정해야 한다.

#### 4.2.1 시멘트 콘크리트 포장의 재료 특성

1) 시멘트 : 사용 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 것이 일반적이나, 최근에는 중용열 시멘트의 일종으로 발열량과 건조수축량을 줄인 포장용 시멘트도 개발된 것으로 보고되고 있다. 플라이애쉬 시멘트는 중용열 시멘트에 가까운 여러 가지 장점이 있으나 중용열 시멘트와 마찬가지로 강도 발현 속도가 떨어지는 특성으로 인해 겨울 공사시는 충분한 고려가 필요하다.

2) 골재 : 포장용 콘크리트에 사용되는 잔골재는

깨끗하고, 강하고, 내구적이고 적당한 입도를 가져야 하며, 점토 유기물 염분 등의 유해한 물질이 규정량 이상 함유되어서는 안된다. 예를 들어 중량 백분율로 점토의 경우는 1.0 이상되어서는 안되며 최근 바다모래의 사용 증가로 인한 염화물에 의한 피해가 우려되므로 염분 함유량도 0.1% 이하로 규제하고 있다.

굵은 골재의 경우는 입도분포가 적당히 유지되어야 하며 최대 골재크기는 40mm 정도로 비교적 큰 것을 사용하고 있다. 굵은 골재 역시 잔골재로 마찬가지로 가나다란 석편, 유기불순물, 염분 등의 유해물을 함유해서는 안된다.

표 2 굵은 골재에 포함될 수 있는 유해물 함유량의 한도 (중량 백분율)

종 류	최 대 지
점토당어리	0.25
연한 석편	5.0
골재엿기 시험에서 없어지는 것(0.074mm(No.200)체 통과량)	1.0
석탄, 갈탄 등으로 비중 2.0의 액체에 뜨는 것	0.5
관령 및 세장된 함유량	25이하

1) 부순물의 경우에 엿기 시험에서 없어지는 것이 불가부인 경우에는 불가부 중 입분의 최대치를 1.5%로 해도 좋다. 또, 코로슬레그 굵은골재의 경우에는 최대치를 5.0%로 해도 좋다.

2) 코로슬레그 굵은골재에는 적용하지 않는다.

3) 5mm체에 남는 골재를 대상으로 세장원은 폭에 비하여 길이가 3배 이상인 것이며 관령석편은 두께에 대한 폭의 비가 3배 이상인 것

3) 콘크리트 : 신설 포장용 콘크리트는 체적변화가 작고, 마모저항이 큰 것이 좋으므로 시멘트 페이스트량을 되도록 적게 할 필요가 있다. 또한 포장의 형상이 단순하고, 철근배근이 복잡하지 않아 콘크리트의 타설 및 다짐이 용이하므로 슬럼프는 2.5cm를 표준으로 한다. 또한 콘크리트 포장은 항상 대기 온도에 직접 노출되어 동절기 동안에 동해를 입을 우려가 크므로 공기량은 4% 정도를 유지하도록 하고, 단위수량은 110-140 정도를 쓰고있다. 콘크리트 포장은 휨거동에 의하여 내하력과 내구성인 결정되므로 압축강도보다는 휨강도를 기준으로 품질관리를 하고 있다. 재령 28일의 휨강도를 기준으로 하고 45kg/cm<sup>2</sup>을 표준으로 하고 있다. 또한 발열량과 건조수축량을 줄이기 위하여 단위시멘트량도 280-350kg·m의 비교적 적은 양을 사용하도록 하고 있다.

#### 4.2.2 아스팔트 포장의 재료 특성

1) 아스팔트 결합제(Asphalt binder) : 포장재료로 사용되는 국내 아스팔트 결합제의 대부분은 원유

를 증류하는 과정에서 휘발성의 가솔린, 나프타 등의 성분을 검출하고 잔류물을 정제한 석유 아스팔트이며, 제조방법에 따라 스트레이트 아스팔트와 블로운 아스팔트로 분류한다. 스트레이트 아스팔트는 원유를 정제한 뒤 특별한 처리과정을 거치지 않은 것이고, 블로운 아스팔트는 제조중에 공기를 불어넣어 화학변화를 일으켜 내구성 및 온도안정성(감온성)을 개선한 아스팔트이다. 아스팔트 결합체의 품질은 침입도 시험(KS M 2254), 연화점 시험(KS M 2254), 신도시험(KS M 2254) 등을 통하여 규정하도록 되어 있다. 그러나 이들 실험들이 과연 재료의 불성을 과학적으로 평가할 수 있는가에 대해서는 많은 논의가 되어 오고 있다. 예를 들어 실험의 편리성과 현장 적용성등으로 재료의 시방 규격으로 많이 사용되고 있는 침입도 규정의 경우, 이는 단순히 상온에서의 아스팔트 결합체의 강성을 나타내 줄 뿐, 온도에 따라 재료의 물리적 특성이 매우 다르게 나타나고 있는 아스팔트 결합체를 제대로 평가하기는 어려운 것으로 지적되고 있다.

2) 골재 : 아스팔트용 골재는 콘크리트용 골재보다 철저한 품질관리를 요구하고 있다. 이는 바인더 역할을 하는 아스팔트의 접착력이 떨어지기 때문으로, 골재의 품질에 대한 매우 자세한 규정을 적용하고 있다. 표3에는 아스팔트에 사용되는 쇄석의 요구되는 품질을 요약 정리하였다. 아스팔트 콘크리트에서는 시멘트 콘크리트보다 골재의 하중 전달 비중이 매우 크기 때문에 골재의 품질이 훨씬 더 철저히 관리되고 있다.

표 3 쇄석의 품질

구 분	입도조정 기준	시멘트 인양처리 기준	가압아스팔트 인양처리 기준	아스팔트 신도시험 기준	시험방법
비중				2.45 이상	KS F 2503
흡수율(%)			3.5 이하	3.0 이하	KS F 2503
마모손실(%)	40 이하	40 이하	40 이하	35 이하	KS F 2508
양정성(%)	25 이하	25 이하		12 이하	KS F 2507
피막박리피복면적(%)			95 이상	95 이상	KS F 2355
수정(CBR값)(%)	80 이상				KS F 2320
소성계수	4 이하	9 이하	9 이하		KS F 2303
형상 함유량(%)	5 이하				KS F 2304
원형 및 세장 석진(%)		20 이하	20 이하	20 이하	
과채율(%)	70 이상	40 이상	40 이상	85 이상	
겉모양이랑 함유량(%)		1 이하			KS F 2512
단위중량(kg/m <sup>3</sup> )		1,250 이상	1,250 이상	1,250 이상	KS F 2505

3) 아스팔트 콘크리트 : 아스팔트 콘크리트는 골재와 결합체인 아스팔트의 혼합물로서 압축은 골재가 받고, 인장력은 아스팔트가 받도록 역학적 역할이 구분되어 있다. 아스팔트 콘크리트의 물성은 근본적으로는 시간에 따라 변형이 크게 나타나는 점탄성 거동을 보이고 있다. 이러한 성질은 특히 아스팔트의 온도가 올라가 강성이 떨어지는 여름철이 되면 영구변형을 크게 증가시켜, 바퀴자국 패임과 쇼빙(Shoving) 그리고 불결모양으로 교차로 부근에서 많이 발생되고 있는 불결모양과손(Corrugation) 형태의 파손이 발생되는 원인이 된다.

일반적으로 배합된 아스팔트 콘크리트의 품질관리는 마찰시험으로 판정한다. 마찰시험은 콘크리트의 활열인장 시험과 비슷한데, 천천히 재하되는 하중하에서의 장기적인 변형 거동을 측정하는 실험이다. 표 4에는 마찰시험에 대한 기준치가 제시되어 있다. 또한 아스팔트 콘크리트의 경우는 다짐 정도를 나타내는 공기량이 매우 중요한 품질관리 기준의 하나인데, 통상 다짐 직후에는 6-10%의 상당히 높은 공극율을 갖다가 장기간 시간이 흐른뒤에는 4-7%정도로 안정된다. 그러나 시방 규정을 통과한 많은 아스팔트 포장에서 영구 변형이 나타나고 있어 시방 규정에 사용되고 있는 방법이 과연 타당한 것인가에 대한 연구가 필요한 실정이다.

표 4 마찰시험에 대한 기준치

혼합물종류 (최대입경)	① 조립도 아스팔트 콘크리트 (13F)	② 말림도 아스팔트 콘크리트 (19.25F)	③ 세립도 아스팔트 콘크리트 (13F)	④ 말림도중 아스팔트 콘크리트 (13F)	⑤ 말림도 아스팔트 콘크리트 (19.25F)	⑥ 세립도중 아스팔트 콘크리트 (13F)	⑦ 세립도 아스팔트 콘크리트 (13F)	⑧ 말림도중 아스팔트 콘크리트 (13F)	⑨ 말림도 아스팔트 콘크리트 (13F)
다짐횟수 (회)	50 (75)*			50			50 (75)**		
안정도 (kg)	500 이상	300 이상 500 이상*	500 이상			300 이상	500 이상	350 이상	
회분계 (100mm)	20~40			20~40			20~40		
공극률 (%)	3~7	3~6	3~7	3~5	2~5	3~5	-		
포화도 (%)	65~85	70~85	65~85	75~85	75~90	75~85	-		

주)\*1) 낮은 대형차 교통량이 1일1방향 1,000대 이상인 경우에 유통에 의한 소성변형이 포장에 적용함.

\*\*봄의 열함을 받기 쉽다고 생각되는 혼합물 또는 그와 같은 장소에 포설되는 혼합물에 대하여는 다음 수으로 구한 잔류안정도(殘留安定度)가 75% 이상이 바람직하다.

$$\text{잔류안정도}(\%) = \frac{60^\circ\text{C, 48시간 - 수침(水浸) 후의 - 안정도(kg)}}{\text{안정도(kg)}} \times 100$$

### 4.3 소음 및 안전성

소음 문제와 결부하여 일반인들이 느끼는 불만의 대부분은 콘크리트 포장과 관련되어 있다. 아스팔트 포장과 콘크리트 포장을 동시에 달려본 많은 이용자들이 콘크리트 포장의 소음 문제로 인해 승차감 혹은 주행성이 안 좋은 것으로 평가하고 있다.

콘크리트 포장에서 소음의 원인은 여러 가지가 논의되고 있다. 하나는 줄눈부에서 일어나는 소음으로, 자동차의 주행면이 줄눈으로 인해 불연속이 생겨서 일어나는 것이다. 이는 연속 철근 콘크리트의 도입으로 해결 가능하여 더 이상 콘크리트 포장의 단점으로 지적되고 있지 않다. 또 다른 점은 미끄럼 저항을 위해 설치하는 타이닝 또는 그루빙의 문제점이다. 도로 시공시 미끄럼 저항을 높이기 위해 아스팔트 포장과는 달리 콘크리트 포장에서는 빗살모양의 무늬를 횡 방향으로 콘크리트 표면에 주고 있다. 이들은 미끄럼 저항을 향상시키고 배수를 지원하는 장점과 빗물 주행시 차량의 정지 능력을 상실시키는 소위 수막현상(Hydroplaning)을 방지하는 데 결정적인 지원을 하고 있는 대신에 주요 소음원 역할을 하고 있다. 콘크리트 포장 표면의 Texture는 저음의 영역에 영향을 주고 타이닝이나 그루빙이 커다란 소음을 주는 것으로 알려져 있다. 따라서, 안전성을 높이기 위해서 설치하는 타이닝은 필연적으로 어느 정도의 소음 요인을 제공하고 있으므로 콘크리트 포장에서 소음을 줄이기 위해서는 횡 방향 타이닝만을 고집하기보다는 종방향 등으로 방향을 바꾸거나 마대 등을 이용하여 끝마무리를 하고 있는 공항 포장 등의 예를 들어 연구를 진행시켜야만 할 것이다.

아스팔트 포장의 경우는 소음이 상대적으로 적고 승차감 또한 상대적으로 좋은 포장이다. 그러나 안전과 관련지어 살펴볼 때 속도에 따라 다르기는 하지만 콘크리트 포장에 비해 낮은 마찰 계수 값을 보이고 있으며(3), 바퀴 자국 패임 같은 영구변형이 발생한 아스팔트 포장에 비오는 날 주행하는 경우 위험한 상황을 겪게 될 가능성이 있다. 바퀴 자국 패임이 전국적으로 발생하고 있는 국내 상황에서 빗물이 고이고 그 위를 달리는 자동차가 수막현상을 일으키는 상황이 발생할 우려가 매우 크기 때문이다.

### 4.4 경제성

양 포장의 경제성 비교는 대단히 복잡하고 어려운 문제이다. 콘크리트 포장이 내구성은 좋지만 초기 건설비용이 높다는 일반 인식은 오일 쇼크에 이후 높아진 아스팔트 가격으로 인해 초기 비용 역시 아스팔트 포장이 비경제적이라는 보고가 있기도 하다.(4) 그러나 포장의 경제성은 분석 연수에 커다란 영향을 받게 된다는 것이 일반론이며 분석 연수가 짧을 때에는 아스팔트 포장이 유리하지만 분석 연수가 길어짐에 따라 콘크리트가 유리하다고 보고되고 있다.(5) 도로 관련 건설비와 유지보수비 등의 직접 비용 이외에, 도로 이용자 비용 증가분과 공사중 교통 사고 유발 요인 증가 등을 정량화 하였을 때는 분석 기간에 상관없이 콘크리트 포장이 아스팔트 포장에 비해 항상 유리하다는 주장도 있고, 초기 약 15년간은 아스팔트 포장이 그 후부터 30년까지는 콘크리트 등이 유리하다는 연구 결과도 있다.(6)

이와 같이 경제성 평가는 분석기간, 이차율, 비용 평가 항목 등에 따라 연구진 간에 커다란 차이를 보이고 있다. 따라서 경제성 분석 결과를 이해하거나 직접 경제성 평가를 하고 결과를 유도하는 데 있어서 상당한 주의를 요하고 있다. 미국 AASHTO의 경우 분석 기간을 20년으로 한정된 가장 커다란 이유가 그 이상이 되면 콘크리트 포장이, 20년 이하이면 아스팔트 포장이 상대적으로 유리하기 때문임을 유의해야만 할 것이다.(7)

본 절에서는 이차율과 분석기간의 국가적 결정 요소 이외에 경제성 분석에 사용되고 있는 각각의 비용 항목을 들어 두 포장의 경제성 분석시 고려할 사항을 살펴보기로 한다.

1) 초기 건설비 : 초기 건설비는 경제성 평가에 있어 가장 강력한 인자로 작용하고 있다. 눈에 보이는 금액이고 의사 결정 당시의 예산 논리에 따라 적절하게 사용될 수 있기 때문이다. 미국의 경우 시멘트 산업이 환경 오염의 주범으로 인식되어 막대한 오염 방지 시설이 추가됨에 따라 수입에 의존하는 경우가 많으므로 아스팔트에 비해 콘크리트가 1.3배 이상 비싼 재료로 취급되고 있다. 국내의 경우는 풍부한 자원이 있고 아스팔트 역시 전량 수입에 의존하고 있으므로

콘크리트와 아스팔트의 재료상 비용 차는 거의 없는 것으로 알려져 있다. 단, 콘크리트와 아스팔트의 시공 두께에 따라 콘크리트 포장에 비해 비용 차이가 있다. 그러나 고속도로나 일반 국도의 경우 대부분의 아스팔트 포장이 아스팔트 기층(Black Base) 위에 표면층을 놓고 있는 추세이므로 건설 단가의 비교는 커다란 차이를 보이고 있지 않다. 초기 건설비 논쟁에서 유의해야 할 점은 아스팔트가 수입해오는 물질이라는 이유로 비경제적이라는 논리는 아스팔트 자체가 원유 정제 과정에서 생산되는 재료임을 감안하면 부적절한 것으로 보인다.

2) 유지 보수비 : 아스팔트 포장의 경우 일반적으로 평균 5-8년에 한 번씩 덧씌우기를 하고 있는 것으로 보인다. 그림 3은 한국건설기술연구원에서 진행하고 있는 포장 관리 시스템 데이터 베이스에서 취한 자료를 바탕으로 국도의 포장 관리 현황을 통계 처리한 것으로 국도에서 신설 포장의 1차 덧씌우기 연수 분포를 보여주고 있다. 일반 국도는 평균적으로 1차 덧씌우기가 8년 정도에 한 번씩 진행됨을 알 수 있고, 80% 정도의 포장이 10년 이내에 1차 덧씌우기를 필요로 하고 있음을 보여주고 있다.

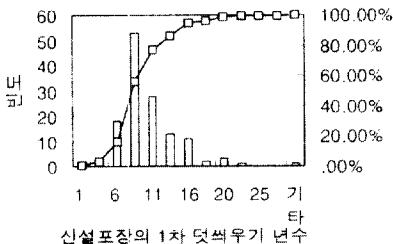


그림 3 일반 국도 아스팔트 포장의 1차 덧씌우기 연수의 분포 (국도 PMS 데이터 베이스)

반면 국도 콘크리트 포장의 경우는 10-15년 이상 경과한 포장이 다수 설치되어 있으나 일상 유지 보수를 제외한 대규모의 유지 보수를 한 경우는 없다. 고속 국도 역시 시공 초기부터 혼합 포장으로 건설한 호남 고속도로와 남해 고속도로의 경우를 제외하면 주요한 유지 보수 업무는 없는 것으로 보고되고 있다. 반사 균열의 발생으로 인해 덧씌우기를 하였던 이들 도로는 설계부터 반사 균열이라는 인자를 고려치 않은 당시의 기술 낙후성에서 기인한 것으로 판단된다. 이상을 판단해 볼 때 콘크리트가 아스팔트에

비해 적은 유지 보수비가 들어가고 있는 점은 객관적으로 증명된다.

3) 잔존 수명비 : 아스팔트나 콘크리트 모두 제 수명이 다하는 경우 재료로서의 재활용 여부를 떠나 기존 포장의 상태에 따라 비용으로 취급 가능하다. 그러나 이는 개량화가 힘든 부분이다. 분석 기간이 끝나는 시점의 상태를 비용으로 처리하는 것인데 이는 매우 어려운 작업이다. 국내 포장의 수명 곡선이 계량화되지 않은 점도 있고 국도나 고속도로 모두 곡선 개량이나 확포장에 따라 더 이상 도로 역할을 하지 않는 경우도 자주 있기 때문이다.

4) 이용자 비용 : 콘크리트 포장의 단점으로 자주 지적되고 있는 점이 바로 유지 보수시 발생하게 될 엄청난 이용자 비용이라고 말할 수 있다. 재료가 가지고 있는 양생의 한계에 따라 도로 폐쇄 기간의 장기화 그리고 이에 따른 시간 비용과 차량 운행 비용의 증가분이 자주 지적되고 있다. 대도시에 장기간에 걸쳐 도로 폐쇄 등을 할 때 발생하게 될 차량 지체와 이에 따른 사용자 비용의 증가는 막연한 어려움으로 다가오고 있다. 국내에서도 대도시를 통과하는 고속도로의 덧씌우기 시 아스팔트만을 고집하고 있는 점이 그 예에 해당한다. 그러나 아스팔트 포장 역시 아무리 빨리 교통에 개방한다고 하더라도 단기간의 교통 지체를 가져오고 더구나 수명이 짧아 잦은 덧씌우기를 행할 수밖에 없음을 감안할 때 교통 혼잡은 피할 수 없다는 점에서 이용자 비용 부담으로부터 자유로울 수가 없다.

분석 기간 내에 장기간 한 번의 도로 폐쇄나 우회 도로의 개설에 따른 비용이 클 것이냐 아니면 단기간 여러 번의 도로 지체가 클 것이냐 하는 문제는 주변 도로 조건, 교통량, 지역 생산량 및 설계 기준 차량 등 다양한 인자가 영향을 미치고 있는 복잡한 것이기 때문이다. 따라서 양 포장의 이용자 비용 비교 전제는 다양한 차종의 차량 운행비 모형이 개발되고 이용자 시간 지체에 따른 시간 비용 등이 공학적으로 객관화되어야만 한다.

이상에서 살펴본 것과 같이 두 포장의 경제성 평가에는 분석 기간에 따라 이자율에 따라 그리고 비용 항목에 따라 결과가 상이하게 나타날 수 있다. 국내에서도 교통량이나 지형조건, 환경 및 교통 하중에



따라 다양한 결과가 나타날 수 있으므로 도로 계획시 통과하는 지역에 따라 포장 재료에 대한 객관적 경제성 분석이 필수적으로 판단된다.

#### 4.5 파손 형태 및 유지 관리 측면

양 포장의 파손 형태 및 유지 관리 측면에서 사실상 커다란 차이점을 보이고 있다. 두 포장의 파손 형태 비교를 위해 국도 상에서 조사된 결과를 놓고 설명해보기로 한다.

아스팔트 포장에서 가장 흔히 나타나고 있는 파손 형태는 거북등 균열과 종횡방향 균열 그리고 바퀴자국 패임과 Shoving 같은 영구 변형 등을 들 수 있다. (8) 특히, 아스팔트 기층이 전국적으로 포설되기 시작하면서 균열이나 구멍 패임 같은 파손 형태는 줄어들고는 있으나 골재 및 아스팔트 결합재의 배합 설계 불량에 따라 재료의 이동에 기인하고 있는 영구 변형이 주요 파손 형태임을 보여 주고 있다. 특히, 저속의 중차량 주행이 심한 곳이나 교차로 부근 그리고 산업 도로 등에는 이러한 영구 변형을 피할 수 없는 형편으로 판단된다.

콘크리트 포장의 파손 형태는 1996년 행해진 전국도의 포장 파손 형태 조사 결과로부터 유추해 볼 수 있다. 국내에서 가장 많은 파손 형태는 스펠링(Spalling)과 종횡단 균열, 우각부 균열 그리고 줄눈부 파손 등이다. (9) 특히, 스펠링의 경우는 평균적으로 500m당 4.6개로 빈번하게 나타나고 있어 가장 대표적인 파손 형태임을 보여주고 있다. 통상 30년간의 수명을 보이고 있는 외국의 예나 국내의 경우도 중부 고속도로를 필두로 많은 도로등이 10여 년의 공용 경험에 비해 많은 문제를 보이고 있지 않고는 사례를 볼 때 이러한 줄눈부의 파손은 고속국도에 비해 초기 품질 관리에 어려움을 겪었던 일반 국도에 나타나고 있는 현상으로 파악할 수 있다.

양 포장의 유지 보수는 크게 일상 유지 보수(maintenance)와 재활(Rehabilitation)로 나눌 수 있다. 일상 유지 보수업무는 덧씌우기 등을 포함하고 있는 재활 공법의 적용이전에 시행되는 것으로 아스팔트 포장의 경우 소파보수는 대표적인 수단으로 사용되고 있다. 교통량이 적고 표면의 아스팔트 이탈이나 골재 분리가 일어난 곳은 슬러리 실(Slurry Seal)을 사용할 수도 있고 영구 변형의 경

우 절삭(Cold Milling)하는 등 다양한 방법의 표면 처리 기법이 비교적 손쉽게 사용되고 있다. 그러나 무근 콘크리트가 대부분인 국내의 경우는 스펠링이 대부분임에도 불구하고 이에 대한 일상 유지 보수가 아스팔트를 이용한 소파보수 수준에 머물고 있다. 균열의 경우 특수 재료를 이용하여 마치 외과 수술 후 봉합하는 형식의 공법을 적용해 보았으나 기술상 어려움 때문에 활용도가 낮은 형편이다.

재활 공법의 대표적 예는 덧씌우기이다. 아스팔트 포장은 거의 100% 아스팔트 덧씌우기가 시행되고 있으며, 콘크리트 포장의 경우 역시 아스팔트로만 덧씌우기가 진행되고 있다. 소위 하얀 덧씌우기(White Topping)인 콘크리트 덧씌우기는 시도되지 않고 있는 현실이다. 시공상 기술적인 문제점보다는 양생 기간의 차량 지체에 따른 도로 이용자의 민원이 가장 큰 부담으로 작용하고 있는 듯하며, 이는 현재 현재 기술 여건으로 볼 때 당분간 아스팔트가 계속 사용될 것으로 판단된다.

### 5. 포장 재료 선택 기준

아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 비교는 각 기관의 연구자의 선호도에 따라 다르고, 각기 다른 판단을 내릴 수 있다. 그러나 최소한 객관적인 근거 없이 덧씌우기는 무조건 아스팔트 포장이 유리하다고 판단하거나 국도나 지방도 또한 정해진 포장 형식과 두께로 설계되는 점은 지적되어야 한다.

일반적으로 포장 형식은 주어진 환경, 교통, 토질 조건 등에 따라 여러 가지 형태로 생각할 수 있으나 어떤 절대적인 판단 기준은 없다. 대체로 경제성, 시공성, 유지 관리비, 유지 관리의 난이도, 길바닥 흙의 조건, 지하 배설물의 여부 등의 공학적 기준과 정량화할 수 있는 조건, 예를 들어 시공 경험이나 장비 확보 교통 소통의 문제 자원의 분배 차원에 따른 국가적인 정책 등이 고려되어야 한다. 그러나 각 포장 공법이 상대적인 특성을 갖고 있어 모든 요소를 평가하여 국가 차원에서 적용할 수 있는 획일적인 포장 선택 결과를 내놓는 것은 불가능하다. 그러므로 도로 설계시 단위 사업별로 포장 재료 선택에 필요한 평가 작업을 구체화하여 현재와 같이 정책적인 판단이나 경험에 따른 포장 선택을 막을 필요가 있다.

마지막으로 포장 재료 선택 기준으로 포장 공학의 중론시간에 일반적으로 제시되고 있는 그림을 제시 함으로써 객관성을 유지하고자 한다. 그림 4에 표시 된 바와 같이 중차량 교통량이 많고 정체가 발생하는 경우 콘크리트 포장이, 고속의 자가용 통행이 많고 중차량 교통량이 적은 경우 아스팔트 포장이 공학적으로 유리하다는 것이다. 그러나 두 곡선이 마주치는 점은 절대적인 것이 아니며 지역사회 여건이나 자원 형태 및 교통 상황에 따라 달라질 수 있다.

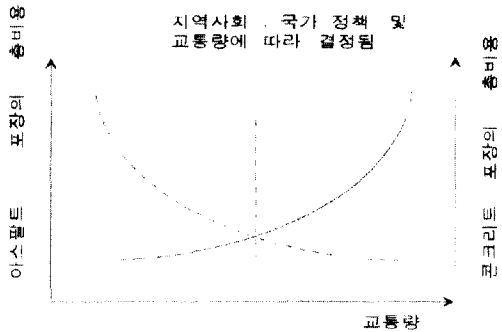


그림 4 포장 형식의 선정 기준

## 6. 맺음말

본 고는 도로 연장의 증가와 아울러 포장물 및 아스팔트 포장과 콘크리트 포장 연장 증가 현황을 살펴봄으로써 현재의 포장 선정 문제점으로 공학적 판단 과정 결여를 발견하였다. 중차량 교통량이 많고 주요 동맥 역할을 하고 있는 일반국도나 지방도 등이 대부분 아스팔트로 시공 유지 보수되고 있음을 알 수 있었고, 고속국도의 경우는 콘크리트 포장이 1980년대 이후 정책적인 결정에 따라 급속하게 증가하여 50% 이상을 차지하고 있기 때문이다. 따라서 아스팔트와 콘크리트의 합리적 선택을 위해 양 포장의 공학적 특성을 비교해 보았다. 특성 비교를 통한 양 포장의 장단 비교는 참여하는 연구자의 선호나 이해 관계에 있는 단체에 따라 아전인수격의 결과를 내놓고 있음을 알 수 있었다.

아스팔트 포장은 재료의 영구 변형 특성으로 인해, 트럭이나 버스 등의 중차량에 의한 바퀴 자국(Rutting)이나 소빙(Shoving) 등의 포장 파손이 따르기 쉽다. 따라서 교통량이 많고 차량 정체가 심한 도심에서의 잦은 유지 보수로 인하여 발생하는 교

통 혼잡으로 막대한 도로 이용자 비용이 발생되고 있다. 콘크리트 포장은 안전을 도모하기 위한 타이닝의 설치로 인해 소음을 피할 수가 없으며 국내의 경우처럼 무근 콘크리트로 시공하는 경우 줄눈부의 승차감 저하는 피할 수가 없다. 따라서 양 포장 모두 정량화 가능한 부분에서 장단점을 가지고 있다.

포장 선택에 있어 해당 도로의 교통 조건, 지반 조건 그리고 환경적 여건 및 재료 생산의 용이성 등 공학적 분석이 걸어진 채로 도로 기술자의 선호나 경험 관습 등에 따라 결정되는 것은 지양되어야만 한다. 막연한 일반론이나 전문가나 이해 당사자 한 쪽의 허구에 의존하기보다는 객관적이고 공학적인 자료에 바탕을 둔 재료의 선택과 포장 구조의 선택이 이루어 지야 한다. 콘크리트가 무조건 좋다는 표현이나 포장은 아스팔트라는 인식을 배제하고 도로 등의 영향 평가에 포장 형식 선정의 객관적인 과정을 반드시 포함시키야만 할 것이다.

본 고의 목적은 바로 최소한의 작업을 진행하자는 것이다. 무조건적인 포장 형식의 선정을 지양하고 국내 하중 조건과 온도 등의 지역적 조건 그리고 이용 하중 조건과 이용 가능한 재료 등을 바탕으로 객관적이며 경제적인 재료 선정의 필요성을 제기하고자 하는 것이다. 막대한 유지 보수비용을 감안할 때 아스팔트 포장 위에도 내구성이 좋은 콘크리트 포장 덧씌우기를 할 수 있다는 시각의 전환이 필요한 시점이다.

## 참고 문헌

1. 도로 현황 조사, 건설교통부, 1997년
2. 국제 도로 통계 연감, 한국 도로 공사, 1984년
3. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, 1984, Figure III-1(A), p 141
4. 88고속도로 기본 조사 보고서, 한국 도로 공사, 1981년 6월
5. 정부 고속도로 제포장 종합 계획 및 타당성 조사 학술 연구 보고서, 대한 토목 학회, 1986
6. "우리나라의 도로 포장의 경제성 분석," 황 용수, 중앙대 기술과학 논문집, 1987
7. AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993년
8. '96 국도 유지 보수 조사 부록 B 노선 상황표, 한국 건설 기술 연구원, 1997년 5월
9. '96 국도 유지 보수 조사 연구 보고서, 한국 건설 기술 연구원, 1997년 5월