

중부고속도로 공용자료를 활용한 CRCP와 JCP의 경제성 비교 연구

Comparison of Life Cycle Costs of CRCP and JCP at the Jung-bu Expressway

안성순* · 김형배** · 서영찬*** · 김경수****

Ahn, Sung-Sun · Kim, Hyung-Bae · Suh, Young-Chan · Kim, Kyoung-Su

1. 연구배경 및 목적

1980년대에 들어 교통량이 많은 고속도로를 바탕으로 아스팔트 포장에 비해 비교적 긴 공용수명을 갖는 콘크리트 포장의 건설이 시작되었으며 88고속도로에서 많은 경험을 축적한 후 중부고속도로에서 본격적인 콘크리트 포장 시대가 열리게 되었으며 현재에 이르러서는 신설 고속도로의 주된 포장 형식으로 콘크리트 포장이 널리 사용되고 있다.

중부고속도로의 포장에 대한 가장 큰 특징 중의 하나는 콘크리트 포장의 대표적 포장 형식인 줄눈 콘크리트 포장(Jointed Concrete Pavement: JCP)과 연속철근 콘크리트 포장(Continuously Reinforced Concrete Pavement: CRCP)이 함께 사용되어 졌다는 것이며, 특히 CRCP가 대규모로 사용되어진 노선은 중부고속도로가 유일하여 국내 실정에서 CRCP의 설계 및 시공에 대한 평가 및 검증을 위해서는 반드시 중부고속도로에 대한 조사 자료가 필요한 실정이다.

중부고속도로 이후 지금까지 국내에 적용되는 콘크리트 포장 형식은 거의 대부분이 JCP로 일반화되어 온 측면이 있는데 이는 CRCP에 대한 부정적인 선입견(초기 균열부의 스폴링등 2차 파손 우려, 철근 조립 등에 따른 시공성 불량, 철근 부식등)과 콘크리트 포설시 상대적으로 용이한 JCP의 시공적 특성을 현장기술자들이 선호하기 때문인 것으로 판단된다. 다시 말해, CRCP가 JCP에 비해 갖는 장점은 별로 없으면서 시공 비용측면 및 난이도 측면에서 불리하다는 인식이 지금까지 검증 없이 받아들여져 왔다고 볼 수 있다. 하지만 국내 교통 및 기후환경에서의 현장자료에 근거한 장기 공용성 분석을 통하여 실질적으로 두 포장 형식의 장·단점을 비교하고 합리적인 적용기준을 제시하고자 하는 시도는 거의 전무한 것으로 판단된다.

본 연구에서 공용 20여년에 이른 중부고속도로를 대상으로 중부고속도로의 초기 시공비와 개통 이래 현재까지 사용된 유지보수비 자료를 이용하여 경제성 분석을 실시하였다. 또한 시공비 및 유지보수비용 자료를 통해 각 지사별 연도별 유지보수활동을 파악하였으며, 이를 누적하여 개통 이래 현재에 이르기까지 유지보수 현황 추이를 파악하여 각 포장형식별, 방향별, 지사별 유지보수비용을 산정하였다. 이를 토대로 전체구간, 방향별, 관리지사별 누적 유지보수비용 및 유지보수횟수, km당 유지보수 단가 등을 분석하여 CRCP와 JCP의 실질적인 수명주기적 경제성 비교 결과를 제시하고자 하였다.

2. 경제성 분석을 위한 Data 수집

경제성 비용 분석은 초기 시공비와 유지보수비용 자료를 통해 분석을 실시하였다. 초기 시공비용 분석은

* (주)평화엔지니어링 부회장/기술연구원장 · 공학박사 · 031-420-7233(E-mail:ssahn@ezday.co.kr)

** 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3437(E-mail:kimhyun3@freeway.co.kr)

*** 한양대학교 건설교통공학부 정교수 · 공학박사 · 031-400-5155(E-mail:suhyc@hanyang.ac.kr)

**** 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 연구원 · 공학석사 · 031-371-3437(E-mail:krtrw@hanmail.net)

중부고속도로 시공당시의 건설지와 감리보고서를 참고하여 공구별, 포장형식별로 실시하였다. 유지관리비용은 표 1의 항목에 대해 1998년 이전과 1999년 이후로 나누어 1998년 이전에는 그림 1과 같이 해당지사를 직접 방문하여 과거 유지관리 시행에 대한 관계 서류를 찾아서 발췌 정리하였으며, 1999년 이후는 고속도로 관리 공단에서 발행한 유지보수 수량산출서와 유지보수 공종별 단가표로부터 포장공에 해당하는 공사물량(m³)과 단가(원/m³)를 곱하여 각 지사별, 연도별, 포장형식별 유지보수비용을 산출하였다.

표 1. 포장형식별 유지보수공법항목

포장 형식	유지보수공법항목
CRCP	덧씌우기, 노면패칭, 균열보수, 전단면보수, 부분단면보수
JCP	덧씌우기, 노면패칭, 균열보수, 줄눈보수, 맞댐부보수, 전단면보수, 부분단면보수

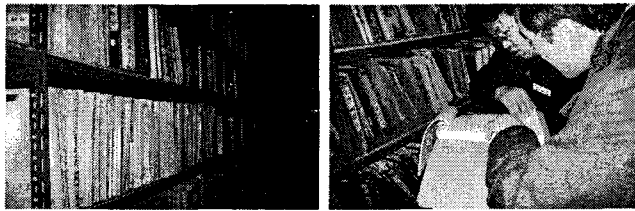


그림 1. 유지관리 기록을 보관하고 있는 지사 자료실

3. 중부고속도로의 시공 일반 사항

중부고속도로의 시공당시의 포장형식별 시공연장은 표 2와 같다. 전체 연장 123.6km 중 CRCP는 68.4km, JCP는 44.4km로 CRCP가 JCP보다 더 많은 연장이 시공되었다. 또한 JCP는 시점과 종점부근에 많이 시공되었으며, CRCP는 4~6공구에 많이 시공되었다. 중부고속도로의 포장형식은 지형적 특성, 시공성을 감안하여 결정하였는데 JCP는 터널 등으로 인한 상·하행 차선분리구간, 절·성토의 변화가 많은 산지구간, 인터체인지 램프에 적용하였으며 CRCP는 지형이 평탄하고 선형이 좋아서 설계속도 120km/h로 계획된 구간에 적용하였다. 아스팔트 콘크리트 포장은 기존 고속도로 확장구간인 남이~회덕 구간에 대해 시공의 난이도, 유지관리 및 원활한 교통소통 등을 위해 적용하였으며 잔류침하가 예상되는 곳에도 적용하였다.

표 2. 포장형식별 시공 연장(한국종합기술개발공사,1987) (단위: km)

포장형식	연장	JCP	CRCP	ASCON
계	123.6	44.4	68.4	10.8
1공구	14.6	2.3	8.0	4.3
2공구	9.0	5.4	-	3.6
3공구	16.0	14.0	2.0	-
4공구	12.0	0.5	11.5	-
5공구	16.0	-	16.0	-
6공구	18.0	-	18.0	-
7공구	12.0	8.9	1.5	1.6
8공구	14.0	12.2	1.8	-
9공구	12.0	1.1	9.6	1.3



4. 경제성 분석결과

4.1 시공비 분석결과

중부고속도로의 포장형식별 시공비는 중부고속도로 건설지에 기재되어 있는 자료를 토대로 하부구조는 포장형식에 따라 차이가 없으므로 실제적으로 시공비에서 차이가 나는 슬래브만의 시공비에 한해 비교 분석하였다. 분석결과는 표 3에서 보는 바와 같이 건설 당시 CRCP의 슬래브 시공비가 평균 719,735천원/km로 JCP의 슬래브 시공비 607,034천원/km보다 1.19배가량 소요된 것으로 나타났다.

표 3. 포장 형식별 시공비(한국종합기술개발공사,1987) (단위 : 천원/km)

공구 \ 포장형식	CRCP	JCP
1	592,813	516,988
2	-	553,692
3	741,833	651,025
4	680,671	601,367
5	768,494	-
6	807,181	-
7	638,022	558,593
8	786,260	702,118
9	742,603	665,455
평균	719,735	607,034

4.2 포장형식별 비용 분석결과

중부고속도로의 포장형식별 비용 분석은 1995년부터 2004년까지의 유지보수횟수 및 누적 유지보수비를 통해 분석을 실시하였다. 분석결과 표 4에서 보는 바와 같이 현재까지의 총 누적 보수비는 JCP가 약 47.0억 원으로 CRCP의 44.7억원보다 약 1.05배가량 더 지출된 것으로 그다지 큰 차이는 없었다.

표 4. 포장형식별 누적 포장 보수비 현황 (단위 : 백만원)

구분	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
JCP	75	75	272	525	542	735	1,362	2,091	3,906	4,701
CRCP	-	90	98	359	507	696	1,157	1,545	3,487	4,466

그러나, 포장형식별 km당 유지보수비용 산출 결과 표 5에서 보는 바와 같이 JCP의 km당 유지보수비용이 29,196천원으로 CRCP의 km당 유지보수비용 18,410천원의 약 1.59배 가량을 더 많이 지출된 것으로 나타나 확연한 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

표 5. 포장형식별 km당 누적 포장 보수비 (단위 : 천원/km)

구분	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
JCP	467	467	1,687	3,258	3,364	4,566	8,463	12,987	24,264	29,196
CRCP	-	38	404	1,479	2,091	2,867	4,767	6,367	14,373	18,410

그림 2는 포장형식별 km당 누적 포장 보수비 현황을 나타낸 것으로 그래프에서 보는 바와 같이 km당 누적 포장 보수비는 총 누적 포장 보수비 현황과는 다르게 포장형식에 따라 확연한 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

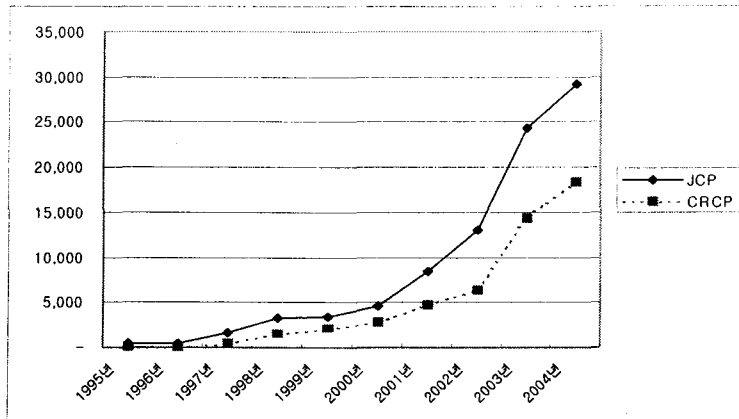


그림 2. 포장형식별 km당 누적 포장 보수비(단위 : 천원/km)

이러한 CRCP와 JCP의 유지보수비용 차이는 포장의 공용성과 연계하여 보면 그림 3과 그림 4와 같이 CRCP가 JCP에 비하여 구조적, 기능적 공용성이 보다 양호하고, 대단위 유지보수가 필요한 것으로 판단되는 불량구간의 비율역시 상대적으로 적어 그 만큼 유지보수비용이 적게 소요되었다는 것을 뒷받침한다고 볼 수 있을 것이다. 즉, 중부고속도로의 CRCP와 JCP 포장 형식에 대한 비교에서 CRCP는 장기공용성 측면과 수명 주기비용 측면에서 우수하였다는 결론을 도출하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

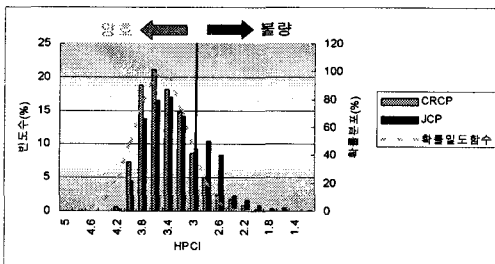


그림 3. 포장형식별 전체 HPCI 분석

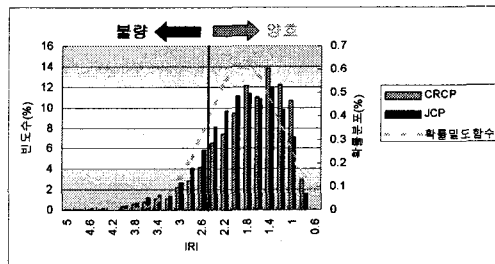


그림 4. 포장형식별 전체 IRI 분석결과

유지보수횟수를 각 포장형식별 총 연장으로 나눈 km당 누적 유지보수횟수로 환산해 보면 그림 5와 같이 JCP가 17.5회, CRCP가 13.4회를 실시한 것으로 나타나 JCP의 유지보수 횟수가 CRCP의 유지보수횟수보다 약 1.3배 가량 더 많은 것으로 분석되었다. 그래프에서 보는 바와 같이 포장형식별 km당 누적 포장 유지보수 횟수는 포장형식에 따라 확연한 차이가 있는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 분석으로부터 중부고속도로 개통이후 지금까지 CRCP 구간에서는 상대적으로 적은 횟수의 유지관리활동이 있었으며 그만큼 보수활동에 따른 교통차단 또는 지체로 인한 차량운행비용의 절감효과가 높았던 것으로 판단된다. 즉, CRCP 포장은 단순히 유지보수 비용측면 뿐만 아니라 도로사용비용 절감이라는 편의 발생측면에서도 JCP 포장보다 상대적으로 유리한 것으로 볼 수 있다.

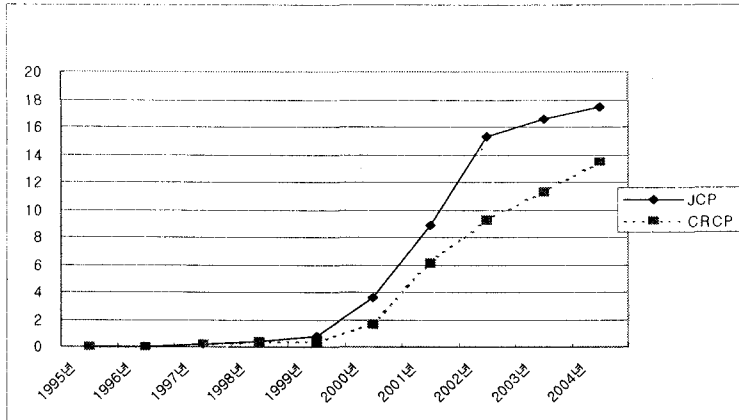


그림 5. 포장형식별 km당 누적 포장 유지보수횟수(단위 : 회/km)

4.3 방향별 비용 분석 결과

중부고속도로의 방향별 비용 분석 결과 표 6과 그림 6에서 보는 바와 같이 상행의 km당 누적 유지보수비가 하행보다 더 많이 지출된 것으로 나타났다.

표 6. 상·하행별 km당 누적 유지보수비 (단위 : 백만원/km)

구분	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
상행 (동영방향)	1	1	3	8	10	14	19	28	68	85
하행 (하남방향)	-	-	4	7	9	11	18	30	61	78

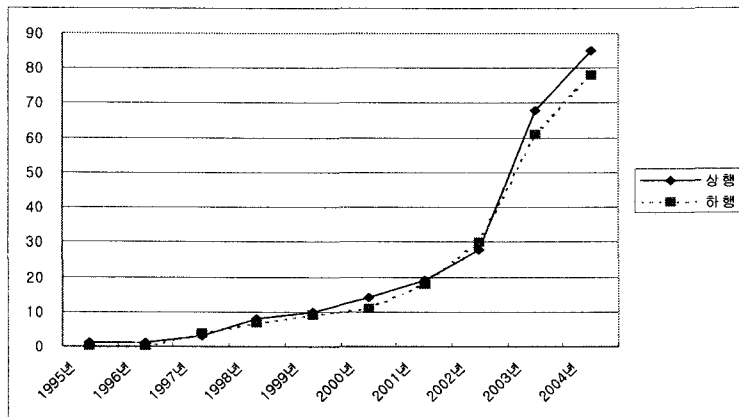


그림 6. 상·하행별 km당 누적 유지보수비(단위 : 백만원/km)

중부고속도로의 방향별·포장형식별 km당 누적 유지보수비를 분석한 결과 표 7에서 보는 바와 같이 하행 JCP의 km당 누적 유지보수비가 가장 많이 지출된 것으로 나타났으며, 그 다음으로 상행 CRCP > 상행 JCP 순 이었으며, 하행 CRCP가 가장 적은 유지보수비가 지출된 것으로 나타났다. 또한, 그림 7에서 보는 바와 같이 방향별·포장형식별로 분석한 것을 그래프로 나타낸 것으로, 그래프에서도 상행 JCP와 하행 CRCP간의



유지보수비 차가 큰 것을 확인할 수 있었다.

표 7. 방향별 · 포장형식별 km당 누적 포장보수비 (단위 : 백만원/km)

구분		'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
상행 (통영방향)	JCP	1	1	3	5	6	8	11	16	33	40
	CRCP	-	-	-	3	4	6	8	12	35	45
하행 (하남방향)	JCP	-	-	3	6	6	8	12	22	43	54
	CRCP	-	-	1	1	3	3	6	8	18	24

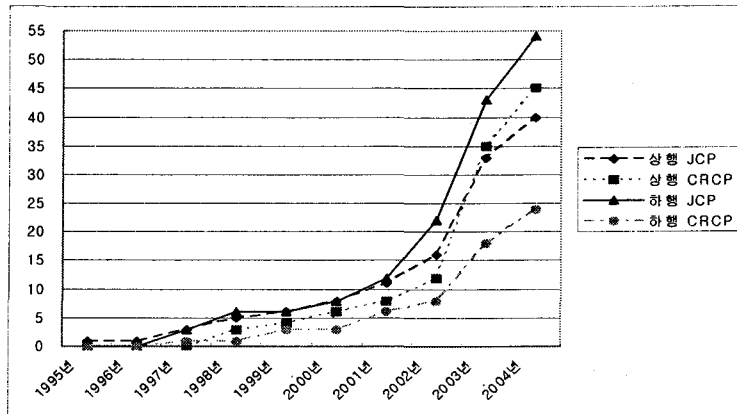


그림 7. 방향별 · 포장형식별 km당 누적 포장보수비(단위 : 백만원/km)

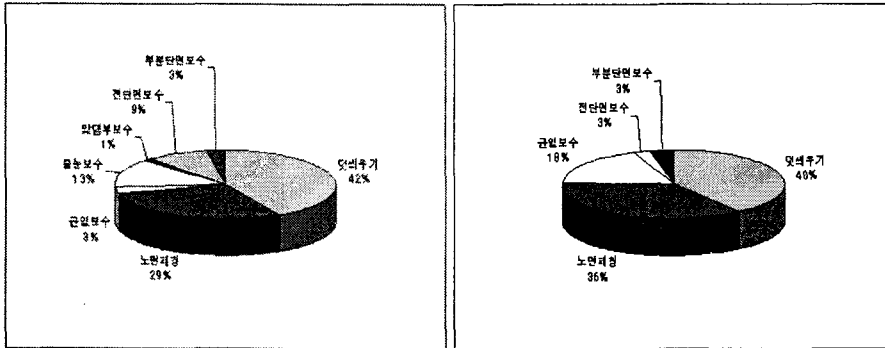
4.4 유지보수 공법별 비용 분석 결과

유지보수 공법별 비용 분석 결과 표 8에서 보는 바와 같이 JCP와 CRCP 모두 덧씌우기에 가장 많은 비용이 소요되었으며, JCP의 경우는 덧씌우기 > 노면패칭 > 줄눈보수 > 전단면보수 > 균열보수 > 부분단면보수 > 맞댐부보수 순으로 유지보수비용이 지출되었으며, CRCP의 경우에는 덧씌우기 > 노면패칭 > 균열보수 > 부분단면보수 > 전단면보수 순으로 비용이 지출된 것으로 분석되었다.

표 8. 유지보수 공법별 누적비용 (단위: 원)

유지보수 포장 형식	JCP	CRCP
덧씌우기	1,818,135,408	1,635,563,435
노면패칭	1,248,725,311	1,457,132,077
줄눈보수	575,174,637	-
전단면보수	384,722,958	102,411,539
균열보수	144,734,981	752,455,913
부분단면보수	126,336,300	134,338,300
맞댐부보수	45,366,487	-

그림 8은 포장형식에 따른 유지보수 공법별 비용 분석 결과를 그래프로 나타낸 것으로, 포 형식에 따라 사용 유지보수 공법에는 어느 정도 차이가 나고 있음이 분명하다.



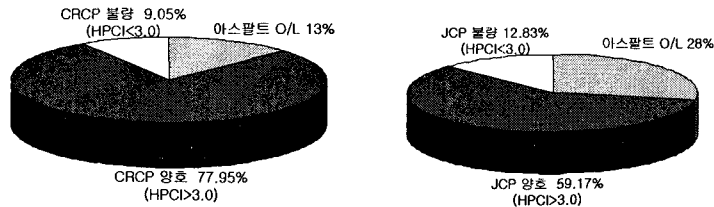
(a) JCP 유지보수 비율 (b) CRCP 유지보수 비율
그림 8. 포장형식별 유지보수 비율

그림 8에서 보듯이 중부고속도로에서 포장형식에 관계없이 가장 널리 적용된 유지보수 공법은 아스팔트 덧씌우기인 것으로 나타났고, 포장 선진국에서 콘크리트 포장 보수공법으로 일반화 되어 있는 부분 또는 전 단면 보수공법의 적용은 상대적으로 미미하였다. 이는 아직까지 콘크리트 포장유지관리에 대한 다양한 대안이 제시되지 못하고 있다는 반증이며 특히, 포장 상태별 다양한 유지보수 공법 적용을 통한 포장수명 극대화 절차가 실용화되지 못하고 있음을 보여준다. 포장상태에 따른 적절한 포장보수 및 관리대처방안을 전략적으로 수립하고 다양한 콘크리트 포장 보수공법의 실용화가 절실한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 중부고속도로 콘크리트 포장 개통 이래 획득가능한 모든 시공비 및 유지보수비에 관련된 자료를 분석하여 포장형식별 경제성에 대한 상대비교에 초점을 맞추어 결과를 정리하였다. 초기 시공비의 비중이 유지보수비에 비해 상당히 높기 때문에 개통 후 20여년이 지난 현시점에서 관리자가 사용한 비용 (Agency Cost) 측면에서는 JCP가 CRCP에 비하여 유리할 수 있다고 볼 수 있으나 다음과 같은 이유로 인하여 CRCP의 수명주기비용이 JCP보다 적게 소요된다는 추론이 가능할 것으로 판단된다.

- 유지보수비용은 2001년 이후 급격한 증가추세를 보이고 있으며 특히 JCP의 유지관리비용 증가비율은 CRCP에 비하여 더욱 가파르게 올라가고 있음이 확인하다. 그림 9와 같이 현재 HPCI 3.0미만으로 덧씌우기 등의 유지보수가 시급한 구간의 비율도 JCP는 12.83%로 CRCP의 9.05%보다 높은 상태여서 보다 많은 추가 유지관리비용이 JCP에 필요할 것으로 판단된다.



(a) CRCP의 덧씌우기 비율 (b) JCP의 덧씌우기 비율
그림 9. 포장형식별 덧씌우기 비율



- 그림 9에서 보듯이 이미 덧씌우기가 시행된 JCP구간은 28%를 상회하고 있는데 JCP에 대한 아스팔트 덧씌우기 포장의 반사균열 저항성이 취약하여 덧씌우기 포장의 수명이 길지 못한 점을 감안하면 JCP의 유지보수비용의 추가 확대가능성은 대단히 높은 것으로 판단된다. 반면, 덧씌우기 된 CRCP구간은 13% 정도에 머물러 있는 상태이며 반사균열에 의한 아스팔트 덧씌우기 포장의 파손 우려도 그다지 크지 않다는 사실을 고려할 때 향후 CRCP구간의 유지보수비용은 JCP구간에 비하여 크게 늘어나지 않을 것으로 판단된다.
- km당 누적 유지보수횟수에서 JCP의 유지보수횟수가 CRCP의 유지보수횟수보다 약 1.3배 가량 더 많은 것으로 분석되었는데 이것은 중부고속도로 개통이후 지금까지 CRCP 구간에서는 상대적으로 적은 횟수의 유지관리활동이 있었으며 그만큼 보수활동에 따른 교통차단 또는 지체로 인한 차량운행비용의 절감효과가 높았다는 추론을 가능하게 한다. 비록, 수집된 자료의 한계 상 매년 유지보수공사 마다 교통차단일수 또는 시간을 정확히 산출하는 것은 불가능하지만 CRCP 포장에서 교통지체에 따른 기회비용 손실이 JCP 포장보다 상대적으로 적었다는 해석이 가능하다고 판단된다.
- 중부고속도로에서 포장형식에 관계없이 가장 널리 적용된 유지보수 공법은 아스팔트 덧씌우기인 것으로 나타났고, 부분 또는 전단면 보수공법의 적용은 상대적으로 미미하였다. 이는 아직까지 콘크리트 포장유지관리에 있어서 파손원인에 따른 적절한 유지보수 대안을 시행하는 합리적인 유지관리 절차가 정착되고 있지 않다는 반증으로서 포장상태에 따른 적절한 포장보수 및 관리대처방안의 실용화가 시급한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설핵심기술연구개발사업인 ‘장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술개발’의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

1. 건설부, "중부고속도로 건설지", 한국도로공사, 1988.
2. 김성호, "중부고속도로 평탄성 특성에 관한 연구", 한양대학교 교통공학과, 2000.
3. (주)용마엔지니어링, "중부고속도로 개통 10년사", 1997.
4. (주)용마엔지니어링, "중부고속도로 파손상태 조사 보고서", 1999.
5. 한국도로공사, "고속도로 포장상태 조사 및 분석", 2004.
6. 한국도로공사, "고속도로 포장상태 조사 및 분석(연구부분)", 2005.
7. 한국도로공사, "노후 콘크리트포장의 잔존수명 평가 및 구조성능 개선방안 수립 연구", 2004.
8. 한국도로공사 도로교통기술원, "고속도로 포장 시험시공구간 현장 공용성 평가 및 추적조사 시스템 구축 용역(1차년도 최종보고서)", 2005
9. 한국종합기술개발공사, "중부고속도로건설사업 감리종합보고서", 1987.