

생애주기비용을 고려한 중·신·콘 공법 경제성분석 방안

The Economic Analysis Method of Whitetopping Based on Life Cycle Cost

박준영³⁾ · 이동현⁴⁾ · 조윤희⁵⁾

Park, Jun Young · Lee, Dong Hyun · Cho, Yoon Ho

1. 개요

본 연구진에서는 중차량 교통이 많은 도로에서 신속 개방이 가능한 콘크리트 덧씌우기 공법(이하 중·신·콘)을 개발하였다. 이 공법은 미국을 중심으로 선진국에서 “Whitetopping”이라는 이름으로 도입이 확대되고 있으며 특히 중차량에 의해 러팅이 심각한 기존 아스팔트 콘크리트 포장에 적용하였을 경우 매우 효과적인 공법이다. 본 연구에서는 미국이나 일본을 비롯한 선진국에서는 경제성 분석의 한 방법으로 자주 사용되고 있는 수명주기비용분석(LCCA; Life Cycle Cost Analysis)을 이용하여 경제성 분석을 수행하였다. 분석대상은 5, 10, 15cm 두께의 중·신·콘과 10cm 두께의 아스팔트 덧씌우기(이하 10AC)로 설정하였다. 생애주기비용은 일반적으로 제품의 생산, 사용, 폐기·처분 등의 각 단계에서 발생하는 비용을 모두 합한 총비용을 말하며, 토목에서 수명주기비용분석은 초기 건설비용뿐만 아니라 유지보수, 재시공, 해체 폐기 과정 등 전체 수명 기간 동안 발생하는 모든 비용을 할인율(Discount Rate)을 적용하여 현재가치로 환산하는 분석방법이다. 포장의 경우 초기 건설비용이 전체 소요 비용 중 일부분에 불과하며, 유지 관리비가 건설비용의 5~6배에 이르는 경우도 있기 때문에 공법 선정 시 매우 합리적인 분석 방법이다.

2. 분석 방식

포장 유지 보수 공법마다 시공시기, 공용연수가 다르므로 이런 대안들을 비교하려면, 우선 기준이 되는 시점을 정하고, 이것을 기준으로 현재 비용과 미래 비용을 환산해야 한다. 이와 같이 비용이 발생한 시점에 따라 상이한 비용을 일정한 기준을 정하여 환산하는 방법인 현재가치법(Present Worth Method)을 적용하였다. 따라서 각 대안들에 대한 총 현재 가치(Net Present Worth)는 초기투자비, 현재 가치 계수에 의해 환산된 유지보수비와 사용자비용들의 합으로 계산되며 기본 공식은 다음과 같다.

$$\text{순현재가치} = \text{초기투자비} + \sum (\text{유지보수비} + \text{사용자비용}) \left[\frac{1}{(1+i)^t} \right] \quad (\text{식 1})$$

여기서, $\frac{1}{(1+i)^n}$: 현재 가치 (PW: Present Worth) 계수

i : 할인율

t : 분석기간내 년수

* 비회원 · 중앙대학교 건설 환경공학과 석사 과정 · 02-816-0251 (E-mail:pavement007@hotmail.com)

** 정회원 · 중앙대학교 건설 환경공학과 공학 석사 · (E-mail:jangnangam@hotmail.com)

*** 정회원 · 중앙대학교 건설 환경공학과 조교수 · 공학박사 · 02-820-5336(E-mail:yhcho@cau.ac.kr)



3. 기본 가정사항

3.1 분석기간 및 할인율

분석기간(analysis period)은 일반적으로는 설계수명(design period)보다 길게 정하고 있다. 실제 아스팔트 포장에 대한 덧씌우기 공법 시행 주기는 교통량 및 중차량 혼입비율에 따라 상당한 차이가 있으나 4~10년 정도이며 본 연구에서는 일반적 설계수명인 20년을 분석기간으로 선정하였다.

할인율은 미래에 발생할 것으로 예상되는 비용을 현재가치로 환산하기 위해서 사용된다. 할인율의 불확실성은 수명주기비용 분석기법의 실무적용을 저해하는 주요 요인 중의 하나이다. 따라서, 할인율의 적용시 원칙은 비용 발생에 인플레이션 효과를 고려한 경우에는 명목할인율(Nominal Discount Rate)을 사용하고, 인플레이션 효과를 고려하지 않는 경우(인플레이션 효과가 제거된 경우)에는 실질할인율을 사용해야 한다. 다음은 명목할인율과 실질 할인율의 관계를 나타낸 식이다.

$$I_R = \frac{(1 + I_N)}{1 + F} - 1 \quad (\text{식 2})$$

여기서, I_R : 실질할인율
 I_N : 명목할인율
 F : 인플레이션(물가상승율)

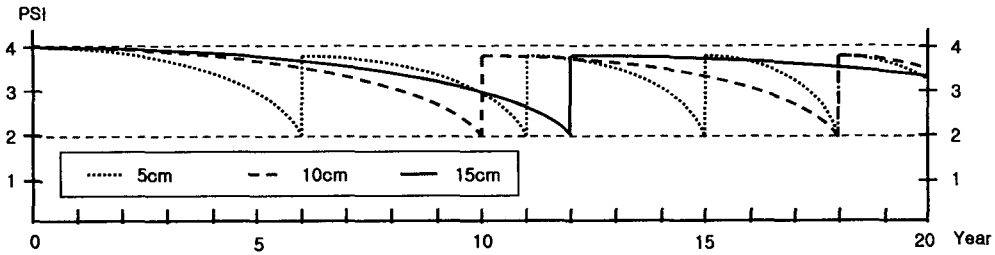
최근 경제지표자료인 정기예금 금리와 소비자 물가지수를 바탕으로 실질 할인율을 (식 3)로 계산한 결과, 1982~2002년까지의 평균값이 4.18이며 1993~2002까지의 최근 10년간의 평균값이 4.17로 산출되었다. 따라서, 본 연구에서는 실질할인율 4%를 적용하였다.

3.2 분석 대안의 유지 보수

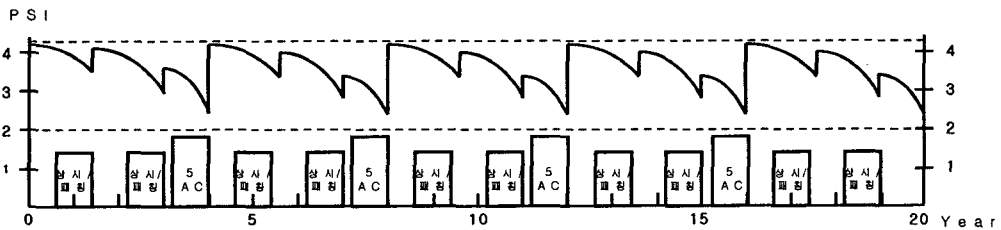
분석기간 동안 유지보수가 몇 번 시행되는지를 결정하는 것은 유지보수비용 및 사용자 비용에 직접적인 영향을 미쳐 매우 중요하다. 그러나 중·신·콘은 우리나라에서 처음 시도되는 공법이므로 과거 자료를 바탕으로 공용성을 예측하기란 불가능하다. 외국사례의 경우도 중·신·콘 공법이 본격적으로 시험 시공된 것이 90년대이므로 중·신·콘의 정확한 공용성을 평가하는 것은 어렵다. 이들 중 양호하게 시공된 사례에서는 5~8년 동안 약간의 균열과 슬래브 파손만 발생되었고 공용성을 예측하기 위한 많은 연구 결과에서 8~12년 정도로 공용수명을 예측하고 있지만, 구체적인 공용성 곡선을 제시되지 않는 실정이다.⁽¹⁾⁽²⁾ 따라서 이들 결과를 근거로 공학적 판단에 의거하여 중·신·콘의 공용성 및 유지보수 공법을 적용하였다.

중·신·콘은 재료의 내구성이 뛰어난 콘크리트이므로 중차량 교통량의 많은 구간에서 10cm 두께의 경우 시공된 경우 10년 후 전구간에 대해 20%의 슬래브가 균열 발생할 것으로 가정하여 단면보수를 진행하는 것으로 설정했다. 또한 5cm 두께의 경우는 6년 후에 전구간에 대해 20%의 슬래브가 균열 발생할 것으로 가정하였고 15cm 두께의 경우는 12년 후에 전구간에 대해 20%의 슬래브가 균열 발생할 것으로 가정하였다.

10AC의 경우는 중차량 교통량이 많아 빈번한 유지보수가 이루어진 일반국도 17호선(순천)의 유지보수 이력자료⁹⁾를 근거로 공학적 판단에 의거하여 초기에 10AC 공법을 실시하고 4년마다 5cm 덧씌우기 공법이 진행되고 1.5~2년마다 상시 유지보수 및 패칭 보수가 진행되는 것으로 가정하였다. <그림 1>는 교통량의 많은 구간에 대해 각 대안을 적용하였을 경우의 PSI(Present Serviceability Index) 공용성 곡선을 도시한 그래프이다.



a) 중·신·콘 두께별 공용성 곡선



b) 10AC 공용성 곡선

<그림 1> 중·신·콘 와 10AC의 공용성 곡선 (교통량이 많을 경우)

교통량은 중차량 교통이 많은 구간, 교통량이 보통인 구간, 교통량이 적은 구간으로 분류하여 분석하였다. 교통량 크기 순으로 일반국도 17호선(AADT: 37,188), 7호선(AADT: 22972), 14호선(AADT: 982) 일부 구간을 사례 구간으로 선정하였다. 각 대안의 공용성은 교통량에 따라 변화하기 때문에 교통량의 보통일 경우와 적을 경우에는 보정하여야 한다. 중·신·콘의 경우에는 교통량이 감소함에 따라 공용수명이 1~2년 증가한다고 가정하였으며 10AC의 경우는 교통량에 보다 민감하기 때문에 공용수명이 2~4년 증가한다고 가정하였다.

4. 항목별 생애주기비용

각 대안에 대한 초기 시공비용은 총 공사비 중 간접 노무비, 산재보험료, 안전관리비, 일반관리비, 이윤 및 부가가치세 등의 기타경비를 제외한 순수공사비만을 고려하였다. 순수공사비는 각 공정별로 재료비, 노무비, 경비의 단가와 수량으로 책정하였다. 중·신·콘 공법의 경우는 순천 시험시공에서 실제로 적용된 공사비를 토대로 단위 구간 1km 2차선 도로로 각 소요 비용을 재산정하여 산출하였다. 10AC의 산출근거는 「2001 일반 국도 포장관리시스템, 건설교통부」를 참조하였다. 아스팔트 덧씌우기 두께가 10cm 이상일 때 많은 경우는 노면 절삭을 시행하나 본 공법에서는 고려치 않았다.

유지보수 종류의 경우 중·신·콘 대한 정확한 공용성 연구결과가 미흡하므로 시공형태가 유사한 일반 콘크리트 포장의 유지보수 공법인 단면 보수를 고려하였고 단면 보수는 전체 구간의 20% 정도 진행된다고 가정 하에 산출하였다. 10AC의 경우 일반적으로 국내 적용되는 상시유지보수 및 패킹과 5cm 덧씌우기 공법에 대한 보수 비용을 산출하였다.

사용자 비용은 공용수명 동안에 이를 이용하는 사람들에 의해 발생하게 되는 비용을 말하는 것으로 차량 운행 비용(vehicle operating costs), 사용자 지체 비용(user delay costs), 사고 비용(crash costs)의 세 가지 항목으로 구성된다. 사고 비용은 각 대안에 대해 유사할 것으로 판단되어 각 대안에 대해 차량 운행비용과 운행지연 비용만을 고려하여 사용자 비용을 산정하였다. 총 사용자 비용을 구하는 수식은 「98교량관리체계



개선에 관한 연구, 건설교통부, 1999』에서 제안한 모델을 이용하며, 그 모델의 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{총 사용자 비용} &= \text{차량운행 비용} + \text{운행지연 비용} && \text{(식 3)} \\ &= \sum [\text{차량운행비용단가 } j, (\text{원}/\text{km}) \times w \text{지체거리} (\text{km}) \\ &\quad + \text{시간비용단가 } j, (\text{원}/\text{hr}) \times \text{지체시간} (\text{hr})] \\ &\quad \times \text{평균지체교통량 } j, (\text{대}/\text{원}) \end{aligned}$$

차량운행 비용의 변수로는 연료 소모량, 엔진오일 소모량, 타이어 소모량 등이 있으나 엔진오일 소모량과 타이어 소모량에 대한 영향은 미미할 것으로 판단되어 본 연구에서는 연료 소모량만을 고려한 차종별 연료 소모비를 산정하였다. 운행지연 비용은 운전자의 시간가치와 화물의 시간가치를 나누어서 고려해야 한다. 본 연구에서는 소득접근법을 적용하여 운전자의 시간가치를 산출하였는데 2002년 기준 국내 근로자 월평균 임금은 1,131,621원, 월평균 근로일수 23.9일 『통계청, 2003』, 일일 근로시간 8시간으로 국민 1인의 시간가치는 5,918원으로 산출하였다. 화물의 시간가치는 『화물 운송의 시간가치 산정에 관한 연구, 오해연, 2000』에서 제시한 전체 품목의 시간가치인 1,285원/t·hr을 결정하였다.

다음 <표 1>과 <표 2>는 교통량이 많은 17호 구간에서 10AC와 두께 10cm 중·신·콘 대안의 사용자 비용을 산출한 결과이며 10AC의 사용자비용이 높은 원인은 일반 국도 17호선 구간의 교통량 중화물을 운송하는 중차량 비율이 높았기 때문이다.

<표 1> 10AC의 사용자 비용 산출 결과

공 종	보수회수 (20년)	보수일수 (일)	1회 보수에 따른 사용자 비용(원)	사용자 비용(원)	
				불변가격	할인가격
상시유지보수 및 패칭	10	0.42	5,953,725	59,537,249	40,456,532
5AC	4	1.13	28,477,087	113,908,249	77,402,581
10AC	1	1.17	28,477,087	28,477,087	19,350,645
합계				201,922,683	137,209,758

<표 2> 중·신·콘의 사용자 비용 산출 결과

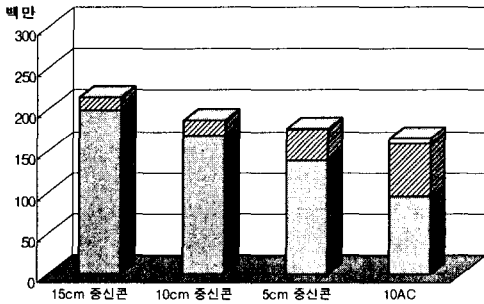
공 종	보수회수 (20년)	보수일수 (일)	1회 보수에 따른 사용자 비용(원)	사용자 비용(원)	
				불변가격	할인가격
단면보수	1	0.54	13,861,134	13,861,134	9,418,867
중신콘(10cm)	1	1.25	41,486,050	41,486,050	28,190,448
합계				55,347,184	37,609,315

5. LCC 분석 결과

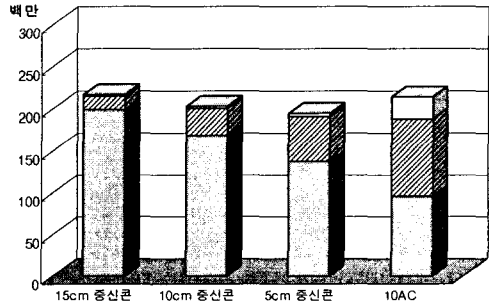
교통량 변화에 따른 15, 10, 5cm 두께의 중·신·콘 공법과 10AC 공법의 각 항목별 비용은 다음 <그림 2>와 같다. 분석기간 20년 동안 경제성 분석 결과, 초기비용은 중·신·콘 공법이 2~3배정도 높았지만 유지 보수비용 및 사용자 비용이 10AC 공법에 비해 매우 낮아서 교통량이 많은 경우 15cm 두께의 중·신·콘 공법은 10AC 공법에 비해 50%의 비용 절감 효과를 나타내는 것으로 분석되었다. 이 경우, 15cm 두께의 중·신·콘 공법이 가장 경제적으로 분석되었지만 10cm 두께의 중·신·콘 공법과 근소한 차이를 보였다. 또한



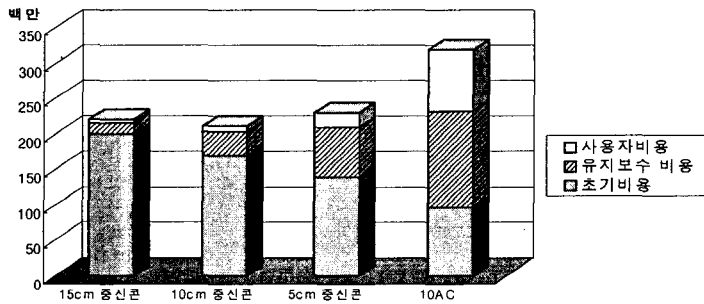
교통량이 보통인 경우에서도 10AC 공법에 비해 미세하지만 경제적 우위에 있는 것으로 분석되었다. 그러나 교통량이 적은 경우는 유지 보수 비용 및 사용자 비용의 감소로 10AC 공법이 다소 경제적인 것으로 나타났다. 이 결과는 중차량 통행이 많은 도로의 경우, 10AC 공법이 반복적인 러팅을 유발함으로써 공용수명이 짧아지고 반면에 중·신·콘 공법은 러팅 발생이 없으며 균열이 발생한 구간에 대해서만 보수가 이루어져 장기적인 관점에서 볼 때 경제적으로 우위에 있다는 것을 증명하는 것이다. 따라서 중차량 비율에 따라 다소 차이가 있겠지만 교통량이 보통 이상인 도로에서는 중·신·콘 공법 적용이 가능하다고 판단된다.



a) 교통량이 적은 경우



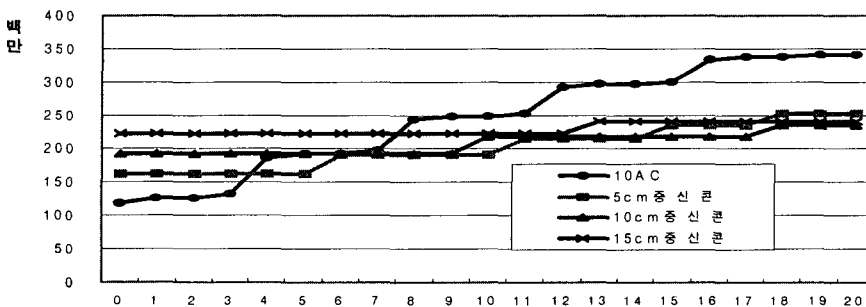
b) 교통량이 보통인 경우



c) 교통량이 많은 경우

<그림 2> 대안별 생애 주기 비용

<그림 3>는 교통량이 많은 구간에서 각 대안이 공용 년수가 지남에 따라 소요된 누적 비용을 나타낸 것이다. 모든 중·신·콘 공법이 공용 4~6년 후부터 경제적으로 크게 우위를 나타냈는데 이는 10AC 공법이 유지비용과 사용자비용으로 인해 총비용이 급격히 증가했기 때문이다.



<그림 3> 교통량이 많을 경우 대안별 누적 생애 주기 비용



6. 요약 및 고찰

본 연구에서는 각 대안에 사용되는 LCC의 항목별 산출방법을 제시하였다. 고려한 비용항목은 초기 건설 비용, 유지보수비용과 사용자 비용이며, 그 중 사용자 비용은 사람과 차량의 시간가치를 적용하여 산정하였다. 분석 결과 중·신·콘 공법의 초기비용은 10AC 공법에 비해 약 2~3배 높았지만 유지보수비용 및 사용자 비용이 매우 낮았다. 따라서 교통량이 많은 경우 15cm 두께의 중·신·콘 공법은 10AC 공법에 비해 50%의 비용 절감 효과를 나타내 중·신·콘 공법의 경제적 타당성이 입증되었다. 15cm 두께의 중·신·콘 공법이 가장 경제적이지만 10cm 두께의 중·신·콘 공법과 큰 비용 차이를 나타내진 않았다. 교통량이 적은 경우는 10AC 공법이 다소 경제적으로 나타났지만 교통량이 보통인 경우에는 중·신·콘 공법이 미미하지만 경제적으로 나타났다. 따라서 중차량 비율에 따라 다소 차이가 있겠지만 교통량이 보통 이상인 도로에서는 중·신·콘 공법의 적용이 가능하다고 판단된다. 그러나 국내·외로 중·신·콘의 공용수명에 도달한 사례가 아직 없어서 현재까지 국외 시험시공 사례를 근거로 공학적 판단에 의해 공용성을 예측할 수밖에 없었다. 따라서 향후 중·신·콘에 대한 공용성 자료가 더욱 축적될 경우 보다 신뢰도 높은 분석이 가능할 것이다.

참고 문헌

1. 건설교통부 (2002), 2001 도로포장 관리시스템
2. 건설교통부 (2003), 2002 도로포장 관리시스템
3. 이석범 (2002), 생애주기비용을 고려한 도로포장 보수공법 경제성분석 방안, 석사 학위논문, 중앙대학교
4. 권석현 (2000), LCC 기법에 의한 도로포장형식의 경제성 분석에 관한 연구, 석사 학위논문, 중앙대학교
5. 오해연, "화물운송의 시간가치 산정에 관한 연구", 한양대학교 석사학위 논문, 2000
6. 국토개발연구원, "고속도로 사업효과조사", 1995
7. Jamshid M. Armaghni, "Rehabilitation of Ellaville Weigh station with Ultra-Thin Whitetopping", Transportation Research Record, 1654, 1999
8. American Concrete Pavement Association, "Repair of Ultra-Thin Whitetopping", ACPA, 2000