



도로 포장의 초기상태에 따른 공사비 차등지급규정의 시험적용

Application of Pay Adjustment Regulation for Highway Flexible Pavements

서 영 국*
Seo, Youngguk

Abstract

Recently, pay adjustment regulation (PAR) has been developed to induce better performing road pavements around the country. This regulation was successfully applied during rehabilitation of highway flexible pavements for the first time, and their results are the focus of this paper. For highway pavements, a lot has been defined by typical amount of works a day. This lot was further divided into several sublots depending on field conditions. According to AASHTO Quality Assurance Guide Specification, pay factors for each lot were statistically determined with field measurements of five performance indicators. And composite pay factors were calculated by accounting for the impact of individual performance indicators on a long-term performance of pavement. In 2008, the PAR was tested with asphalt overlays conducted at all six local headquarters of Korea Expressway Corporation. Also, concerns raised during implementation are discussed in this paper. Limited data used in this study showed that if all performance indicators fall within the construction limits with less variances final construction costs may increase by 50%, whereas 10% reduction in construction costs could be necessary if key performance indicators such as density do not meet the construction quality requirements.

Keywords : pay factor, lot, subplot, performance, pavement

요 지

본 논문에서는 도로포장의 성능개선을 유도하기 위한 제도적 수단인 공사비 차등지급규정(지불규정)을 제시하고 이를 고속도로 아스팔트 포장 공사에 처음으로 적용한 결과를 다루고 있다. 지불규정을 적용하기 위한 단위구간(lot)은 덧씌우기 포장의 일평균 시공연장으로 정의하였다. 단위구간은 다시 포장의 초기상태 평가를 위한 최소 단위인 세부단위구간(sublot)으로 나누었으며, 세부단위구간에서 측정된 품질항목의 평균과 표준편차를 이용하여 단위구간을 대표하는 품질항목별 지불계수(pay factor)를 산정하였다. 마지막으로, 각각의 품질항목이 포장의 중장기 공용성에 미치는 상대적 영향을 고려하여 합성지불계수를 결정하였다. 본 연구에서 제시한 지불규정은 2008년에 한국도로공사 6개 지역본부(충청, 호남, 경북, 경남, 경인, 강원)에서 시행된 아스팔트 덧씌우기 포장공사에 적용하였으며, 이 과정에서 제기된 고려사항 및 문제점을 정리하였다. 결론적으로, 품질항목에 대한 평가결과가 품질관리한계를 만족하는 경우에는 기존 공사비 대비 최대 50% 가까이 인센티브 지급이 가능함을 알 수 있었다. 반면에, 다짐도와 같은 주요 성능관련 품질이 낮을 경우 기존 공사비 대비 최대 10% 가까이 공사비 감액도 있을 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 지불계수, 단위구간, 세부단위구간, 공용성, 도로포장

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail: seoyg89@ex.co.kr)



1. 서론

1.1 연구배경

최근 우리나라의 도로포장은 고급재료의 적용과 시공기술의 개선에도 불구하고 조기파손과 같은 급격한 성능저하를 보이고 있다. 이와 같은 현상에는 여러 가지 원인이 있겠지만 품질관리를 위한 감독인력의 부족도 그 중 하나로 지목되고 있다. 이를 해결하기 위한 제도적 수단으로 선진국에서는 성능중심의 시방기준을 개발하여 도로포장의 품질향상에 적극적으로 활용하고 있다. 이와 같은 성능 시방서는 기존의 재료 및 공법 시방서의 운영에 필요한 감독자의 역할을 최소화할 수 있다. 또한, 성능 시방서는 요구되는 성능(공용성)에 대해서만 명시하기 때문에 시공자가 포장의 성능개선에 필요한 요소를 자발적으로 도입할 수도 있다. 현재 건설교통 R&D 정책인 프라 사업의 일환으로 개발 중인 성능보증시방서는 국내에서 처음으로 시도되는 성능 시방서의 대표적인 예이다. 성능 시방서가 주로 포장의 중장기 공용성 유지가 목적이라면, 시공시 품질개선 유도를 위한 제도로 지불규정이 있다. 지불규정은 품질보증제도의 한 형태로 포장 준공시 주요 품질항목의 초기값을 근거로 공사비를 가감하여 지급하는 것으로 포장의 초기 품질이 공용성과 밀접한 관련이 있음을 전제로 한다. 실제로 김영수 외 3인(2008)은 미국 North Carolina 주(州) 도로국의 지불규정을 피로파괴시험과 소성변형시험과 같은 공용성 평가 시험을 통하여 검증함으로써 지불규정에 명시된 각 품질항목의 관리한계를 포장의 공용성과 연관지어 개발할 수 있음을 보였다. 우리나라의 지불규정은 시공사의 자발적인 품질 개선을 유도하기 위하여 기존의 재료 및 공법중심의 시방기준에 품질보증시방서를 접목하는 다소 초보적인 형식을 취하고 있다. 김성민 외 2인(2008)은 콘크리트 포장의 지불규정을 개발하기 위한 선행연구를 실시하였다. 이 연구에서 콘크리트 슬래브의 두께와 휨강도를 지불계수 결정에 필요한 품

질항목으로 제안하고 있다. 아울러, 시방한계 내 백분율(percent within limit, PWL)의 결정을 위한 다양한 통계지수가 지불계수에 미치는 영향도 검토하였다. 그러나 이 연구의 결과를 아직 국내 현장에 적용한 사례는 없다.

1.2 연구목표

본 연구는 고속도로 아스팔트 포장에 적용할 수 있는 지불규정을 국내에서는 처음으로 제안하고, 이를 덧씌우기 포장공사에 적용하여 그 효과와 함께 적용 과정에서 고려되어야 하는 사항을 검토하고자 한다. 이를 위하여 우선 아스팔트 포장의 중장기 공용성에 영향을 미치는 품질항목과 각각의 시방한계를 제시하였다. 각 품질항목별로 품질지수를 통계적 방법으로 결정하고 공사비 차등지급을 위한 지불계수를 산정하였다. 또한, 본 연구에서 제시한 지불규정을 지난 2008년에 한국도로공사에서 시행한 덧씌우기 공사에 시험 적용하여, 제도 적용 전후의 공사비 변경 현황을 분석하고 제도 적용에 필요한 사항을 기술하였다.

2. 지불규정

2.1 품질항목과 품질관리한계

아스팔트 포장의 공용 중 성능에 영향을 미치는 인자는 크게 교통하중이나 환경변화와 같은 외부적 요인과 포장의 구조 및 재료와 같은 내부적 요인으로 구분할 수 있다. 특히, 내부적 요인 중에서 아스팔트 함량, 입도, 두께, 평탄성, 그리고 밀도(혹은 다짐도)는 도로포장의 수명에 미치는 영향이 크기 때문에 성능과 관련된 품질항목으로 정의하여 비교적 엄격한 품질관리를 실시하고 있다. 고속도로 포장의 경우 각각의 품질항목의 관리한계는 현재 고속도로공사 전문시방서, 품질관리 실무매뉴얼, 공사현장 품질관리 실무 등에 자세하게 규정되어 있다. 표 1은 본 연구

에서 제시한 품질항목과 각 항목별 시방한계이다. 하부구조의 품질항목은 본 지불규정에서는 고려하지 않았다. 아스팔트 함량은 배합설계에서 결정된 최적함량을 기준으로 $\pm 0.3\%$ 의 허용오차를 두고 있으며 두께의 경우 설계 두께보다 얇은 대상에 대해서만 관리한계를 적용하였다. 골재의 경우 굵은 골재와 잔골재의 구분이 되는 8번체의 통과량을 기준으로 허용오차 $\pm 4\%$ 를 적용하였다. 평탄성의 경우 7.6m slope profilometer의 측정값(PrI)을 기준으로 확장 및 덧씌우기 포장의 경우에는 16cm/km, 그리고 교량, 램프 및 교량접속부의 경우에는 24cm/km를 관리한계로 정하였다. 다짐 밀도는 SMA포장을 제외하고 상한 96% 하한 92%를 기준으로 하였다. SMA포장은 상한 97% 하한 93%를 기준으로 하였다.

표 1. 지불계수 결정을 위한 품질항목과 시방한계

품질항목	시방한계		
	허용오차	상한	하한
아스팔트 함량(%)	$\pm 0.3\%$	최적함량+0.3%	최적함량-0.3%
두께(cm)	-5%	-	4.75 (5cm 기준)
8번체(2.36mm) 통과 중량 백분율(%)	$\pm 4\%$	현장배합입도+4%	현장배합입도-4%
평탄성(cm/km)	-	16(확장, 덧씌우기) 24(교량, 램프, 교량접속부)	-
밀도(이론최대밀도비%)	-	96(일반 혹은 개질) 97(SMA)	92 93

2.2 지불규정(pay adjustment regulation)의 적용 과정

그림 1은 지불규정을 고속도로 아스팔트 포장 공사에 적용하여 최종 공사비를 산정하기 위한 과정을 보여준다. 시공 후 시료 채취 및 품질평가 시험에서는 각 품질항목의 평가를 위한 과정을 포함한다. 품질관리한계를 적용하기 위한 대상구간은 단위구간(lot)과 세부단위구간(sublot)으로 구분하였다. 고속

도로 재포장 공사의 차로별 일일 평균 시공량이 약 800~1,200m인 점을 감안하여, 1개의 단위구간은 시공량 4,100m²로 폭 4.1m기준으로 연장 1,000m씩으로 구분하였다. 그러나, 교량접속부, 교량, 그리고 아스팔트 혼합물이 다르게 적용되는 구간 등 성능 기준, 재료규격, 시공단가가 상이한 구간은 별도의 단위구간으로 선정하였다. 전 공정을 4,100m²마다 분할한 후에 잔여 공사량이 2,000m² 이상이면 별도의 단위구간으로, 2,000m² 미만일 경우 전단계의 마지막 단위구간에 포함시켰다. 단, 재료가 다른 아스팔트 혼합물의 동시포설은 없는 것으로 가정하였다.

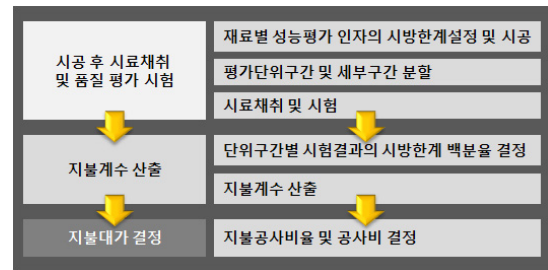


그림 1. 지불규정 적용 과정

각 단위구간은 다시 820m²(폭 4.1m기준 200m)씩 세부단위구간으로 분할하였다. 각 세부단위구간에는 약 100톤의 혼합물이 소요되었다. 1개 단위구간이 820m² 이하 시 1개의 세부단위구간으로 결정하였고 1개의 단위구간을 820m²/1차로 분할한 후 남은 잔여량이 410m² 이상이면 별도의 세부단위구간으로, 410m²가 안될 경우에는 전단계의 마지막 세부단위구간에 포함하였다. 1개의 단위구간에서 세부단위구간은 최소 3개 이상이 되도록 결정하였다. 각 세부단위구간별 품질항목의 평가결과 및 시공한계 만족 여부는 감독입회 조건에서 시공자가 분석하였다. 혼합물의 포설 후 다짐 전에 입도 시험을 하고 현장 다짐이 완료된 직후에 평탄성 측정과 함께 시료채취를 실시하여 아스팔트 함량, 밀도, 두께를 검사하였다. 시료채취의 위치 및 방법은 각각 KS A 3153 및 KS F 2350에 준하였다. 일반적으로 시료채취량은 굵은 골재 최대치수에 따라 결정하되 다져지지 않



은 혼합물의 경우 4kg 이상, 코어는 4개 이상 추출을 원칙으로 하였다.

본 연구에서 제안한 지불계수의 산출은 근본적으로 PWL 개념에 바탕을 두고 있다. 이 방법은 지불규정에 제시된 각 품질항목의 측정값에 따른 시방한계를 설정하고, 시방한계 내에 있는 측정값의 백분율에 따라 지불계수를 결정하는 통계적 방법이다. 구체적으로 PWL은 1개의 단위 구간의 시방한계 내에 있는 각각의 품질항목의 평균값이 표준 정규분포에서 갖는 확률분포 값이다. 이를 산출하기 위하여 세부단위구간의 품질항목의 평균값을 이용 1개 단위구간의 평균 \bar{X} 과 표준편차 S 를 다음 식 (1)과 같이 계산한다.

$$\bar{X} = \frac{\sum_1^n X_i}{n} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1)$$

여기서, \bar{X} 는 각 단위구간의 품질항목별 평균, S 는 표준편차, n 은 1개 단위구간 내에 세부단위구간 수, 그리고 X_i 는 세부단위구간의 품질항목별 평균에서 품질지수를 제외한 값이다. 단, 평균과 표준편차는 각각 소수 둘째, 그리고 소수 셋째 까지 구한다. 이를 바탕으로 상한 품질지수 Q_u 와 하한 품질지수 Q_L 품질지수를 다음 식 (2)와 식 (3)에 의해서 구한다.

$$Q_u = \frac{USL - \bar{X}}{s} \quad (2)$$

$$Q_L = \frac{\bar{X} - LSL}{s} \quad (3)$$

여기서, USL 과 LSL 은 각 품질항목의 시방상한과 시방하한 값이다. 각 세부단위구간의 수(n)에 따른 Q_u , Q_L 값을 이용해 시방한계 내에 상한 확률분포 백분율($UPWL$)과 시방한계 내에 하한 확률분포 백분율($LPWL$)을 각각 산출한 다음 $TPWL$ 을 식 (4)로부터 구한다.

$$TPWL(\text{Total percentage within Limit}) = (UPWL + LPWL) - 100 \quad (4)$$

본 연구에서는 각 단위구간의 수에 따른 품질지수 (Q_u 혹은 Q_L)와 $UPWL$ 혹은 $LPWL$ 과의 관계는 South Carolina 주(州)의 것을 적용하였다(Burati et al, 2002). 아쉽게도 국내에는 이와 관련된 정보가 존재하지 않았기 때문이며, 향후 관련 자료 수집이 필요할 것이다. 품질항목 중에서 평탄성은 USL에 따른 Q_u 를 산출하여 $UPWL$ 을 $TPWL$ 로 사용하고 두께는 LSL에 따른 Q_L 를 산출하여 $LPWL$ 을 $TPWL$ 로 사용한다. 지불계수는 AASHTO의 품질보증시방서(Quality Assurance Guide Specification, 1996)에서 제시하는 식 (5)을 이용하여 산출한다.

$$PF = 55 + 0.5 \times TPWL \quad (5)$$

각 단위구간의 최종 공사비는 식 (6)에 정의된 복합지불계수(Composite Pay Factor, CPF)에 시공 단위 도급단가와 도급잡비를 고려하여 결정할 수 있다. 여기서 포장수명에 미치는 품질항목별 중요도에 따른 가중치를 반영하는데, 밀도의 가중치가 가장 크고 평탄성이 가장 작다. 최종 공사비는 포장품질에 영향을 미치는 절삭, 청소, 코팅, 방수, 재료비, 포설, 다짐 등을 포함하고 있다.

$$CPF = [(0.25 \times \text{함량 } PF) + (0.15 \times \text{입도 } PF) + (0.20 \times \text{두께 } PF) + (0.10 \times \text{평탄성 } PF) + (0.30 \times \text{밀도 } PF)] \quad (6)$$

3. 시험적용

본 연구에서는 지불규정을 이용한 공사비의 산정과 지불규정의 제도화에 따르는 시공자와 발주자의 사전에 고려해야 하는 사항 등을 검토할 목적으로 한국도로공사의 6개 전 지역본부(충청, 호남, 경북, 경남, 경인, 강원)에서 관할하는 고속도로 아스팔트 포장 덧씌우기 공사에 지불규정을 처음으로 적용하였다. 적용 대상은 2007년 9월에서 10월 중에 각 지역



본부에서 수행한 아스팔트 재포장 공사이며 가능하면 10일 정도의 작업이 수행된 지역을 대상으로 하였다. 또한, 원칙적으로 표층공사에 대해서만 적용하고 표층이 2층(동일 또는 다른 규격)으로 포설된 경우 상부층 시험결과를 공통으로 적용하기로 하였다. 또한, 지불규정 적용 전후의 총 공사비 변화도 분석하였다. 단, 본 시험적용의 모든 절차는 기준대로 시행하되 실재 공사비에는 변화가 없는 가상 적용으로 하였다. 본 시험적용은 지역별 포장의 시공 순위를 매기거나, 포장 종류에 따른 품질 등급을 정의하는 것은 목적으로 하지 않았다.

4. 시공결과

4.1 지역본부 A(Local Headquarter-A, LH-A)

대상 포장구간이 많지 않아서 총 2일 분량의 재포장 공사가 시행되었다. 1일차에는 토공부(13mm 개질아스팔트) 5,000m²를 시공하였으며 2일차에는 토공부(20mm 개질아스팔트) 2,900m²와 교량부(13mm SMA) 800m²를 시공하였다. 분석을 위한 단위구간은 일반적으로 1일 공사 구간과 같다. 하지만, LH-A에는 2일차 공사에서 시공특성이 다른 교면포장과 토공부 포장을 분리하여 총 3개의 단위구간으로 구성하였다. 모든 품질항목의 측정은 세부단위구간에 대하여 실시하였다. 아스팔트 함량의 경우 3개의 다른 아스팔트 혼합물에 대하여 단위구간별로 최적아스팔트 함량인 5.7%(1일차 토공부), 5.8%(2일차 토공부), 그리고 6.7%(2일차 교량부)가 품질기준으로 사용되었다. 8번째 통과량의 경우도 3개의 단위구간별로 서로 다른 품질기준에 제시되었다. 포장 두께는 모두 하한기준(4.75cm)을 만족하였다. 평탄성의 경우 계측결과의 표준편차가 다른 품질항목의 측정값에 비하여 크지만 모두 시방기준을 만족하고 있다. 마지막으로, 아스팔트 포장 성능에 매우 큰 영향을 미치는

다짐도의 경우 상, 하한 기준을 초과한 측정결과는 존재하지 않았다. 이와 같이 모든 품질항목에 대하여 측정값은 시방한계를 만족하였으며, 세부단위구간에서 측정한 결과에 대하여 단위구간별 평균과 표준편차는 표 2와 같다.

표 2. 각 품질항목 측정값의 단위구간에 대한 평균과 표준편차 (LH-A)

단위구간	시공 품질	아스팔트 함량	입도	두께	평탄성	다짐도
1 (13mm개질)	평균	5.67	38.73	5.02	10.33	94.7
	표준편차	0.136	1.885	0.172	3.777	0.965
2 (20mm개질)	평균	5.71	36.90	5.05	10.75	94.40
	표준편차	0.145	1.543	0.129	3.304	0.938
2 (13mmSMA)	평균	6.10	17.53	5.07	19.33	95.83
	표준편차	0.100	0.551	0.153	4.041	0.764

4.2 지역본부 B(LH-B)

총 10일의 공사분량(약 14,557m²)에 대하여 결과를 분석하였다. 모두 교면 포장 공사이며 13mm 개질아스팔트 11,401m²와 10mm PSMA 3,156m²를 시공하였다. PSMA는 단위구간 1에만 적용하였다. 세부단위구간의 수는 단위구간 1과 10은 4개이고 나머지 단위구간은 모두 3개의 세부단위구간으로 구성하였다. 최적 아스팔트 함량은 PSMA가 6.6% 그리고 개질아스팔트가 5.7%이며 평균 측정값으로 PSMA는 6.5% 그리고 개질아스팔트는 5.4%로 세부단위구간의 개별 측정값은 모두 시방한계 내에 존재하였다. 8번째 통과량의 경우, SMA 혼합물은 평균 22.6%, 개질아스팔트의 평균(38.8%)은 시방한계(38.3%)와 유사하였고 측정결과는 시방한계를 벗어나지 않았다. 포장 두께는 대부분 시공기준인 5cm보다 두껍게 시공되었으며, 평탄성은 시공기준인 24cm/km를 초과하는 경우도 다수 조사되었다. 다짐도는 SMA 포장의 경우 상, 하한 기준을 초과한 측정결과는 존재하지 않았으나 개질아스팔트는 일부



단위구간에서 모든 측정값이 하한 기준을 만족하지 못하거나, 필요 이상의 다짐(97.1%)이 존재하기도 하였다. 단위구간별로 측정값의 평균과 표준편차는 표 3과 같다.

표 3. 각 품질항목 측정값의 단위구간에 대한 평균과 표준편차 (LH-B)

단위구간	시공 품질	아스팔트 함량	입도	두께	평탄성	다짐도
1 (10mmPSMA)	평균	6.54	22.68	5.43	20.75	94.40
	표준편차	0.149	0.99	0.10	4.35	0.74
2 (13mm개질)	평균	5.28	39.93	5.49	20.00	94.60
	표준편차	0.180	1.250	0.166	4.359	0.458
3 (13mm개질)	평균	5.50	39.93	5.98	27.00	95.27
	표준편차	0.166	0.586	0.130	2.646	0.850
4 (13mm개질)	평균	5.46	38.67	5.90	27.33	92.97
	표준편차	0.120	1.501	0.329	4.163	0.503
5 (13mm개질)	평균	5.43	37.10	5.60	24.33	96.17
	표준편차	0.078	1.609	0.061	6.028	0.814
6 (13mm개질)	평균	5.37	38.50	5.51	26.00	92.43
	표준편차	0.167	3.231	0.106	-	0.635
7 (13mm개질)	평균	5.51	38.50	5.33	29.33	93.30
	표준편차	0.142	1.752	0.430	-	1.015
8 (13mm개질)	평균	5.39	39.87	5.24	20.33	91.63
	표준편차	0.151	1.193	0.450	4.726	0.115
9 (13mm개질)	평균	5.33	38.40	5.61	25.33	92.83
	표준편차	0.057	2.433	0.313	8.083	0.252
10 (13mm개질)	평균	5.42	38.88	5.33	19.50	94.45
	표준편차	0.134	2.155	0.063	3.416	1.250

4.3 지역본부 C(LH-C)

총 10일의 공사분량(약 36,033m²)에 대하여 결과를 분석하였다. 모두 토공부 덧씌우기 포장공사이며 13mm SMA 24,913m²와 13mm LDPE(Low-Density Polyethylene) 11,120m²가 시공되었다. 표 4는 각 세부단위구간에서 측정한 주요 품질항목의 단위구간별 평균과 표준편차를 각각 보여주고 있다. LH-C의 특징은 LH-A와 LH-B에 비하여 모든

품질항목의 측정값의 표준편차가 크다는 것이다. 예를 들면, 아스팔트 함량의 최대 표준편차는 LH-A는 0.14 LH-B는 0.16이지만, LH-C에서는 SMA는 0.309 그리고 LDPE는 0.295였다. 평탄성의 경우에는 거의 0cm/km에 가까운 세부단위구간도 존재하였으나 각 단위구간 내에서 측정값의 표준편차가 6.72~8.4로 비교적 크다.

표 4. 각 품질항목 측정값의 단위구간에 대한 평균과 표준편차 (LH-C)

단위구간	시공 품질	아스팔트 함량	입도	두께	평탄성	다짐도
1 (13mmSMA)	평균	6.24	21.70	5.00	10.15	94.98
	표준편차	0.176	4.159	0.216	6.720	2.108
2 (13mmSMA)	평균	6.36	20.38	4.96	8.28	94.58
	표준편차	0.252	3.144	0.207	6.983	1.677
3 (13mmSMA)	평균	6.27	20.60	4.93	10.53	94.37
	표준편차	0.273	4.078	0.231	8.088	1.767
4 (13mmSMA)	평균	6.35	21.06	4.94	7.64	94.28
	표준편차	0.261	3.972	0.219	7.229	1.308
5 (13mmSMA)	평균	6.28	21.70	5.00	8.13	94.73
	표준편차	0.244	4.331	0.231	8.241	1.775
6 (13mmSMA)	평균	6.33	22.46	4.96	7.00	94.40
	표준편차	0.245	3.981	0.207	7.774	1.603
7 (13mmSMA)	평균	6.21	20.23	5.03	5.90	94.60
	표준편차	0.309	3.785	0.252	8.404	1.778
8 (13mmLDPE)	평균	5.19	33.15	4.93	9.73	93.15
	표준편차	0.295	3.985	0.189	6.723	1.509
9 (13mmLDPE)	평균	5.08	34.02	4.94	9.64	93.00
	표준편차	0.214	3.309	0.207	7.434	1.251
10 (13mmLDPE)	평균	5.08	32.23	4.93	9.50	93.18
	표준편차	0.247	3.080	0.189	6.849	1.367

4.4 지역본부 D(LH-D)

총 8일의 공사분량(약 29,028m²)에 대하여 결과를 분석하였다. 모두 토공부 덧씌우기 포장공사이며 개질아스팔트 혼합물인 19mm PBSC(Polymer Bitumen Stabilizer with Cellulose Fiber)가 사용



되었다. 대부분의 품질항목과 유사하게 8번째 통과량의 경우도 시공품질이 모든 상, 하한 한계를 만족하지만 대부분 상한 기준에 근접한 결과를 보였다. 다짐도는 측정값의 편차는 다른 지역본부에 비하여 작았으나, 대부분이 상한 품질기준인 96%를 상회하고 있었다. 표 5는 각 세부단위구간에서 측정한 주요 품질항목의 단위구간별 평균과 표준편차를 각각 보여주고 있다.

표 5. 각 품질항목 측정값의 단위구간에 대한 평균과 표준편차 (LH-D)

단위구간	시공 품질	아스팔트 함량	입도	두께	평탄성	다짐도
1 (19mmPBSC)	평균	5.21	34.17	5.00	8.63	96.93
	표준편차	0.015	0.115	0.100	3.953	0.231
2 (19mmPBSC)	평균	5.22	34.20	5.08	9.38	97.03
	표준편차	0.045	4.432	0.150	5.845	4.457
3 (19mmPBSC)	평균	5.18	34.70	5.08	12.05	97.00
	표준편차	0.054	0.183	0.096	3.831	0.231
4 (19mmPBSC)	평균	5.19	34.08	5.00	9.36	96.92
	표준편차	0.038	0.390	0.071	4.257	0.676
5 (19mmPBSC)	평균	5.21	33.74	5.00	10.10	96.52
	표준편차	0.025	0.462	0.071	4.534	0.205
6 (19mmPBSC)	평균	5.22	34.20	5.10	9.74	96.44
	표준편차	0.053	0.784	0.141	4.216	0.321
7 (19mmPBSC)	평균	5.21	34.54	5.06	7.82	97.02
	표준편차	0.027	0.336	0.195	4.701	0.319
8 (19mmPBSC)	평균	5.18	34.14	4.98	11.28	96.48
	표준편차	0.057	0.631	0.110	1.821	0.192

4.5 지역본부 E(LH-E)

총 10일의 공사분량(약 35,492m²)에 대하여 결과를 분석하였다. 모두 교량부 덧씌우기 포장공사이며, 모두 PSMA(10mm)가 사용되었다. 각 단위구간에서 두 가지 서로 다른 포장두께(4cm와 5cm)가 적용되었다. 단위구간에 대한 각 품질항목별 측정값은 표 6과 같다. 각 단위구간별 시공품질은 각 두께별로 구분하여 정리하였다. 두께조건이 매 단위구간별로 달랐음

표 6. 각 품질항목 측정값의 단위구간에 대한 평균과 표준편차 (LH-E)

단위구간	시공 품질	아스팔트 함량	입도	두께	평탄성	다짐도
1 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.10	22.68	3.88	15.78	95.50
	표준편차	0.032	0.936	0.062	4.328	0.356
1 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.11	22.57	5.13	15.10	95.53
	표준편차	0.029	0.451	0.015	4.015	0.231
2 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.11	22.73	3.92	12.73	95.67
	표준편차	0.026	0.981	0.087	0.666	0.289
2 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.05	21.83	5.06	11.30	95.50
	표준편차	0.036	0.618	0.111	1.383	0.216
3 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.09	22.77	4.12	16.13	95.63
	표준편차	0.047	0.651	0.006	4.875	0.115
3 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.06	22.77	4.12	12.30	95.63
	표준편차	0.040	0.651	0.006	3.092	0.115
4 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.09	22.38	5.07	13.68	95.63
	표준편차	0.024	0.741	0.069	1.688	0.299
5 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.07	22.30	5.05	12.70	95.93
	표준편차	0.032	0.455	0.113	0.872	0.206
6 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.10	23.30	3.84	12.67	95.53
	표준편차	0.055	0.173	0.038	1.350	0.252
6 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.04	22.67	5.08	10.23	95.50
	표준편차	0.006	1.457	0.081	0.503	0.173
7 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.13	22.47	4.02	12.00	95.70
	표준편차	0.042	1.115	0.087	0.700	0.173
7 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.08	22.45	5.09	13.28	95.43
	표준편차	0.068	0.580	0.077	4.818	0.222
8 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.05	23.00	3.92	13.63	95.33
	표준편차	0.038	0.529	0.154	5.859	0.153
8 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.09	22.10	5.14	10.00	95.73
	표준편차	0.055	1.562	0.015	0.015	0.208
9 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.06	22.20	4.07	9.57	95.37
	표준편차	0.084	1.229	0.087	1.026	0.153
9 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.08	22.23	5.12	15.33	95.40
	표준편차	0.064	0.551	0.006	0.603	0.100
10 (10mmPSMA/4cm)	평균	7.07	22.40	4.08	15.37	95.47
	표준편차	0.032	0.721	0.031	6.358	0.058
10 (10mmPSMA/5cm)	평균	7.08	21.93	5.04	13.77	95.43
	표준편차	0.023	0.666	0.075	1.361	0.115



에도 불구하고 다른 교면포장 구간인 LH-B에 비하여 평탄성의 품질은 매우 우수하며 다짐도의 경우도 상한기준에 밀집되어 있으며 품질 편차도 거의 없었다. 특히, 각 단위구간에서 5cm 두께의 포장의 경우 모든 품질항목이 기준을 만족하였고, 각 측정값의 표준편차도 4cm 포장 구간에 비하여 대체로 작았다.

4.6 지역본부 F(LH-F)

총 10일의 공사분량(약 35,492m²)에 대하여 시공결과를 분석하였다. 모두 교량부 덧씌우기 포장공사이며 개질 혼합물인 SBS, PBSC, 그리고 PELA가 사용되었으며, 각 혼합물에서는 모두 13mm 골재가 최대 입경으로 사용되었다. 표 7은 각각의 품질항목에 대한 시공결과를 바탕으로 분석한 평균과 표준편차이다.

표 7. 품질항목 측정값의 단위구간에 대한 평균과 표준편차 (LH-F)

단위구간	시공 품질	아스팔트 합량	입도	두께	평탄성	다짐도
1 (13mmPBSC)	평균	5.51	39.15	4.98	9.50	94.08
	표준편차	0.115	0.520	0.171	1.291	1.153
2 (13mmPELA)	평균	5.15	30.08	4.95	8.25	95.20
	표준편차	0.160	0.479	0.129	1.708	0.762
3 (13mmPBSC)	평균	5.43	39.30	5.00	7.33	95.33
	표준편차	0.101	0.608	0.100	2.082	0.586
4 (13mmSBS)	평균	5.47	33.24	5.00	8.60	93.68
	표준편차	0.133	0.680	0.100	1.342	0.795
5 (13mmSBS)	평균	5.40	33.55	5.03	8.50	94.15
	표준편차	0.096	0.208	0.096	2.646	1.555
6 (13mmSBS)	평균	5.41	33.36	4.98	9.80	93.98
	표준편차	0.145	0.195	0.084	1.483	1.176
7 (13mmSBS)	평균	5.44	32.60	5.00	9.00	93.67
	표준편차	0.096	0.436	0.100	1.000	1.007
8 (13mmSBS)	평균	5.37	32.57	4.90	9.67	95.37
	표준편차	0.172	0.153	0.100	0.577	0.603
9 (13mmSBS)	평균	5.43	32.26	4.98	9.80	93.68
	표준편차	0.140	0.879	0.110	1.643	1.260
10 (13mmSBS)	평균	5.42	32.00	4.98	7.60	94.24
	표준편차	0.146	0.925	0.148	1.140	1.767

5. 지불계수와 공사비 산출

그림 2는 각 단위구간별 복합지불계수(CPF)를 모든 지역본부에서 산출한 결과를 보여준다. 두께와 평탄성의 경우 각각 하한기준과 상한기준만을 고려하여 PWL과 TPWL을 결정하고 이를 근거로 복합지불계수를 산출하였다. 전반적으로 품질항목별 측정 결과가 시방한계를 만족한다 하더라도 측정값의 분산이 크면 각 품질항목의 지불계수에 부정적인 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다.

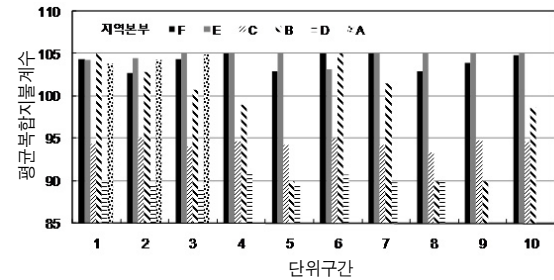


그림 2. 단위구간별 각 지역본부의 복합지불계수

LH-B를 제외하고는 단위구간별 복합지불계수의 편차는 크지 않았다. 또한, 대부분의 지역본부에서는 시공 품질이 좋아서 지불규정의 적용에 따른 추가 공사비 지급이 필요하였다. 단, LH-C와 LH-D는 거의 모든 단위구간에서 5% 이상의 공사비 삭감이 필요한 것으로도 분석되었다. 특히, LH-D의 경우 과다 집이 공사비 삭감의 주요 원인으로 지목되었다. LH-E에서는 포장두께가 5cm인 경우, 복합지불계수는 모두 규정에서 제시한 최대값인 105%를 보였기 때문에 그림 2에는 설계두께가 4cm인 단위구간에 대해서만 복합지불계수를 정리하였다.

본 연구에 사용된 단위구간의 수는 총 51개로 이 중에서 토공부 포장은 20개 교량부 포장은 31개로 교면 포장이 상대적으로 많았다. 그림 3은 각 포장 위치별(즉, 토공부와 교면부) 총 지불계수의 평균이다. 총지불계수는 토공부 포장보다는 교면포장에서 크며 토공부 포장은 지불규정을 적용함으로써 전체 공사비가 약 7% 정도 삭감될 수 있음을 보여주고 있

다. 앞서 기술한 바와 같이 LH-C와 LH-D는 전 단위구간이 토공부 포장이다. 그림 2의 결과가 고속도로 포장의 준공 상태를 전적으로 대변할 수는 없으나 본 연구에 사용된 교면 포장의 준공품질이 토공부 포장에 비하여 낮지는 않음을 알 수 있다.

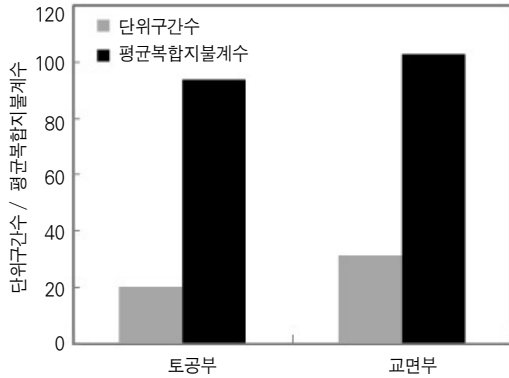


그림 3. 포장 위치에 따른 복합지불계수

그림 4는 지불규정 전후의 공사비 변화로 단위구간이 매우 적은 LH-A를 제외한 나머지 지역본부에 대하여 조사하였다. 총 공사비는 LH-E에서 가장 많이 소요되었으며 LH-B에서 가장 적은 공사비가 소요되었다. LH-E의 공사물량은 LH-C(36,033m²)보다 작고 LH-F(35,492m²)와 같지만, 세부공정의 다양성, 채료수급, 작업시간 등으로 인하여 실 공사비는 두 배 이상 차이가 발생하였다. 본 연구에서는 지불규정을 적용할 경우 시공품질의 저하로 인한 공

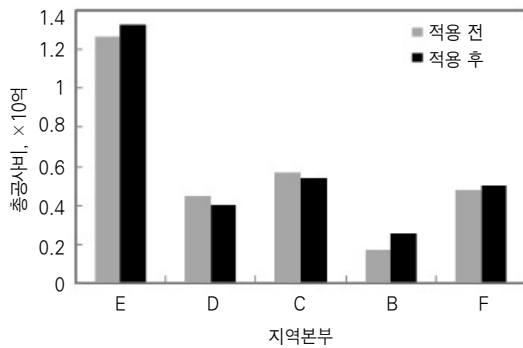


그림 4. 지불규정 전·후의 총 공사비 변화

사비 삭감이 기존 공사비 대비 최대 9.9%(LH-C)가 될 수 있음을 보여주고 있지만, 반면에 시공품질이 좋은 포장에 대한 공사비 증액이 기존공사비 대비 최대 48.9%의 증액(LH-B)도 가능해 시공자에게 인센티브 부여도 기대할 수 있었다.

6. 결론

각 단위구간에서 품질항목별 측정값의 표준편차는 평탄성이 가장 크고 아스팔트 함량이나 두께의 표준편차가 가장 작은 것으로 조사되었다. 국부적으로 추출한 시편에 대하여 측정하는 아스팔트 함량이나 두께와는 다르게 평탄성은 세부단위구간 전체에 대하여 측정한다. 그렇기 때문에 모든 품질항목의 측정값이 시공된 포장의 전 연장에 대한 품질을 대표한다고는 할 수 없다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 제시된 5개의 품질항목 중에서 두께와 아스팔트 함량 그리고 골재 입경은 비교적 시방한계 내에서 품질관리가 잘 되었지만 평탄성은 지역별 품질 편차가 존재하였다. 아울러 다짐과 관련해서는 기준 이상의 다짐(과다짐)이나 다짐 품질의 편차가 목격되었으나 다짐이 덜 되어 문제가 예상되는 구간은 없었다.

본 연구에서 제안하고 있는 지불규정을 국내 환경에 적용하기 위해서는 반드시 해결되어야 하는 문제도 있는 것으로 분석되었다. 우선, 포장 침하구간을 보수할 경우 평탄성에 대한 품질 확보가 어렵기 때문에 지불규정 적용 시 별도의 시공한계가 필요할 것으로 사료되었다. 특히, 교면포장의 경우 평탄성 확보가 어렵고, 소 교량의 경우 신축 이음부의 잦은 발생으로 품질평가에 불리할 수 있다. 또한, 포장 침하구간의 경우 품질평가를 위한 측량비용이 공사비에 반영해야 하고, 전체 포장 면적대비 교량 및 접속부 포장 비율에 따른 할증계수의 도입도 효과적일 것으로 판단되었다. 품질관리 시험 자체로 인한 포장성능 저하도 가능할 수 있음을 예상해야 할 것이다. 세부단위구간별 4개 이상의 시편 채취가 많다는 지적이 있



었다. 교면포장은 시편 채취로 인한 방수층 손상이 포장 수명에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 품질 평가를 위한 조사 시 주의가 요구되었다. 아스팔트 함량, 입도, 두께 및 다짐도의 시험횟수 증가도 문제로 언급되었다. 지불규정을 적용할 경우 아스팔트 함량, 입도, 두께 및 다짐도는 기존의 품질 시험보다 약 3회 이상 많아 시험비 인상이 필요하다는 지적이었다. 이 모든 것을 관리하기 위한 제도적 지원과 정비 시스템 구축도 병행되어야 할 것이며, 현장 기술자들이 지불규정의 용이한 적용을 위한 공사비 산출 과정도 프로그램화하는 방안도 생각해 봐야 할 것이다.

현재 한국도로공사의 지역본부에서는 비상주 감독 체계로 운영되기 때문에 지불규정이 제도적으로 안착되기 전까지는 오히려 감독업무가 지금보다 늘어날 것으로 예상되었다. 당분간은 현장감독을 임시상주체제로 운영하는 등 별도의 방안도 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 건설교통 R&D 정책 인프라사업의 일환인 성능중심의 건설기술 표준화 연구-도로포장 및 콘크리트 구조물 중심 연구 중 SMA 포장의 성능기준 개발연구에서 수행되었습니다. 도로포장의 성능개선을 위하여 끊임없는 관심과 지원을 아끼지 않은 한국도로공사 도로처 조성찬 차장에게도 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

참고 문헌

김성민, 이석근, 서봉교(2008). 콘크리트 도로포장의 품질 관리 및 보증을 위한 지불규정 개발기법, 한국도로학회논문집, 제10권, 제3호, pp.179~188.

AASHTO(1996), *Quality Assurance Guide Specification*, American Association of State Highway and Transportation Officials.

Burati, J.L., Weed, R.M., Hughes, C.S. and Hill, H.S(2002). Optimal Procedures for Quality Assurance Specifications, Final Report, FHWA-RD-02-095, *Federal Highway Administration*, Washington D.C.

Kim, Y.R., Lee, S. Joon, Seo, Youngguk and Omar El-Haggan(2008). Determination of price reduction factors for density-deficient asphalt pavements, *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 36, No.4, pp. 335~344.

접 수 일: 2009. 5. 7
 심 사 일: 2009. 5. 12
 심사완료일: 2009. 7. 20