

# 다공성 아스팔트혼합물의 내구성 향상을 위한 통계적 분석의 활용

유인균\*, 이수형, 한대석  
한국건설기술연구원 인프라안전연구본부

## Statistical Analysis for Improving Durability of Porous Asphalt Mixtures

In-Kyoon Yoo\*, Su-Hyung Lee, Dae-Seok Han

Department of Infrastructure Safety Research, Korea Institute of Civil and Building Technology

**요약** 다공성 아스팔트포장은 혼합물 속의 공극으로 인해 수막이 제거되어 교통사고가 현저히 줄고 및 타이어 교통소음이 크게 저감되어 선진외국에서는 많이 이용되고 있으나 국내에서는 다공성 아스팔트포장의 내구성에 대한 우려 때문에 적용이 지연되고 있다. 본 연구에서는 다공성 아스팔트포장에 대한 내구성을 향상시켜 나갈 수 있는 통계적 방안을 찾고자 수행되었다. 다공성 아스팔트 혼합물의 내구성을 나타내는 지표로는 일반적으로 알려져 있는 칸타브로시험으로 선정하였다. 다공성 아스팔트혼합물의 규격에 만족하는 바인더와 골재로 제작된 아스팔트 혼합물에 대하여 칸타브로시험을 실시하였다. 칸타브로시험은 4개 조에 대하여 각 3회 반복 실시하여 각각 칸타브로 손실률을 구하였다. 실험결과 4개 조의 평균값들은 기준값을 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 실험결과와 통계적 분석과정인 분산분석을 통해 내구성의 품질에 차이가 있는 실험 조를 정량적으로 구분할 수 있고 이를 통해 문제점을 찾아내어 내구성을 향상시킬 수 있다. 또한 준공 시에 품질에 따라 페널티나 인센티브를 제공하는 방안도 자발적인 품질개선을 유도할 수 있고 이를 위한 지불계수도 한정된 자료의 통계적 분석을 통해 산정될 수 있음을 확인하였다. 이와 같은 지불계수의 운영을 통해 시공자의 적극적인 품질향상을 유도할 수 있고 또한 품질관리 기준의 적정성 평가를 통해 지속적으로 다공성 아스팔트 혼합물의 내구성을 증진시켜 나갈 수 있다.

**Abstract** Porous asphalt pavement is used widely in advanced countries to reduce traffic accidents and noise. On the other hand, it is not applied widely in Korea due to concerns about its durability. This study aims to find a statistical method to improve the durability of porous asphalt pavement. A Cantabro test was selected to test the durability. The Cantabro test was performed on an asphalt mixture made of a binder and aggregate. This test was repeated three times for each of the four groups to obtain the Cantabro loss rate. The average values of each of the four groups satisfied all the reference values. In addition, through an analysis of variance (ANOVA), it was possible to quantitatively classify test groups with differences in durability, thereby finding problems and improving the durability. Furthermore, the Pay Factor method can lead to voluntary improvements in quality, and the Pay factor can be calculated through statistical analysis of limited data. Through the Pay factor, it is possible to induce definite quality improvement of the contractor and continuously improve the durability of the porous asphalt mixture by evaluating the adequacy of the quality standard.

**Keywords** : Porous Asphalt Pavement, Cantabro Test, Quality Standard, ANOVA, Pay Factor

\*Corresponding Author : In-Kyoon Yoo(Korea Institute of Civil and Building Technology)

email: [ikyoo@kict.re.kr](mailto:ikyoo@kict.re.kr)

Received July 22, 2020

Accepted November 6, 2020

Revised September 21, 2020

Published November 30, 2020

## 1. 서론

다공성 아스팔트포장은 차량의 주행으로 발생하는 소음을 저감시키기 위해 혼합물에 약 20%의 공극을 갖는 아스팔트포장공법을 말하며, 고품질의 아스팔트를 사용한 아스팔트혼합물을 말한다. 비오는 날에는 이 공극을 통해 빗물이 배수되어 시인성이 개선되고 미끄럼 사고를 예방할 수 있고 이 공극으로 인해 타이어 소음이 크게 저감되는 친환경적인 고급포장이다.

1950년대 영국 공항 활주로에서 수막현상을 방지할 목적으로 개발되어 세계적으로 적용되고 있으며 국내에서도 배수성/저소음포장시방서의 제정과 함께 시행되고 있다.

그러나 국내에서의 경험에 따르면, 1990년대 고속도로 및 국도 등에서 시험시공을 거쳐 2000년 초부터 다수 적용되었으나, 골재 탈리나 비산 등으로 내구성 문제가 발생하여 적극적으로 확대되지 못하고 있는 실정이다. 이것은 다공성 아스팔트포장시방서의 기준은 외국의 기준 이상으로 되어 있으나 균질한 품질을 확보할 수 있는 품질관리가 제대로 정착되지 않았기 때문으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 다공성 아스팔트혼합물의 내구성을 향상시키기 위한 통계적 방안을 찾기 위해 시방규격을 만족하는 특정한 다공성 아스팔트혼합물에 대하여 내구성시험인 칸타브로시험을 시행하였다. 실험결과와 통계적 분석을 통해 다공성 아스팔트혼합물의 내구성을 향상시키기 위한 방안을 검토하고자 한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 관련문헌 검토

다공성 아스팔트혼합물에 대한 시험규격은 2011년 9월에 외국기준을 검토해서 국토교통부에서 배수성 아스팔트혼합물의 생산 및 시공 잠정지침에 제시되어 있다 (MLMA[1]). 이 지침에는 배수성 아스팔트에 사용되는 재료의 특성, 이들 재료에 대한 배합설계방법, 아스팔트 혼합물의 생산과 시공방법까지 기술하고 있으며 마지막으로 품질관리 및 검사까지 포함하고 있으나 품질의 변동성에 대해서 고려하는 항목은 없는 상황이다.

따라서 대부분의 국내 연구에서는 개발된 다공성 아스팔트 바인더를 이용한 아스팔트혼합물의 특성이 잠정지침의 규격을 만족하는가에 초점을 두고 이루어지고 있다. Lee[2] 등은 배수성혼합물의 특성시험과 현장적용을 통

해 배수성, 소성변형저항성, 미끄럼마찰 저항성 등이 향상되는 것을 확인하고 소음은 약 7dB 정도 저감되는 것을 확인하였다. Lee[3] 등은 국내에서 적용되고 있는 고점도 아스팔트 바인더와 현장의 다짐을 효율적으로 모사하는 선회다짐기를 이용하여 시편을 제작하고 마찰안정도, 회복탄성계수, 간접인장강도, 소성변형특성 평가를 통해 다공성 아스팔트 구성을 위한 아스팔트 혼합물의 기본적인 구조성능은 충분히 만족한다고 보고하였다.

Lee[4] 등은 특정한 개질아스팔트를 사용하여 배수성혼합물을 제작하고 마찰안정도, 자유단 공진주 시험, 일축압축시험, 슈미트햄머 시험 등을 실시하고 이 혼합물이 배수성포장 잠정규격을 만족한다는 결과를 도출하였고, Choi[5] 등은 아크릴 수지로 코팅한 배수성 아스팔트 콘크리트의 특성평가를 통해 배수성 아스팔트혼합물의 내구성을 나타내는 칸타브로시험을 실시하였다. 코팅을 실시하지 않은 일반시편의 손실률이 약 20%인데 비해 코팅 처리한 시편들의 경우 5.9-7.9%로 칸타브로 손실률이 감소하였다고 발표하였다.

이와 같이 국내에서는 배수성아스팔트혼합물에 대한 기준을 설정하고 이 기준에 만족하는 혼합물을 생산할 수 있음을 보여주고 있으나 아스팔트혼합물의 생산에서 쉽게 나타날 수 있는 품질의 변동성에 대한 연구는 없었다.

재료의 변동성을 고려할 수 있는 통계적 품질관리에 관한 최근의 연구로는 Kim[6] 등이 아스팔트 바인더의 품질특성인 침입도 규정의 변경에 대하여 통계학적으로 중복됨을 증명하고 통계적으로 타당하도록 바로 수정해야 한다는 논문을 발표하였다.

Choi[7] 등은 국내에 적합한 지불규정을 도입하기 위한 연구로서 아스팔트포장의 품질측정방법에 대해 연구하고 PWL(Percent Within Limit)방법을 이용함으로써 균질하고 성능이 우수한 품질의 측정이 가능하다고 발표하였다. Kim[8] 등은 콘크리트포장의 품질을 확보하기 위한 방안으로 지불규정을 개발하는 과정으로 콘크리트 슬래브두께에 대하여 통계적인 기법을 이용하여 지불계수 구하는 방법을 국내에 적용할 수 있는 적절한 방법을 제시하였다. Lee[9] 등은 지불계수를 이용한 시험포장구간의 품질평가와 피로수명 분석을 통해 서로 다른 품질의 아스팔트 바인더의 지불계수를 구하고 이들의 시험포장을 통해서 성능의 차이를 비교하여 지불계수에 따라 품질의 차이가 발생함을 보고하였다.

한국도로공사에서는 45년 전인 1974년에 발간한 오버레이 시공 및 품질관리의 요점, 1975년에 발간된 기술교재 19호인 포장공사 품질관리의 통계적 기법(KECI[10])

그리고 같은 해 기술교재 34호인 아스팔트포장의 품질관리와 검사(KEC[11])에 기본적인 내용이 기술되어 있다.

그러나 아직도 우리나라에서는 구체적이고 실용적인 통계적 품질관리방법이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 제조업을 위시한 모든 분야에서 제품의 품질관리를 위해 제품의 변동성을 고려한 통계적 품질관리기법을 도입하여 활용하고 있다. 특히 아스팔트포장은 변동성이 많이 포함되는 공종이고, 여기에 높은 공극률로 인해 파손에 취약한 배수성 아스팔트혼합물에 대해서는 보다 높은 품질관리방안이 필요하다.

## 2.2 품질관리 관련 통계이론

### 2.2.1 분산을 고려한 평균의 비교

지금까지는 실험된 평균값이 품질규격에 만족하면 정상적인 제품으로 보고 현장에 적용하고 있다. 이것은 실험결과의 평균값이 품질기준에 만족한다는 의미이며 품질의 분산에 대한 개념이 도입되지 않았다. 평균에 대한 개념은 신뢰도 측면에서 50%의 신뢰도라고 말할 수 있다. 자료의 50%는 평균보다 큰 것을 의미하고 나머지 50%는 평균보다 작은 것을 의미한다. 생산제품의 품질을 개선하기 위해서는 품질의 관리가 필요하고 품질관리를 위해서는 평균 외에도 품질의 분산성을 고려해야 한다.

분산을 고려한 평균비교는 단순히 평균의 크고 작음을 비교하는 것이 아니라 분산의 정도를 고려하여 두 집단의 평균이 특정 신뢰수준에서 다르다고 할 수 있는지를 검정하는 것이다. 이렇게 두 집단의 평균에 대해 분산을 고려하여 비교하는 것을 t-검정이라고 하며, 세 집단 이상의 평균을 비교하는 방법을 분산분석(ANOVA; Analysis of Variance)이라고 한다.

집단간의 평균을 비교하기 위해서는 집단의 정규성과 집단 사이의 등분산 검증이 필요하다. 정규성 검증은 Shapiro-Wilks 검정을 통해 수행되며 데이터의 수가 3개이면 정규성을 쉽게 만족한다. 등분산의 검증은 분석하는 두 집단의 분산이 같다고 볼 수 있는가를 검정하는 것이다. 이 검정에는 레빈(Levene)검정이 활용되며 레빈검정에서 등분산성이 확인되면 Student t-검정으로 평균을 검정하고, 이분산이면 Welch t-검정으로 두 집단의 평균을 비교하게 된다.

### 2.2.2 지불규정에 대한 이론

도로포장공사의 준공검사(Acceptance Test)를 위해서는 시공된 제품의 품질을 평가하는 과정이 포함된다. 공사가 완료된 후에 평균값을 가지고 평균값이 기준을 넘으면 준공하는 방법을 현재 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 평균에만 의존하는 방법으로 발주자는 제품의 품질을 담보하기가 어려우며 시공자는 제품의 품질을 향상 시키고자하는 동인을 갖기 어렵다.

미국에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 샘플테스트를 통해 지불계수를 구하고 그 결과를 가지고 본래 계약금액에 대해서 인센티브를 주거나 페널티를 가하는 방법을 채택하고 있다. 이 방법은 샘플(예를 들면 3개)의 결과로부터 품질지수인, Q값을 정하는 데 이 Q값은 정규분포의 z값과 같다. 이 Q값을 샘플자료의 개수에 따라 PWL(기준이상 백분율; Percent Within Limit) 값을 조정하는 방법으로 PWL을 구하고, 이 PWL을 가지고 다음과 같이 지불계수(Pay Factor)를 구한다(AASHTO[12]).

$$PF(\%) = 55 + 0.5 \times PWL \quad (1)$$

Table 1. Estimation of PWL Using Quality Index Q(Brati[13])

PWL	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9	n=10 to 11
100	1.16	1.50	1.79	2.03	2.23	2.39	2.53	2.65
99	-	1.47	1.67	1.80	1.89	1.95	2.00	2.04
98	1.15	1.44	1.60	1.70	1.76	1.81	1.84	1.86
97	-	1.41	1.54	1.62	1.67	1.70	1.72	1.74
70	0.68	0.60	0.57	0.56	0.55	0.55	0.54	0.54
69	0.65	0.57	0.54	0.53	0.52	0.52	0.51	0.51
68	0.62	0.54	0.51	0.50	0.49	0.48	0.48	0.48
67	0.59	0.51	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.45
55	0.18	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
54	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10
53	0.11	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
52	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05

지불계수를 구하기 위해서는 PWL을 구해야 하는데, PWL은 정규분포에서 기준 이상에 대한 면적 백분율과 같다(Fig. 1). PWL을 구하기 위해서는 샘플자료를 정규분포로 가정하고 Q값을 아래 식(2)을 이용하여 구하고 이 Q값과 시료의 개수 n을 이용하여 Table 1로부터 구한다.(Brati[13]).

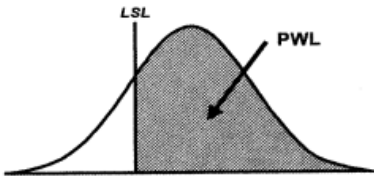


Fig. 1. PWL Considering Criteria(Burati[13])

$$Q = \frac{LSL - \bar{X}}{s} \quad (2)$$

여기서, Q = 품질지수

LSL = 시방기준 (Lower Specification Limit)

$\bar{X}$  = 표본평균

s = 표본 표준편차

### 3. 칸타브로시험

본 연구에서는 방사형 SBS(Radial SBS) 개질아스팔트와 골재를 사용하여 배합설계를 통해 다공성 아스팔트 혼합물을 제작하였다. 실험은 국토부 제정 시방규격, “배수성 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 잠정지침(국토해양부, 2011.9)”에 따라 실시되었다. 사용된 골재의 물리적인 특성은 Table 2와 같고 사용된 아스팔트 바인더의 특성은 3회 시험결과를 Table 3에 정리하였다.

Table 2. Aggregate Test Results

Properties	Unit	Limit	Rot1	Rot2	Rot3
Specific Gravity	-	> 2.5	2.71	2.71	2.70
Absorption	%	< 3.0	0.69	0.67	0.75
F&E Particles	%	< 10	9.0	9.0	8.0
Stability	%	< 12	4.8	4.7	4.6
Abrasion	%	< 35	21.7	21.9	20.0
Fracture Surface	%	> 85	100	100	100

Table 3. Characters of Asphalt Binder

Properties	Unit	Limit	1st	2nd	3rd
Performance Grade	-	-	PG82-22	PG82-22	PG82-22
Elongation (15℃,5cm/min)	cm	>50	65	71	58
Softening Point	℃	>80	86.0	88.0	90.0
G*/sinδ at 82℃ (Original)	kPa	>1.0	2.34	2.16	2.56
G*/sinδ at 82℃ (after RTFO)	kPa	>2.1	3.00	2.95	3.26
G*/sinδ at 82℃ (after PAV)	kPa	< 5,000	619	636	728
Stiffness at -12℃	MPa	-	115	106	118
m-value	-	-	0.33	0.34	0.35
Flash Point	℃	-	338	342	340
Viscosity(135℃)	Pa.s	(5)	3.0	2.8	2.8
Mass Loss (after RTFO)	%	(6)	-0.1	-0.1	-0.1

아스팔트 혼합물의 칸타브로 손실률 시험은 KS F 2492(배수성 아스팔트 혼합물의 칸타브로시험 방법)에 따라 수행하였다. 칸타브로시험에서는 -20℃를 유지하기 위해 Fig. 2과 같이 항온 챔버 속에 LA마모시험기를 설치하여 시행하였다. Fig. 3는 칸타브로 시험 전후의 시료의 상태를 보여주고 있다.



Fig. 2. LA Abrasion Tester in Constant Temperature Chamber



Fig. 3. Shapes of Specimen Before and After Test

배수성 아스팔트포장의 주요 파손 형태는 골재의 비산이며, 칸타브로시험은 배수성 아스팔트 혼합물에 대한 골재 비산 저항성 평가와 신뢰성을 확보하기 위하여 실시한다.

Table 4. Cantabro Test Results at -20°C

Rot	No	Before (g)	After (g)	Loss (%)	Avg. (%)
1	1	1047.9	866.4	17.3	15.733
	2	1054.0	910.5	13.6	
	3	1047.1	876.7	16.3	
2	4	1050.9	891.1	15.2	12.270
	5	1032.8	922.5	10.7	
	6	1034.2	948.4	8.3	
3	7	1040.2	911.5	12.4	10.533
	8	1055.3	962.4	8.8	
	9	1051.8	942.7	10.4	
4	10	1040.2	921.0	11.5	11.200
	11	1046.9	934.0	10.8	
	12	1043.6	925.9	11.3	

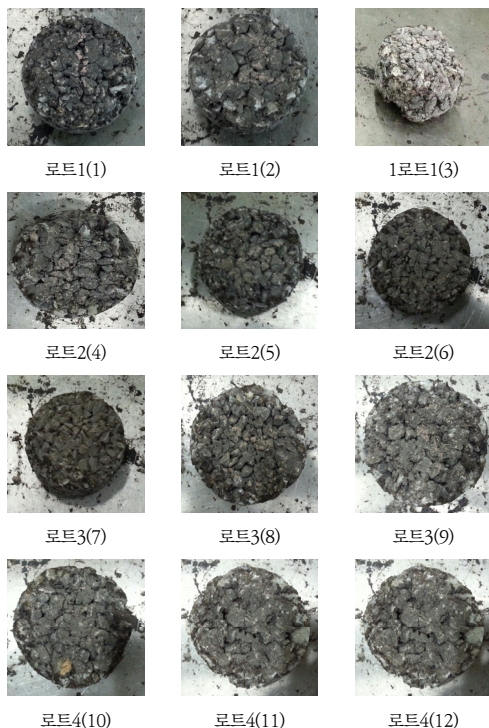


Fig. 4. Asphalt Mixtures after Cantabro Test at -20°C

Table 4는 저온에서 합성된 혼합물의 칸타브로 시험

결과를 보여주고 있다. Fig. 4는 칸타브로 시험 실시 후의 아스팔트혼합물 사진을 보여주고 있다. 직경 5cm의 원통형 혼합물이 충격으로 인해 손상된 모습을 보여주고 있다. 아스팔트의 결합력이 작으면 쉽게 분리되어 칸타브로 손실률이 증가하게 되고 배수성포장의 골재비산이 많이 발생하게 된다.

방사형 SBS 개질아스팔트 혼합물에 대한 품질시험 결과 네 로트 모두 배수성 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 잠정지침(국토해양부, 2011.9)에서 요구하는 품질기준을 만족하였다. 특히 칸타브로 손실률(-20°C)은 저온에서의 손실률이 큰 데 비해 본 바인더는 20°C에서의 시험 결과와 큰 차이를 보이지 않아 방사형 SBS 개질아스팔트 혼합물이 저온에서의 골재 탈리 또는 박리에 대한 저항성이 매우 우수한 것으로 판단된다.

#### 4. 시험결과의 통계적 분석

##### 4.1 분산을 고려한 비교

칸타브로 마모시험의 각 로트에 대한 결과를 서로서로 결합하여 95% 신뢰수준에서 레빈검정을 실시한 결과는 Table 5와 같다. 이 검정은 신뢰수준 95%, 유의수준 5%에서 수행되었으며 p-값이 0.05보다 작으면 두 집단의 분산이 다른 것이고, p-값이 0.05이상이면 두 집단의 분산은 다르지 않다고 볼 수 있다. Table 5에서 로트1과 로트4, 로트2와 로트4 그리고 로트3과 로트4의 검정결과 p-값이 0.05보다 작아 등분산으로 볼 수 없으며 나머지 세 개의 조합은 서로 등분산으로 볼 수 있다. 모든 집단 사이의 등분산성이 검증되지 않아 평균차이의 검증을 위해 t-검정을 이용한다.

Table 5. Test Results of Equal Variance for Two Group

Combination	F Ratio	P(F<=f) one tail
Rot1 X Rot2	0.29856	0.229916
Rot1 X Rot3	1.126025	0.470361
Rot1 X Rot4	28.17949	0.034271
Rot2 X Rot3	3.771516	0.209577
Rot2 X Rot4	94.38462	0.010484
Rot3 X Rot4	25.02564	0.038424

레빈의 검정결과를 가지고 등분산과 이분산을 고려하면서 각 집단(각 로트)의 평균을 비교하는 t-검정을 실시한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Results of t-Test

Combination	Variance	P(F<=f) one tail
Rot1 X Rot2	Equal	0.066617
Rot1 X Rot3	Equal	0.013333
Rot1 X Rot4	Different	0.028187
Rot2 X Rot3	Equal	0.361289
Rot2 X Rot4	Different	0.465303
Rot3 X Rot4	Different	0.297140

등분산과 이분산으로 나누어 등분산은 Student t-검정을, 이분산은 Welch t-검정을 수행하였다. 신뢰수준은 95%를 설정하였으며 유의수준은 5%로 하였다. 칸타브로 시험결과에 대한 t-검정결과 p-값을 보면 로트1을 포함하는 비교에서는 평균이 서로 다를 확률이 크게 산출되었고 로트1을 제외한 조합에서는 서로의 평균이 근사한 것으로 도출되었다. 특히 로트1과 로트3의 실험결과는 95% 신뢰수준에서 p-값이 0.013으로 0.05보다 작으므로 이 둘의 평균은 서로 동일하지 않은 것으로 판명되었다. 이 두 집단은 가설 평균차이를 0.98까지 설정해도 95%신뢰수준에서 유의한 차이를 나타내었다(Table 7). 이 두 집단은 95%의 신뢰수준에서 0.98 정도의 평균차이를 나타낸다고 정량적으로 말할 수 있다.

Table 7. t-Test :Hypothesized Mean Difference

	Rot 1	Rot 3
Average	15.73333	10.53333
Variance	3.663333	3.253333
Observations	3	3
Covariance	3.458333	
Hypothesized mean difference	0.98	
Degree of Freedom	4	
t stats	2.779231	
P(T<=t)one tail	0.024929	
t critical one tail	2.131847	
P(T<=t)two tail	0.049858	
t critical two tail	2.776445	

분산을 고려한 두 집단의 평균이 서로 다르다는 것은 각 집단에서의 분산으로 설명되지 않는 차이가 두 집단 사이에 존재한다는 의미이다. 그 차이의 원인을 시험과정에서 시험장비의 문제일 수도 있고 시험자의 문제일 수도 있으며 재료의 문제일 수도 있다. 이러한 평균의 비교 분석을 통해 문제의 원인을 찾을 수 있어 생산과정에서

는 품질개선을 이룰 수가 있다.

특히 이번 실험에 실행된 칸타브로 시험결과는 로트1의 실험결과가 다른 로트의 결과들과 큰 차이를 나타내고 있다. 특히 로트1 실험과 로트3 실험결과 사이의 차이가 가장 크고 유의미한 결과가 도출되었다. 따라서 로트1의 시험과정과 재료, 실험장비, 시험자에 대해서 로트3의 과정과 비교하여 그 차이의 원인을 찾아 수정하면 지속적으로 품질개선을 이루어 나갈 수 있다.

#### 4.2 품질기준을 고려한 비교

본 연구에서 얻은 칸타브로 시험결과에 대해서 현재의 칸타브로 손실률 기준은 30%미만이지만 이 값을 변화시키며 Q값을 구하면 Table 8과 같다. 이렇게 구한 Q값을 표본의 개수를 고려하여 Table 1로부터 PWL값을 구하며 이번 칸타브로 시험에 대한 PWL값은 Table 9와 같이 된다.

Table 8. Q Value with the Criteria of Cantabro Loss(%)

Rot	1	2	3	4
Mean	15.773	11.400	10.533	11.200
SD	1.913	3.502	1.803	0.360
Q_20%	2.229	2.455	5.248	24.40
Q_18%	1.184	1.884	4.139	18.85
Q_17%	0.661	1.598	3.585	16.08
Q_16%	0.139	1.313	3.030	13.31

Table 9. PWL with the Criteria of Cantabro Loss(%)

Rot	Obs.	PWL 20%	PWL 18%	PWL 17%	PWL 16%
1	3	100	100	69	54
2	3	100	100	100	100
3	3	100	100	100	100
4	3	100	100	100	100

본 연구에서의 시험기준과 결과를 가지고 미국에서 적용하고 있는 지불계수를 구하면 모든 로트의 시험에서 100%만족하는 결과를 얻었다. 칸타브로시험 손실률기준을 현재의 30%에서 18%로 내리더라도 모든 로트에서의 시험이 100% PWL을 만족하며, 기준을 17%로 내리면 PWL이 100이하의 값을 갖기 시작한다. 이것도 로트1에서의 시험결과가 가장 크기 때문이며 로트1에서의 실험결과가 크게 나온 원인을 규명하여 개선한다면 그 기준

을 더 내릴 수 있을 것으로 판단된다. 이 결과를 보면 현재 사용 중인 다공성 아스팔트혼합물의 내구성 기준인 칸타브로 손실률 30%이하는 시험결과와 큰 격차를 보이고 있다. 보통 6시그마운동이 평균의 변동성 1.5시그마를 고려해서 4.5시그마를 품질관리 한계로 설정하는 것을 감안하면 본 연구에 아스팔트혼합물의 칸타브로 손실률은 6시그마로 품질관리 된다고 할 수 있다. 다공성포장의 가장 큰 취약점인 골재 비산에 대한 내구성을 보강하기 위해서는 내구성의 지표인 칸타브로 손실률의 기준을 다시 검토해볼 필요도 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 다공성 아스팔트혼합물을 제작하고, 다공성 아스팔트혼합물의 골재 탈리나 비산에 대한 내구성 척도인 칸타브로 시험결과에 대한 통계분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 방사형 SBS (Radial SBS) 개질아스팔트의 물성 시험결과, 로트4 시험 모두 “배수성 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 잠정지침(국토해양부, 2011.9)”에서 제시하고 있는 품질기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 이러한 아스팔트 혼합물에 대하여 골재의 비산저항성을 검토하기 위하여 4개의 로트에서 시료를 채취하여 각 3회반복 칸타브로 시험결과를 얻었다. 각 로트의 칸타브로 손실률 평균값들은 칸타브로 손실률 시험기준인 30%이하를 모두 만족하였다.

둘째, 칸타브로 시험결과에 대해 분산을 고려한 평균의 차이를 분석하는 t-검정을 통해 통계적으로 동일하다고 말할 수 없는 집단을 정량적으로 구별해 내었다. 특히 로트1의 시험결과가 특이성을 보였으며 로트3과의 관계에서 95% 신뢰수준에서 서로 다른 특성이 있음을 확인하였다. 가설 평균차 분석에 의하면 로트1 시험과 로트3 시험 사이의 차이는 평균차이를 0.98로 가정해도 두 그룹 사이의 평균은 95% 신뢰수준에서 서로 다른 것으로 분석되었다.

이러한 방법은 제품의 품질관리 개선과 함께 새로운 제품의 개발에도 활용할 수 있다.

셋째, 준공검사에 사용될 수 있는 미국의 품질지수를 이용하여 칸타브로 시험결과를 분석해 본 결과, 모든 시험결과 100%가 기준에 만족하는 결과를 얻었다. 현재 30% 이하인 칸타브로 마모시험 손실률 기준이 18%까지 내려가도 100% 기준에 만족하는 것으로 확인되었다. 이

번에 시험된 아스팔트 혼합물의 품질은 6시그마 이상으로 품질관리 되고 있는 것으로 확인되었다. 특히나 로트1 실험결과가 개선된다면 품질은 더욱 향상될 것으로 판단된다. 다공성아스팔트포장의 확대적용에 저해요소가 되고 있는 내구성과 탈리 문제를 개선하기 위하여 품질관리 기준의 강화에 대해서 검토해볼 필요가 있다.

다공성포장의 품질기준을 만족하는 혼합물을 제작하고 시험결과와 분산을 분석해본 결과, 평균만으로는 알 수 없었던 다양한 분석이 가능하여 품질의 향상, 준공검사의 신뢰도 향상 그리고 품질기준의 적합성 등의 평가에 활용될 수 있음을 알 수 있었다.

## References

- [1] MLMA, Ministry of Land and Maritime Affairs, Provisional Guidelines for Producing and Construction of Drainage Asphalt Mixture, September 2011 (in Korean)
- [2] J. S. Lee, J. H. Jin, G. T. Cho, W. P. Son, Y. K. Nam, A Study of Mechanical Characteristics of Drainage Asphalt Mixtures, Journal of the Korean Society of Highway Engineers, Annual Conference, 2015 (in Korean)
- [3] K. H. Lee, T. H. Jeong, A Study on the Mechanical Properties of Asphalt Mixtures for the Development of Low Noise Pavement, Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 9, No. 1, 2009 (in Korean)
- [4] K. H. Lee, S. M. Ham, Strength Characteristics of Mixtures for Drainage Asphalt Surface Layer, Journal of the Korean Academia-Industrial Cooperation Society, Vol. 12, No. 7, 2011
- [5] T. J. Choi, H. J. Lee, T. W. Kim, J. H. Song, Evaluation of Characteristics of Drainage Asphalt Pavement Coated by Acrylic Resin, Journal of the Korean Society of Highway Engineers, Vol. 11, No. 2, 2009.6 (in Korean)
- [6] K. W. Kim, W. H. Lee, J. H. Jeong, and Y. S. Do, A Study on the Problems of KS Asphalt Penetration Standards through Statistical Analysis, Journal of the Korean Society of Highway Engineers, Volume 8, No. 4, December 2006 (in Korean)
- [7] J. K. Choi, S. K. Lee, S. M. Kim, S. M. Whang, Comparative Analysis of Probability Theory and PWL Method for Quality Measurement of Asphalt Pavement, Journal of the Korean Society of Highway Engineers Vol. 11, No. 2, June 2009 (in Korean)
- [8] S. M. Kim, S. K. Lee, B. K. Seo, Development of Payment Rules for Quality Control and Assurance of Concrete Road Pavement, Proceedings of the Korean Society of Highway Engineers, Volume 10, No. 3, September 2008 (in Korean)

DOI: <http://dx.doi.org/10.9716/KITS.2011.10.3.179>

- [9] J. H. Lee, S. K. Lee, S. M. Kim, S. M. Whang, An Analysis of Evaluation of Quality and Fatigue Life of Test Pavement Section Using Pay Factor, Journal of the Korean Society of Highway Engineers, Vol. 11, No. 4, December 2009 (in Korean)  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15207/JKCS.2020.11.4.133>
- [10] Korea Expressway Corporation, Statistical Methods of Quality Control for Pavement Construction, technical textbook No. 19, January 1975 (in Korean)
- [11] Korea Expressway Corporation, Quality Control and Assurance of Asphalt Pavement, Technical Textbook No. 34, December 1975 (in Korean)
- [12] AASHTO, AASHTO Quality Assurance Guide Specification, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1996
- [13] Burati, J. L., Weed, R. M., Hughes, C. S., and Hill, H. S., Evaluation of Procedures for Quality Assurance Specifications, Optimal Procedures for Quality Assurance Specifications, Report FHWA-HRT-04-046, Federal Administration, Washington, DC, 2004

---

유 인 균(In-Kyoon Yoo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 공대대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 10월 : 도로 및 공항 기술사, 한국산업인력공단

- 1987년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 연구위원

<관심분야>

도로공학, 교통소음

---

이 수 형(Su-Hyung Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경기대학교 공대대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 경기대학교 공대대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1993년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 수석연구원

<관심분야>

도로공학, 교통소음

---

한 대 석(Dae-Seok HAN)

[정회원]



- 2006년 2월 : 한밭대학교 도시공학과 (공학석사)
- 2011년 9월 : 교토대학교 도시사회공학과 (공학박사)
- 2004년 6월 : 교통기사, 한국산업인력공단

- 2013년 6월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 수석연구원

<관심분야>

자산관리, 기능성 포장