



포장상태 예측방법 개선에 관한 연구

Development of Prediction Method for Highway Pavement Condition

박 상 욱* 서 영 찬** 정 철 기***
Park, Sang Wook Suh, Young Chan Chung, Chul Gi

Abstract

Prediction the performance of pavement provides proper information to an agency on decision-making process; especially evaluating the pavement performance and prioritizing the work plan. To date, there are a number of approaches to predict the future deterioration of pavements. However, there are some limitation to proper prediction of the pavement service life. In this paper, pavement performance model and pavement condition prediction model are developed in order to improve pavement condition prediction method. The prediction model of pavement condition through the regression analysis of real pavement condition is based on the probability distribution of pavement condition, which set to 5%, 15%, 25% and 50%, by condition of the pavement and traffic volume. The pavement prediction model presented from the behavior of individual pavement condition which are set to 5%, 15%, 25% and 50% of probability distribution. The performance of the prediction model is evaluated from analyzing the average, standard deviation of HPCI, and the percentage of HPCI which is lower than 3.0 of comparable section. In this paper, we will suggest the more rational method to determine the future pavement conditions, including the probabilistic duration and deterministic modeling methods regarding the impact of traffic volume, age, and the type of the pavement.

keywords: pavement performance prediction model, probabilistic and deterministic modeling

요 지

포장상태 예측은 의사결정과정에서 포장의 공용성능을 평가하고 사업대상구간의 우선순위를 선정하기 위한 적절한 정보를 제공해준다. 근래들어 현재의 포장상태가 장래에 어느 정도 저하되는지를 예측하려는 많은 접근이 있었으나 포장의 서비스수명을 적정히 예측하는 데에는 한계를 보여왔다. 본 논문에서는 포장상태 예측방법을 개선하기 위하여 포장상태 공용성모형과 포장상태 예측모형을 개발하였다. 공용성 모형은 실제 포장상태 분석결과를 회귀분석하여 포장의 종류별, 교통량별로 백분위 50%, 25%, 15%, 5%의 확률분포 모형을 도출한 것이다. 예측모형은 앞서 도출된 공용성모형의 모형식을 기준으로 하여 대상구간 각각의 포장상태 측정값에 의해 포장상태 확률을 결정한다. 개발된 예측모형의 검증을 위하여 비교대상구간을 선정하였고, HPCI의 평균값, 표준편차, 3.0이하 비율을 비교분석하였다. 이를 통하여 기존예측모형이 안고 있는 교통량, 재령, 현재 포장 상태를 고려하여 보다 현실에 부합되는 포장상태를 예측하는 방법을 제공하고자 한다.

핵심용어: 포장상태 예측모델, 확률론적 모형, 결정론적 모형

1. 서론

포장상태 예측은 향후의 포장상태를 미리 판단하기

위해 사용되며, 일반적으로 현재의 포장상태나 손상을 변수로 하여 개발된 예측모형이 사용되어지고 있다.

포장상태 예측모형은 기후조건이나 교통여건 등과 같

* 정희원 · 한국도로공사 도로사업처 팀장 · 공학석사(E-mail: psw@ex.co.kr)

** 정희원 · 한양대학교 교통공학과 교수 · 공학박사(E-mail: suhyc@hanyang.ac.kr)

*** 정희원 · (주)로드코리아 상무 · 공학사 (E-mail: ccg1231@ex.co.kr)



은 다양한 공용여건 하에서 재령과 교통량의 변화에 따른 손상 및 공용성의 변화추이를 수학적 모델로 표시한 것으로, 기본적으로 데이터베이스로 축적된 각종 데이터와 평가결과 분석을 통해 개발되어 왔다.

포장상태의 예측은 사업대상구간의 선정 및 우선순위의 선정 등 의사결정에 중요한 척도로 사용되어지고 있는데, 현재 적용중인 포장상태 예측모형은 2003년도부터 축적된 조사결과를 회귀분석하여 개발된 것으로써 포장형식 및 교통량, 확률분포, 현재의 포장상태 등을 변수로 적용하고 있다.

이와 같이 포장유지관리를 위한 의사결정에 결정적 지표라 할 수 있는 포장상태 예측모델은 지속적인 보완 및 검증을 통하여 현실에 더욱 부합되도록 노력을 기울여야 할 것이다.

본 연구에서는 포장상태 예측의 적정성 및 신뢰성을 제고하기 위하여 기존에는 한가지로만 적용하던 예측모형을 개선하기 위하여 공용성모형과 포장상태 예측모형으로 구분하여 개발하고자 한다. 여기서, 공용성모형은 신설이나 확장공사 또는 개량공사 이후에 포장상태 측정을 새로 하지 않았을 경우 적용되는 모형이며, 포장상태 예측모형은 포장상태 측정값을 기준으로 포장상태를 예측하는데 사용된다. 또한, 현재 포장상태가 상대적으로 나쁘거나 교통량이 많을수록 포장상태 저하 속도가 빠르게 반영되도록 하기 위해 포장상태와 교통량에 따라 예측 결과의 편차가 발생하도록 하였다.

2. 현행 포장상태 예측모형 검토

한국도로공사에서는 포장관리시스템을 구축하여 2003년도부터 HPMS (Highway Pavement management system)를 운용하고 있다. HPMS에서는 포장상태를 예측하기 위하여 포장형식, 포장종류, 교통량의 변수에 의한 포장상태 예측모형을 적용하고 있으며, 다음 <표 1>에 나타내었다.

그러나, 포장상태 예측모형은 다음과 같은 보완이 필요한 것으로 판단된다.

첫째, 포장상태 예측모형에 따르면 재령에 따라 포장상태가 저하되는 식으로 표현되고 있는데 재령에 따른

<표 1> HPMS에서 적용중인 포장상태 예측모형 식

포장형식	포장종류	교통량	포장상태 예측모형
AP	일반 밀입도	-	$HPCI_n = HPCI_o - 0.1055 \times AGE$
	SMA	-	$HPCI_n = HPCI_o - 0.0606 \times AGE$
	전체		$HPCI_n = HPCI_o - 0.0683 \times AGE$
CP	JCP	AADT < 5000	$HPCI_n = HPCI_o - 0.0233 \times AGE$
		$5000 \leq AADT < 10000$	$HPCI_n = HPCI_o - 0.0428 \times AGE$
		$10000 \leq AADT < 15000$	$HPCI_n = HPCI_o - 0.0279 \times AGE$
		$15000 \leq AADT < 20000$	$HPCI_n = HPCI_o - 0.0032 \times AGE$
		$20000 \leq AADT$	$HPCI_n = HPCI_o - 0.1854 \times AGE$
	전체		$HPCI_n = HPCI_o - 0.0394 \times AGE$

※ 여기서 AP(Asphalt Pavement), CP(Concrete Pavement)

포장상태의 저하율이 매우 둔감하게 나타난다.

둘째, 현재 적용중인 포장상태 예측모형은 CP (Concrete Pavement)의 경우 교통량을 고려하여 4개 계층으로 구분하고 있는데 AADT(Annual Average Daily Traffic)가 거의 차이가 나지 않는 구간에서는 계층간 변별력이 저하된다고 판단된다.

셋째, 재령에 따른 편차가 발생하지 않는다. 이는 같은 기간에 조사할 지라도 조사구간에 따라 포장상태는 각기 다르게 나타난다고 가정을 해보면, 현재의 포장상태 예측모형에서는 조사된 구간의 포장상태 양호, 불량에 관계없이 오직 재령에 의해서 동일한 저하율을 갖는 형태로 예측값을 산정한다.

따라서 포장상태 예측모형의 변수인 교통량, 재령 및 포장상태에 대한 보완이 필요할 것으로 판단된다.

3. 포장상태 예측모형의 개선방향

3.1 모형 개선을 위한 가정

본 연구에서는 개선된 포장상태 예측모형의 신뢰성을 제고하기 위해 다음과 같은 전제조건들을 가정하였으



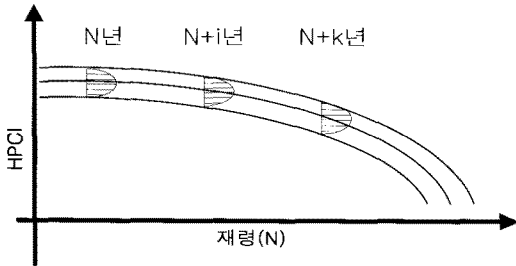
며, 2003년부터 2006년 까지 축적된 포장상태 조사 자료를 각각의 경우에 따라 회귀분석 함으로써, 이러한 가정이 적정한지를 검증한 후 그 결과를 공용성모형 및 포장상태 예측모형 개발에 적용하였다.

※ 가정 1 : 외적인 요인으로 재령과 교통량에 따라 포장상태는 저하된다.

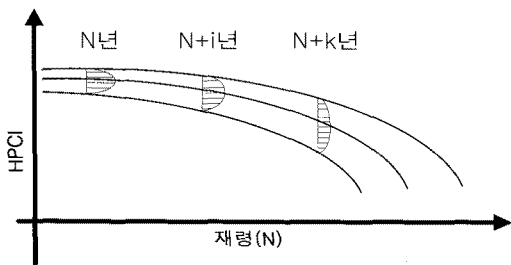
※ 가정 2 : 내적인 요인으로 포장상태는 아래의 요인에 의해 저하되는 속도가 다르다.

- AP : 신설확장(선형개량 포함), 개량(절삭 덧씌우기, 덧씌우기)
- CP : 린기층(1987년 이후 시공), 입상기층(1986년 이전 시공)

※ 가정 3 : <그림 2>와 같이 공용년수 경과에 따라 포장상태의 분포는 변화되어야 한다.



<그림 1> 재령에 따른 포장상태 분포 변화 없음 (2003년도 개발모형)



<그림 2> 재령에 따른 포장상태 분포 변화 있음 (실제 포장상태의 변화)

2003년도에 개발된 예측모형을 따르면 <그림 1>과 같이 재령이 증가하더라도 포장상태의 분포가 항상 동일하

게 나타나게 된다. 따라서, <그림 2>와 같이 포장상태의 분포가 재령에 따라 변화되도록 하는 것이 포장상태 예측모형을 현실에 더욱 부합된다고 판단하였다.

3.2 개발방향

공용성모형은 상기 3가지 가정의 검증을 위해 수행한 회귀분석 결과를 토대로 개발하였으며, 포장상태 예측모형은 앞서 개발된 공용성모형을 토대로 개발하였다.

예측모형은 확률적 예측모형과 결정적 예측모형의 2가지 형태로 검토하였으며, AP와 CP의 특징에 따라 적용할 수 있고, 또한 수선유지 및 개량대상 사업구간의 선정, 전체 포장상태 예측 등 사용목적에 적합한 결과를 얻을 수 있도록 하였다.

4. 포장상태 조사자료 분석

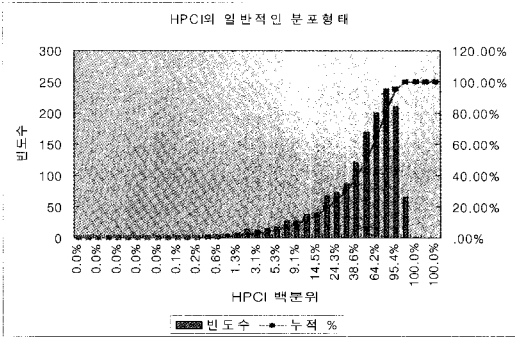
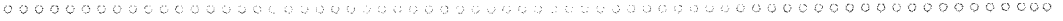
4.1 분석방법

포장상태 조사자료 분석은 1차로 다음 <표 2>와 같이 조사 자료를 분류하고 각각에 대해 공용년수를 독립변수로 하여 1차식으로 회귀분석을 실시하는 방식으로 수행하였다. 이때, 공용년수별 회귀분석을 위해 사용된 샘플의 수는 각 연도별 1,000개 이상이 되도록 하였다.

<표 2> 포장상태 조사자료 분석을 위한 분류

분류항목		세부 분류 항목
포장종류		AP(아스팔트 포장), CP(콘크리트 포장)
포장형식	AP	신설확장(선형개량 포함), 개량(절삭 덧씌우기, 덧씌우기)
	CP	린기층(1987년 이후 시공), 입상기층(1986년 이전 시공)
교통량		차로별 일교통량을 기준
HPCI		백분위 상위 50%, 25%, 15%, 5%

여기서, HPCI 값에 대한 백분위를 4가지로 분류한 이유는 <그림 3>에서 볼 수 있듯이 이 값들이 전체적인 포장상태 분포를 가장 효과적으로 표시할 수 있다고 판단되었기 때문이다.



〈그림 3〉 HPCI의 일반적 분포 형태

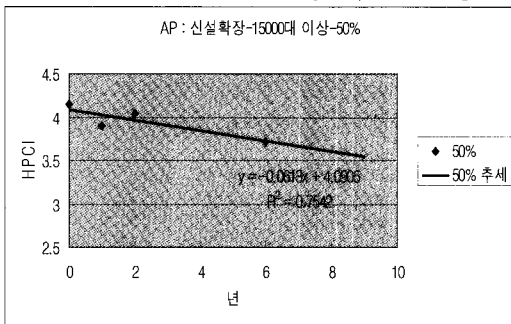
또한, 회귀분석에 사용된 포장상태 조사결과는 실제로는 개량 또는 수선유지를 통하여 일정부분 이미 보수가 이루어진 상태이므로, 실제 포장상태는 더 빠르게 저하될 것으로 판단된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 모형 개발을 위한 분석 대상구간을 보다 세부적으로 선정하고, 또한 장기적인 추적조사를 통해 확보된 추가적인 자료를 통해 모델을 보완할 필요가 있다고 판단된다.

4.2 분석결과

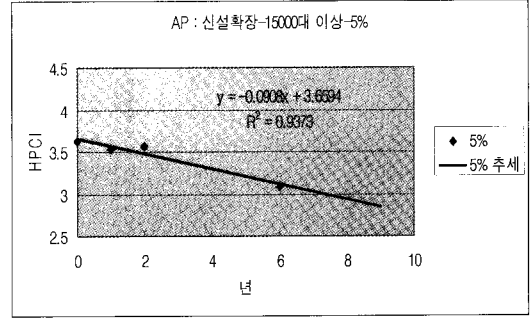
〈그림 4〉에서 〈그림 7〉은 AP구간을 일교통량 15,000대, 신설확장 및 개량구간으로 구분하여 백분위에 따라 각각 회귀분석한 예이다.

분석결과 3.1절에서 가정한 대로 포장형식, 교통량 등에 따라 포장상태가 저하되는 정도, 즉 그래프의 기울기가 서로 다르게 나타남을 알 수 있었으며 본 논문에서는 지면관계상 포장의 형식 중 신설 및 개량에 따른 회귀분석결과만 수록하였다.

■ 신설확장 : 차로당 일교통량 15,000대 이상

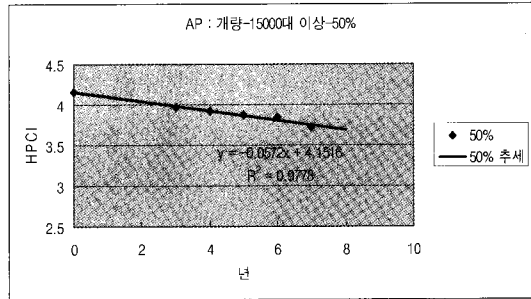


〈그림 4〉 AP신설확장 - 50 percentile

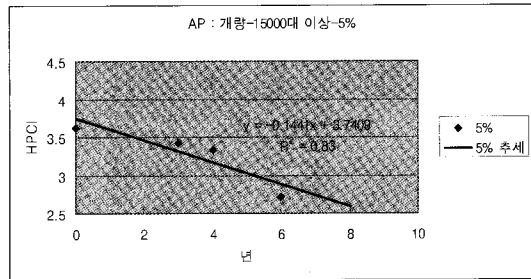


〈그림 5〉 AP신설확장 - 5 percentile

■ 개량구간 : 차로당 일교통량 15,000대 이상



〈그림 6〉 AP개량 - 50 percentile



〈그림 7〉 AP개량 - 5 percentile

5. 포장상태 공용성모형 개발

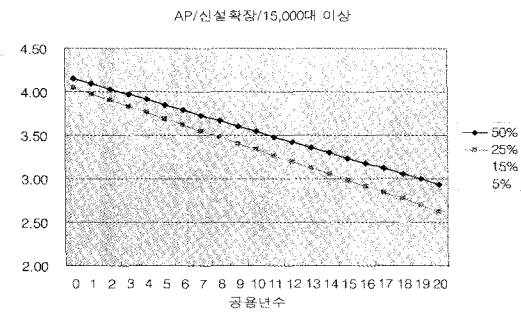
공용성모형은 실제 포장상태 변화를 분석한 회귀분석 결과를 다시 다음과 같은 조건을 만족하도록 보정하여 도출하였다.

- 포장형식별 초기 포장상태는 동일하다.
- 교통량이 많을수록 포장상태가 저하되는 정도가 크다.
- 동일한 조건에서 기존 포장상태가 나쁠수록 포장상태의 저하정도는 크다.



보정결과 도출된 각 포장형식별 공용성모형은 다음과 같으며, 각 모형 식에서 n은 공용년수를 의미한다. 그러나, 시멘트콘크리트포장의 입상기층 형식 회귀분석 결과는 거의 88올림픽선에만 해당되어 별도의 공용성모형을 도출하지 않았다.

○ 공용성 모형의 확률분포 그래프(예)



〈그림 8〉 공용성 모형의 확률분포

○ 아스팔트 콘크리트 포장구간 공용성 모형
신설, 확장구간

차로당 일 교통량 15,000대 미만	차로당 일 교통량 15,000대 이상
$HPCI_{50\%}=4.155-0.050n$	$HPCI_{50\%}=4.155-0.061n$
$HPCI_{25\%}=4.047-0.055n$	$HPCI_{25\%}=4.047-0.071n$
$HPCI_{15\%}=3.949-0.062n$	$HPCI_{15\%}=3.949-0.079n$
$HPCI_{5\%}=3.794-0.064n$	$HPCI_{5\%}=3.794-0.091n$

개량구간

차로당 일 교통량 15,000대 미만	차로당 일 교통량 15,000대 이상
$HPCI_{50\%}=4.155-0.073n$	$HPCI_{50\%}=4.155-0.078n$
$HPCI_{25\%}=4.047-0.085n$	$HPCI_{25\%}=4.047-0.090n$
$HPCI_{15\%}=3.949-0.095n$	$HPCI_{15\%}=3.949-0.110n$
$HPCI_{5\%}=3.794-0.130n$	$HPCI_{5\%}=3.794-0.144n$

○ 시멘트 콘크리트 포장구간 공용성 모형
신설, 확장구간

차로당 일 교통량 10,000대 미만	차로당 일 교통량 10,000대 이상
$HPCI_{50\%}=4.141-0.045n$	$HPCI_{50\%}=4.141-0.045n$
$HPCI_{25\%}=4.007-0.050n$	$HPCI_{25\%}=4.007-0.054n$
$HPCI_{15\%}=3.887-0.053n$	$HPCI_{15\%}=3.887-0.060n$
$HPCI_{5\%}=3.684-0.056n$	$HPCI_{5\%}=3.684-0.066n$

6. 포장상태 예측모형 개발

포장상태 예측모형은 3.3절 및 3.4절에서 개발한 공용성 모형을 토대로 개발하였으며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

6.1 확률적 예측모형

확률적 예측모형은 50%, 25%, 15%, 5%의 4가지 형태로 개발된 공용성 모형곡선을 기준으로 하여 포장상태를 예측하게 되는 방법이다. 여기서 50%, 25%, 15%, 5%는 각각 포장상태 확률을 의미하므로 자신의 포장상태 측정값에 의해 포장상태 확률을 결정하게 되며, 해당 예측식에 의해 포장상태를 결정하게 된다. 이를 구체적으로 살펴보면 우선, 4가지 포장 공용성 모형에 대상구간의 공용년수를 입력하여 해당 공용년도의 4가지 확률분포 경계값을 산출한다. 그리고 이 값과 측정값에 의한 포장상태지수를 비교하여 아래와 같은 기준에 의해 포장상태지수를 예측한다.

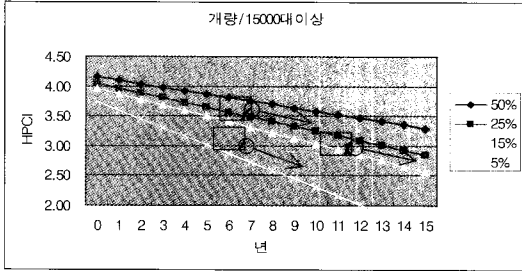
1. $HPCI_{15\%}$ 곡선 이하 : $HPCI_{15\%}$ 예측식 적용
2. $HPCI_{15\%}$ 곡선 ~ $HPCI_{25\%}$ 곡선 구간 : $HPCI_{15\%}$ 예측식 적용
3. $HPCI_{25\%}$ 곡선 ~ $HPCI_{50\%}$ 곡선 구간 : $HPCI_{25\%}$ 예측식 적용
4. $HPCI_{50\%}$ 곡선 이상 : $HPCI_{50\%}$ 예측식 적용

〈그림 9〉는 확률적 예측모형을 적용한 경우를 나타낸 그림이다. 그림에서 표시된 A와 B와 같이 포장상태가 동일한 경우도 공용년수가 다르면 포장상태의 기울기, 즉 변화량이 다르게 된다. 즉, A와 B는 실제 조사시점의 HPCI값은 3.0으로 동일하나 A는 재령이 약 7년이고, B는 약 12년 재령이므로 A는 5% 예측식을 적용하고 B는 15% 예측식을 적용하게 되어 n년 후의 HPCI값은 다르게 도출됨을 알 수 있다.

또한, A와 C의 경우와 같이 공용기간이 동일하게 7년 이지만 측정된 HPCI의에 따라 C는 25% 예측식을 적용하고 A는 5% 예측식을 적용하게 되므로 조사된 구간의 포장상태에 따라 n년 후의 HPCI값은 다르게 도출될 수



있음을 알 수 있다. 따라서 확률적 모형에 의해 포장상태를 예측하게 되면 포장상태의 분포가 커져 표준편차가 증가하게 된다.



(그림 9) 확률적 예측모형 적용예

6.2 결정적 예측모형

결정적 예측모형은 50%, 25%, 15%, 5% 4가지 경우에 대한 포장상태 예측모형을 결정하여 예측하는 방법으로, 이 방법은 기존 예측식과 유사한 결과를 나타내게 되어 포장상태 측정결과와 예측결과의 표준편차는 차이가 없게 된다.

이러한 형태의 모형은 아스팔트콘크리트포장 구간과 같이 포장상태 변동이 심한 경우나, 주요한 노선에 대한 사업계획 우선순위를 높일 필요가 있을 경우 적용할 수 있다. 적용방법을 검토해 보면 개량사업 후보구간의 포장상태는 보통 15% 이하의 범주에 속하므로 HPCI5% 예측식을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

6.3 포장상태 예측모형식

공용성모형에서 확률적, 결정적 포장상태 예측모형에 의해서 포장상태를 예측할 수 있도록 예측모형을 간단한 방법에 의해 도출하였다. 포장상태 예측모형은 결국 포장상태의 변화량(기울기)을 알 수 있으면 가능하므로, 이를 감안하여 회귀분석에 의한 공용성모형식을 미분하여 포장상태 예측식을 도출하였다.

각각에 대한 포장상태 예측모형 산출을 위한 기본과정은 다음과 같다.

- 개발된 공용성모형 식의 일반형태 :

$$HPCI = A \times N + B \quad (2)$$

- 상기 공용성모형 식을 독립변수 N(공용년수)에 의해 미분하면,

$$d(HPCI)/dN = d(A \times N + B)/dN \quad (3)$$

$$d(HPCI)/dN = A \quad (4)$$

- 상기 식에서 좌항 $d(HPCI)/dN$ 을 아래와 같이 대체 가능

$$(HPCI_i + N - HPCI_i)/N = A \quad (5)$$

- N년도 후의 포장상태예측 결과는 아래와 같은 식으로 표현

$$HPCI_i + N = HPCI_i + A \times N \quad (6)$$

여기서, $i=n$, $N=1$, $A=(-)K$ 라고 하면

$$HPCI_{n+1} = HPCI_n - K \quad (7)$$

<표 3> 및 <표 4>는 개선된 포장상태 예측모형을 정리한 것으로 상기에 의한 방법으로 5절의 공용성모형을 예측모형으로 전환한 것이다.

<표 3> 아스팔트콘크리트포장의 개선된 포장상태 예측모형

구분	교통량 (/차로)	백분위 (%)	포장상태 예측식
신설 확장	15,000 대 미만	50%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.050$
		25%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.055$
		15%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.062$
		5%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.064$
	15,000 대 이상	50%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.061$
		25%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.070$
		15%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.079$
		5%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.091$
개량	15,000 대 미만	50%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.073$
		25%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.085$
		15%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.095$
		5%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.130$
	15,000 대 이상	50%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.078$
		25%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.090$
		15%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.110$
		5%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.144$

〈표 4〉 시멘트콘크리트포장의 개선된 포장상태 예측모형

구분	교통량 (/차로)	백분위 (%)	포장상태 예측식
린기층	10,000대 미만	50%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.045$
		25%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.050$
		15%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.053$
	10,000대 이상	50%	$HPCI_{n-1} = HPCI_n - 0.045$
		25%	$HPCI_{n-1} = HPCI_n - 0.054$
		15%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.060$
		5%	$HPCI_{n+1} = HPCI_n - 0.066$

6.4 모형의 적용방법

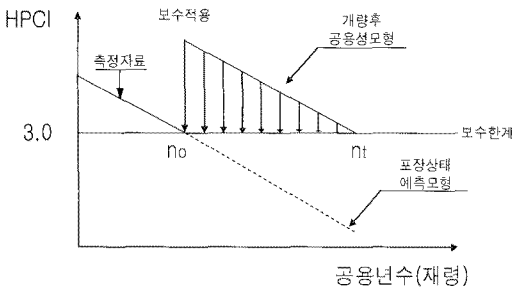
HPMS 운영을 위한 공용성 모형과 포장상태 예측모형의 적용방법은 다음과 같다.

(1) 포장상태 예측모형 적용

사업대상구간 선정을 위하여 개량 시행연도까지 포장상태의 예측

(2) 포장 공용성 모형

사업우선순위 결정을 위하여 사업대상 구간에 대한 개량이후 수명주기 동안 개량에 따른 사업효과(E), 비용(C), 또는 비용효과(E/C) 분석



$$E_R = \sum_{n=0}^{n1} (HPCI_R - HPCI_{DN}) \times AADT_{lane} \times Length$$

〈그림 9〉 사업우선순위 결정을 위한 포장공용성 및 예측모형 적용에

6.5 기존 예측모형과의 적용결과 비교

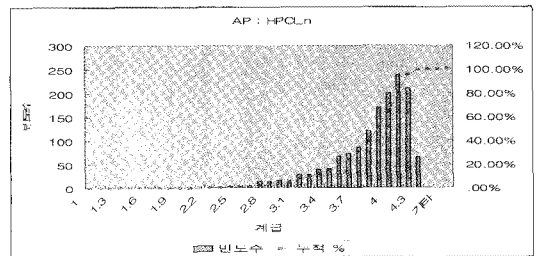
비교를 위한 예측모델은 〈표 1〉에서 AP구간, SMA형식에 적용하는 예측모형식을 사용하였다.

$$HPCI_n = HPCI_0 - 0.0606 \times AGE$$

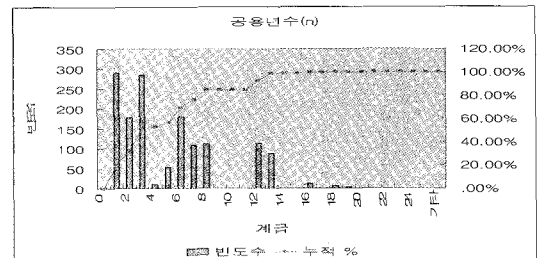
(1) 비교 대상구간

비교 대상구간 현황은 다음과 같으며, 〈그림 10〉과 〈그림 11〉은 대상구간의 포장상태 평가지수(HPCI)와 공용년수 분포를 나타낸 것이다.

- 포장종류 : 아스팔트포장구간
- 연장 : 143.9km
- 포장상태 : HPCI 평균 : 3.79(3.0이하 : 5.28%)
HPCI 표준편차=0.39,
- 공용년수 : 평균 : 5.12년, 표준편차 = 4.01



〈그림 10〉 대상구간 공용년수 분포도



〈그림 11〉 대상구간 포장상태지수(HPCI) 분포도

(2) 예측결과 비교

비교대상구간의 측정결과를 바탕으로 기존의 모형식과 개선된 모형식 2가지 등 세 가지 모형식에 대하여 HPCI 평균값, HPCI 표준편차, HPCI 3.0 이하의 비율을 기준년도와 장래예측결과를 비교분석한 결과이다. 여기서, “개선(1)” 식은 신설/확장구간에 교통량이 15,000대 이하 모형을 적용한 것이며 “개선(2)” 식은 개량구간에 교통량 15,000대 이상 모형을 적용하여 비교하였다.

① HPCI 평균값 비교

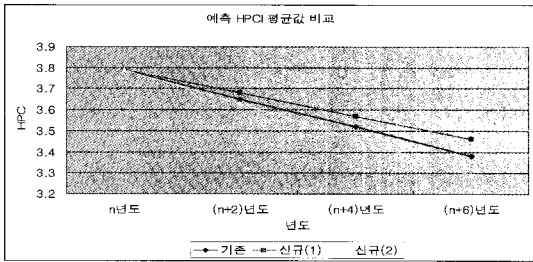
〈표 6〉에서 HPCI 평균값을 살펴보면 기준년도(n년도) HPCI의 평균은 3.79로써 세 가지 모형식 모두 동일



하다. 그러나 (n+6년)의 “개선(2)” 평균값은 3.29로 평균값이 0.5, “기존” 예측모형의 평균값은 0.41, “개선(1)” 예측모형의 평균값은 0.33감소한 것으로 나타났다. 이는 기존의 예측모형보다 신설/확장, 개량 등 포장상태 여부 및 교통여건이 반영된 것으로서 실제 현장여건을 적절히 고려하여 포장상태를 예측하고 있다는 것을 알 수 있다. <그림 13>은 예측된 평균 HPCI값을 그래프로 표현한 것이다.

〈표 6〉 HPCI 평균 비교

년도	HPCI 평균			비 고
	기존	개선(1)	개선(2)	
n				측정값
(n+2)	3.65	3.68	3.63	예측값
(n+4)	3.52	3.57	3.46	예측값
(n+6)	3.38	3.46	3.29	예측값



〈그림 12〉 HPCI 평균값 비교

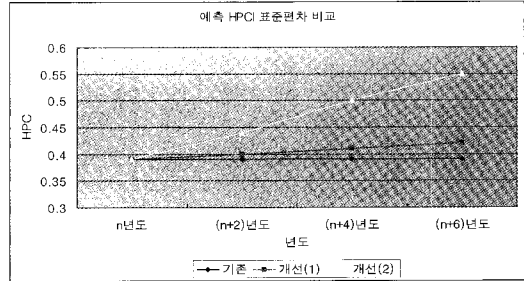
② HPCI 표준편차 비교

HPCI 표준편차를 살펴보면 기존의 예측모형식은 재령의 증가하더라도 표준편차의 변화는 없는 것으로 나타났다. 반면, 개선된 예측모형은 재령에 따라 표준편차가 증가하는 것으로 나타났으며, 교통량이 많은 “개선(2)” 모형의 표준편차가 “개선(1)” 모형의 표준편차 보다 더 크게 산출되었다.

이는 도로포장의 파손 발전 상태에 교통량 변수가 고려된 것으로서 실제 도로 포장의 파손양상을 보다 현실적으로 표현하는 것으로 나타났다.

〈표 7〉 HPCI 표준편차 비교

년도	HPCI 표준편차			비 고
	기존	개선(1)	개선(2)	
n				측정값
(n+2)		0.40	0.44	예측값
(n+4)		0.41	0.50	예측값
(n+6)		0.42	0.55	예측값



〈그림 13〉 HPCI 표준편차 예측값 비교

③ HPCI 3.0이하 비율 비교

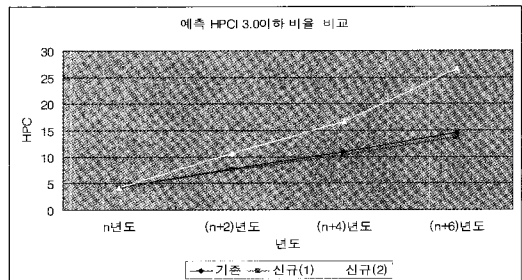
다음은 포장상태 예측을 통해 재령의 증가에 따라 HPCI 3.0이하의 비율이 어떻게 변화되는지를 살펴보았다.

<그림 15>에서 보는 바와 같이 “기존”의 모형식과 “개선(1)”의 모형식은 재령이 증가하더라도 HPCI 3.0이하의 비율은 거의 동일한 기울기로 증가하였으며, “개선(2)”의 모형식에서는 HPCI 3.0 이하의 비율이 재령증가에 따라 기울기의 변화량이 더 급하게 나타남을 알 수 있었다.

이를 통해 HPCI 3.0이하의 비율이 많은 구간 즉, 포장상태가 나쁜 구간의 장래 포장상태예측은 “기존” 예측모형보다 “개선”된 예측모형이 실제 포장상태 저하 정도를 보다 현실에 부합되도록 예측한다는 것을 알 수 있었다.

〈표 8〉 HPCI 3.0이하 비율 비교

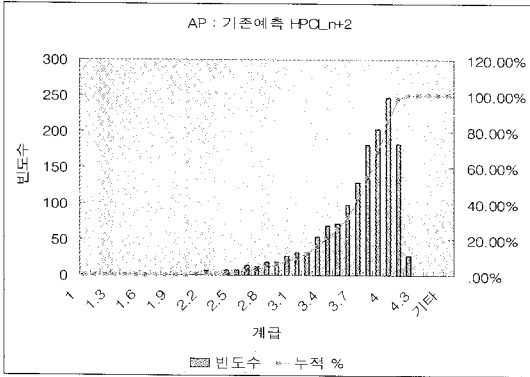
년도	HPCI=3.0이하 비율(%)			비 고
	기존	개선(1)	개선(2)	
n				측정값
(n+2)	7.71	7.51	10.63	예측값
(n+4)	10.98	10.35	16.75	예측값
(n+6)	14.52	13.76	26.62	예측값



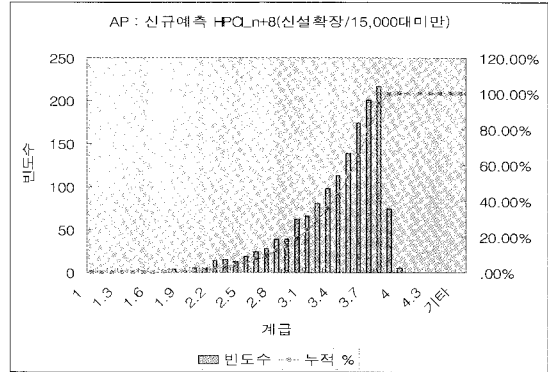
〈그림 14〉 HPCI 3.0이하 비율 비교

④ 예측년도별 누적분포도 비교

o 기존 : 예측모형 누적분포 : 단기, 장기

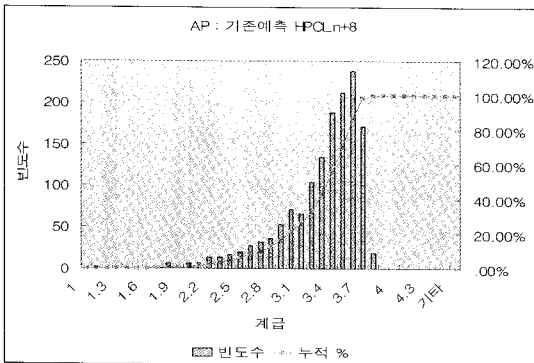


〈그림 15〉 누적분포비교-단기(n+2년)

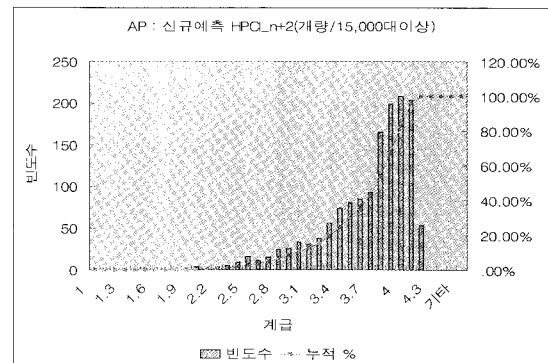


〈그림 18〉 누적분포비교-장기(n+8년)

o 개선(2) : 예측모형 누적분포 : 단기, 장기

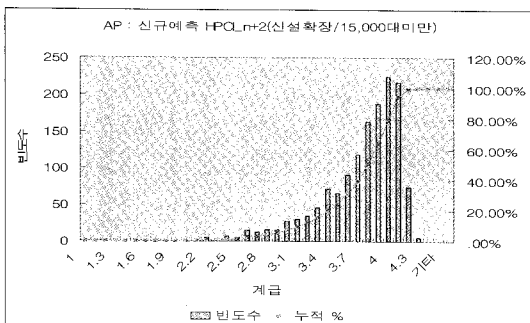


〈그림 16〉 누적분포비교-장기(n+8년)

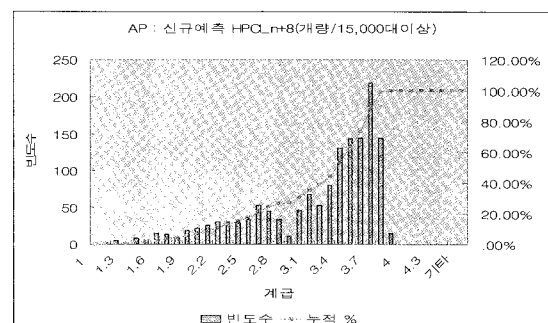


〈그림 19〉 누적분포비교-단기(n+2년)

o 개선(1) : 예측모형 누적분포 : 단기, 장기



〈그림 17〉 누적분포비교-단기(n+2년)



〈그림 20〉 누적분포비교-장기(n+8년)



7. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 포장유지관리를 위한 의사결정에 사용되고 있는 포장상태 예측모델을 검토하고 현실에 더욱 부합되도록 개선방안을 연구 하였다.

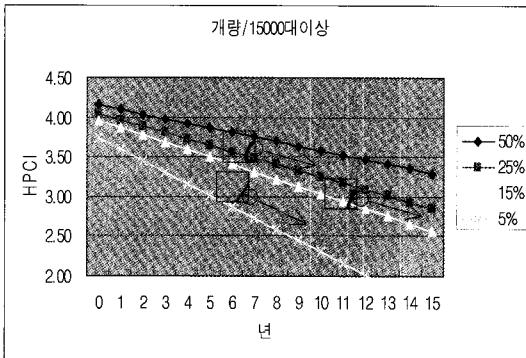
포장상태 예측모형을 개선하기 위하여 공용성 모형과 포장상태 예측모형으로 구분하였으며, 현재 포장상태가 상대적으로 나쁘거나 교통량이 많을수록 포장상태 저하 속도가 빠르게 반영되도록 하기 위하여 포장상태와 교통량에 따라 장래 포장상태 예측결과의 편차가 발생하도록 하였다.

모형을 도출하기 위해서 포장의 형식, 포장의 종류, 교통량(AADT), 등으로 구분하여 분석하였다.

공용연수를 독립변수로 하여 1차식으로 회귀분석을 수행하여 다음과 같은 공용성 모형 및 포장상태 예측모형을 개발하였다.

■ 포장상태 예측 모형 개발

○ 확률적 예측모형



〈그림 21〉 확률론적 모형

1. HPCI_{15%} 곡선 이하 : HPCI_{5%} 예측식 적용
2. HPCI_{15%} 곡선 ~ HPCI_{25%} 곡선 구간 : HPCI_{15%} 예측식 적용
3. HPCI_{25%} 곡선 ~ HPCI_{50%} 곡선 구간 : HPCI_{25%} 예측식 적용
4. HPCI_{50%} 곡선 이상 : HPCI_{50%} 예측식 적용

○ 결정적 예측모형

결정적 모형은 50%, 25%, 15%, 5% 4가지 경우에 대한 포장상태 예측모형을 결정하여 예측하는 방법이다. 결정론적 모형의 적용은 개량사업 후보구간의 포장상태는 보통 15% 이하의 범주에 속하므로 HPCI_{5%} 예측식을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

금번 연구에서는 신설 및 확장, 개량구간에 대한 공용성 및 예측모형의 개발을 하였다. 이를 통하여 포장유지관리 의사결정체계를 보다 현실적으로 반영할 수 있도록 하였다.

그러나, 현재 HPMS에서는 신설 및 확장구간, 개량구간외에 수선유지 대상구간이 존재하는데 이러한 수선유지 대상구간에 대한 유지보수공법 선정 및 적절한 우선순위 선정방법의 적정성이 미비한 상태이다. 또한, 예방적 유지관리에 대한 방법론 및 공요성 예측모형을 추가적으로 도입해야 할 것이라 판단된다.

향후에는 수선유지 및 예방적 유지관리에 대한 공용성 모형 및 예측모형을 추가적으로 개발하여 전체적인 HPMS의 효율성을 극대화하는 방안을 모색해야 할 것이다.

참고문헌

1. Ralph Haas, W. Ronald Hudson, John Zaniewski(1994), "Modern Pavement Management"
2. 한국도로공사(2005), "고속도로 포장상태 조사 및 분석, HPMS부문, 연구부문"
3. 한국도로공사(2006), "고속도로 포장상태 조사 및 분석, HPMS부문, 연구부문"
4. AASHTO(2001), "Pavement Management Guide"
5. M.Y. Shahin(1994), "Pavement Management for Airports, Roads and Parking lots"
6. NHI(1999), "Pavement Preventive Maintenance"

접 수 일 : 2008. 7. 25

심 사 일 : 2008. 7. 25

심사완료일 : 2008. 8. 7