

국도 아스팔트 포장의 NHPCI(National Highway Pavement Condition Index)를 활용한 보수공법그룹 결정에 관한 연구

A Study for Determining the Rehabilitation Method Group using NHPCI on Asphalt Concrete Pavement of National Highway

손 현 장	Son, Hyeon Jang	한국건설기술연구원 도로연구실 선임연구원 (E-mail: sonhyeonjang@kict.re.kr)
권 수 안	Kwon, Soo-Ahn	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 선임연구위원 (E-mail: sakwon@kict.re.kr)
이 재 준	Lee, Jae Jun	정회원 · 전북대학교 토목공학과 조교수 (E-mail: lee2012@jbnu.ac.kr)
백 철 민	Baek, Cheolmin	정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 수석연구원 · 교신저자 (E-mail: cmbaek@kict.re.kr)
임 재 규	Lim, Jae Kuy	한국건설기술연구원 도로연구실 선임연구원 (E-mail: jklim@kict.re.kr)
신 현 진	Sin, Hyun Jin	국토교통부 도로운영과 사무관 (E-mail: sinhyun@korea.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The PMS(Pavement Management System) has been utilized in order to efficiently allocate the limited budget for the maintenance of national highway system. In the PMS of national highway, surface pavement condition is evaluated by using the VI (Visual Index). However, the VI is determined only by considering the cracking rate (%) and rut depth (mm), which is not reflecting the IRI (International Roughness Index) that is known as an important factor of pavement performance. In this study, the NHPCI (National Highway Pavement Condition Index) which includes the cracking rate (%), rut depth (mm), and IRI (m/km) is suggested for determining the rehabilitation methods group.

METHODS : First, the rehabilitation methods performed between 2008 and 2010 on the national highway is classified and then, NHPCI is determined for each rehabilitation method. Next, the NHPCI for each rehabilitation method is grouped through the interval estimation of the population mean and T-test analysis.

RESULTS : According to NHPCI range, the rehabilitation methods are divided into four categories: Not Required, Preventive Maintenance, Overlay Treatment (with or without cutting), and Full-scale Treatment (i.e., reconstruction).

CONCLUSIONS : Based on this study, it is recommended that the appropriate NHPCI range should be determined through the combination of the rehabilitation categories and Decision Procedure of Pavement Distress Condition Visual Index.

Keywords

national highway, pavement management system, asphalt concrete pavement, national highway pavement condition index, rehabilitation

Corresponding Author : Baek, Cheolmin, Senior Researcher
Korea Institute of Construction Technology, 283, Goyangdae-Ro,
Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82-31-995-0853 Fax : +82-31-910-0161
email : cmbaek@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1980년대 이후 국가정책 및 경제성장과 더불어 도로

를 포함한 여러 사회기반시설이 증가되었다. 운송과 물
류를 담당하고 있는 도로는 경제활동 및 국민생활에 많

은 부분을 차지하는 주요 교통수단으로서 약 30년의 공
용수명이 지난 오늘날 도로를 포함한 여러 사회기반시
설에 대하여 유지보수는 중요한 사안으로 이슈화되고
있는 실정이다.

국토해양부에서는 한정된 유지보수 예산을 효율적으
로 사용하기 위하여 총 연장 약 14,000km(2010년 기
준)에 해당하는 일반국도를 대상으로 매년 정기적으로
도로포장관리시스템(PMS, Pavement Management
System)을 운영하고 있다. 도로포장관리시스템은 크게
도로망수준(Network Level)과 개별사업수준(Project
Level)으로 분류할 수 있으며, 이 중에서도 도로망수준
은 정책에 대한 결정 및 일반국도 보수예산 편성 등의
업무 등에 활용되고 있다. 또한, 매년 전체 일반국도의
약 51개 노선을 대상으로 5km당 1km씩 포장상태를 조
사하여 지역별, 지방국도관리청별, 일반국도노선별 노
면상태현황에 대해 자료를 분석 및 축적하고 있다.

일반국도 도로포장관리시스템의 노면상태조사 및 평
가는 조사대상구간을 선정한 후, 자동조사장비(ARAN
:Automatic Road Analyzer, PES:Pavement
Evaluation Surveyor)를 활용하여 포장체의 노면상태
자료(균열, 소성변형 등)를 파악하고, HWD(Heavy
Weight Deflectometer)와 GPR(Ground Penetrating
Rader) 장비를 이용하여 포장체의 구조적 지지력, 처짐
량 및 포장두께 등을 측정하고 있다. 노면상태평가는 분
석된 노면의 포장결함자료를 토대로 500m 구간에 대하
여 균열과 소성변형 깊이를 자료를 파손수준 3등급으로
분류하고 있으며, 소파 보수는 보수면적을 고려한 후,
파손의 종류별 분포면적을 백분율로 산정하여 Table 1
과 같이 포장결함상태 등급(VI, Visual Index)을 결정
하고 있다(국토해양부, 2011).

Table 1. Decision Procedure of Pavement Distress
Condition Visual Index

Rut Depth (mm)	Crack(%)	Low (< 5)	Medium (5~15)	High (> 15)
	Low (< 10)	1	2	3
Medium (10~20)	3	4	5	
High (> 20)	5	6	7	

Raise the VI by 1 if patching and pothole area are more than 10%.
The maximum VI level should be 7.

VI range (VI 1~7)

VI 등급은 균열률과 소성변형 깊이에 의해 포장상태를
7등급으로 구분하여 나타내고 있으나, 각각의 등급에서
포장상태의 정량적인 비교가 어렵고, 포장 공용성을 평
가하기 위한 주요기준인 종단평탄성이 반영되어있지 않
다. 이를 보완하기 위하여 한국건설기술연구원에서는
2007년 도로포장관리시스템 연구의 일환으로 국도포장
평가지수(NHPCI; National Highway Pavement
Condition Index)를 개발하였다. NHPCI는 국도 아스
팔트 포장의 상태를 보다 객관적이고, 체계적으로 파악
할 수 있으며, 균열률, 소성변형, 종단평탄성에 대한 주
요인자를 포함하고 있다. 하지만 NHPCI는 포장상태에
따른 보수공법 간의 범위가 명확히 구분되어 있지 않으
므로 수치적으로 구분하는 데 많은 어려움이 따른다. 따
라서 적정 유지보수시점 및 보수공법 간의 지수범위를
파악할 수 있는 기준마련이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 2008년~2010년 일반국도 아스팔트
포장의 상세조사구간에서 시행된 보수·보강공법 자료를
바탕으로 보수공법별 NHPCI 구간범위와 통계적 방법
을 활용한 보수공법그룹에 관한 연구를 다음과 같이 수
행하였다.

2. 본론

2.1. 포장상태평가지수

포장상태평가지수란, 도로이용자가 포장상태를 주관적
인 의견에 대하여 균열, 패칭, 소성변형, 종단평탄성 등과
관련시킨 수학적 모델을 뜻하며, 기존의 주관적인 포장상
태를 벗어나 객관적이고 정량적인 수치를 뜻한다(권수안
외, 2000). 도로의 포장상태를 평가하기 위한 주요인자는
Fig. 1과 같은 균열률, 소성변형, 종단평탄성 등이다.



Fig. 1 The Influential Factors for the Determination of
Pavement Condition Index (Crack, Rut Depth
and IRI)

2.2. 일반국도 포장평가지수(NHPCI, National Highway Pavement Condition Index)

일반국도의 포장상태를 정량적으로 파악하기 위해 한
국건설기술연구원에서는 2007년 도로포장관리시스템

연구과제의 일환으로써 포장평가지수인 NHPCI를 개발하였다. NHPCI는 국토관리사무소의 관리자, 산·학·연 포장 전문가로 구성된 패널(Panel)과 상세조사구간의 현장자료(균열률, 소성변형, 종단평탄성 등) 간의 통계 분석을 통하여 다음과 같은 모델식으로 개발되었다(국토해양부, 2010).

$$NHPCI = \frac{1}{(0.33 + 0.003 \times X_{cr} + 0.004 \times X_{RD} + 0.0183 \times X_{IRI})^2}, R^2 = 78\%$$

여기서, X_{cr} : 균열률(%)(mm), X_{RD} : 소성변형(mm),
 IRI : 종단평탄성(m/km) 이다.

2.3. 국외 포장평가지수의 보수공법그룹 범위

국외에서 현재 사용 중인 대표적인 포장평가지수로는 미국 주도로 교통공무원협회(AASHTO)의 PSI(Present Serviceability Index), 일본 건설성의 MCI(Maintenance Control Index), 미국 공항포장 등의 상태를 평가하기위해서 사용하는 PCI(Pavement Condition Index)가 있다(권수안 외, 2000). 국외의 포장평가지수에 대해서 Table 2와 같이 요약하였다.

Table 2. Representative Pavement Condition Index in the World
 (Kwon, S. A., et. al., 2000 ; Jeyapalan, K., et. al., 1987 ; Taniguchi, S., et. al., 2003)

Pavement Condition Index in the World		
PSI (Present Serviceability Index)	$PSI = 5.41 - 1.80 \log(1 + SV) - 0.05 \sqrt{C} + 3.3P$ <i>Rigid Pavement</i> $PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 0.01 \sqrt{C + P} - 0.21RD^2$ <i>Flexible Pavement</i> Where, SV : Slope variance C : Crack length(m ² /1000m ²) P : Patching area(m ² /1000m ²) RD : Rut depth(cm)	AASHTO
PCI (Pavement Condition Index)	$PCI = 100 - \left[\sum_{i=0}^D \sum_{j=0}^{mi} a(T_i, S_j, D_{ij}) F(t, p) \right]$ where, a() : Deduction of Distress Type(T_i), Information(S_j) and Area(D_{ij}) i : Number of Distress Type j : Number of Distress Information D : Total Number of Distress Type m_{ij} : Total Number of Distress Information(i) F(t, p) : Correction Function Total Reduction(t) and Number of Reduction(p)	USA CE
MCI (Maintenance Control Index)	$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2}$ where, MCI : Maintenance control index C : Amount of cracking(%) D : Rut depth(mm) σ : Longitudinal roughness(mm)	PWRI

국외의 포장평가지수 중 PSI는 미국주도로교통공무원

협회(AASHTO)에서 포장 서비스 수준을 객관적으로 평가하기 위한 지수로서, 도로 건설 기술자와 도로 유지관리자, 자동차 운송업자 등으로 구성된 그룹이 실험도로를 주행 시험을 통해 포장의 서비스 등급 IPRS(Individual Present Serviceability Rating)을 0~5점으로 개별평가를 실시하였으며, 파손량에 대하여 직접 측정된 값과의 통계분석을 거쳐 5점 체계로 정량화한 것이다. PSI는 주로 아스팔트 포장과 콘크리트 포장으로 분류를 하여 평가할 수 있고, 주요인자로는 균열, 패칭, 소성변형과 종단평탄성으로 구성하고 있다.

PSI 보수범위로는 포장상태평가결과에 따라서 일반적으로 PSI가 2.5 이하 시 덧씌우기가 필요한 범위로 인식하며, 1.5 이하 시 포장파괴로 판단하고 있다(국토해양부, 2008). PSI 등급 범위로는 Table 3과 같이 나타내고 있다.

Table 3. The Range of PSI of AASHTO (Jeyapalan, K., et. al., 1987)

Pavement Condition	Level
Very Poor	0 ~ 1
Poor	1 ~ 2
Fair	2 ~ 3
Good	3 ~ 4
Very Good	4 ~ 5

PCI는 일반적으로 많이 사용하는 포장상태지수로서, 공항포장과 시도로 및 지방도 등에 적용하기위하여 미공병단(The US Army Corps of Engineers)에 의해서 개

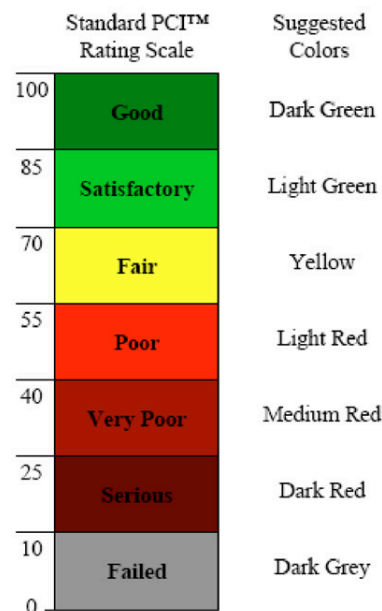


Fig. 2 Pavement Condition Index(PCI), Rating Scale, and Suggested Colors(ASTM, D6433-11)

발되었다(Keifer, K., et. al., 2007). PCI의 정량적인 산정절차는 포장의 파손자료를 토대로 포장의 상태를 정량적으로 산정할 수 있으며, PCI의 범위는 색상에 따라 포장의 상태를 100~0까지로 나타낸다.

각각의 등급별로 Good, Satisfactory, Fair, Poor, Very Poor, Serious, Failed 순으로 포장상태를 Fig. 2와 같이 보여주고 있다.

MCI는 일본의 포장 평가지수로서, 미국의 PSI를 참고하여 개발하였다. MCI는 1979년부터 약 3년간 신설, 덧씌우기 공사 후의 공용성 및 노면성상, 유지보수비 및 보수공법에 관해 조사를 실시하였으며(국토해양부, 2008), 도로관리자의 관점에서 노면성상의 좋고, 나쁨을 Table 4와 같이 등급화하고 있다.

Table 4. MCI Range for Pavement Management (Taniguchi, S., et. al., 2003)

MCI	Management level
More Than 5	not needing repair (desirable management level)
3 to 5	needing repair
Less than 3	needing immediate repair

2.4. 국내 포장평가지수의 보수공법그룹 범위

국내의 포장평가지수로는 한국도로공사에서 고속도로의 포장상태를 평가하기 위하여 개발한 HPCI (Highway Pavement Condition Index)와 서울시의 방대한 관할 노선을 체계적으로 관리할 수 있도록 개발한 서울시 포장평가지수 SPI(Seoul Pavement Index) 등이 있으며, Table 5(국토해양부, 2008)와 같이 요약하였다.

Table 5. Pavement Condition Index in Korea

Pavement Condition Index in Korea	
HPCI (Highway Pavement Condition Index)	<p><i>Asphalt Concrete Pavement</i> $HPCI = 4.564 - 0.348 \times IRI - 0.36 \times RD - 0.01 \sqrt{5(C') + AREA'}$ where, IRI: International Roughness Index(m/km) RD: Rut depth(cm) C': temperate Cracking(m/100m) AREA': Alligator Cracking and Patching Area per Unit Section(m²/100m)</p> <p><i>Portland Concrete Pavement</i> $HPCI = 7.35 - 4.65 \log(1 + IRI) - 1.06 \log(10 + 2.5C') - 0.32 \log(10 + 2.5P)$ where, IRI: International Poughness Index(m/km) B: Auto Road Analyzer of Width C': Cracking(m/(B×100)m²) P: Patching(m²/(B×100)m²)</p>
SPI (Seoul Pavement Index)	<p>$PDI = [(10 - SPI_1)^5 + (10 - SPI_2)^5 + (10 - SPI_3)^5]^{\frac{1}{3}}$ $PSI = 10 - PDI$ where, SPI: Seoul Pavement Condition Index PDI: Pavement Distress Index</p>

HPCI는 한국도로공사에서 개발한 고속도로 포장상태지수로써 보수대상구간의 선정에 사용되고 있으며, AASHTO의 PSI를 기본 모델로 하여 도출된 HPCI는 포장의 다양한 결함(균열, 소성변형, 소파보수 등)을 하나의 수치로 나타낸 것으로 고속도로의 포장상태를 정량화하기 위해 다양한 구간의 결함조사와 평가단에 의해 산정되었다(한국도로공사, 2007).

HPCI의 등급기준은 1등급에서 5등급까지 등급화되어 있으며, HPCI는 등급에 따라 평가결과(HPCI)의 범위가 분류되고, 포장의 상태 및 대응책을 Table 6과 같이 요약하고 있다.

Table 6. Levels based on HPCI in Korea Expressway Corporation (KEC, 2007)

Level	HPCI	Condition	Action
1	More than 4.0	Very Good	Do nothing
2	3.5~4.0	Good	Preventive maintenance
3	3.0~3.5	Fair	Maintenance
4	2.0~3.0	Poor	Rehabilitation
5	Less than 2.0	Very Poor	Immediate rehabilitation

서울시 포장평가지수(SPI; Seoul Pavement Index)는 서울시 내의 관할노선을 체계적으로 관리할 수 있도록 객관적이고 정량적으로 포장상태를 표현하기 위해 개발한 지수이다.

SPI는 HPCI와 마찬가지로 포장의 주요 결함인자인 균열, 소성변형, 종단평탄성에 대하여 개별지수를 산출 후, 3가지(균열, 소성변형, 종단평탄성)의 개별 파손지수를 종합하여 포장평가지수를 표현한다. SPI는 포장상태를 '매우양호', '양호', '보통', '불량', '매우불량' 등으로 전체 5등급으로 분류하고 있으며, 각각의 포장상태에 따라 보수공법과 보수시기를 고려하여 10점 체계의 배점을 Table

Table 7. Pavement Condition Level for SPI Value

Level	Condition	Pavement Condition	Maintenance Method
10~8	Very Good	Similar to new pavement	Not required
8~7	Good	Partially distressed	Routine maintenance
7~5	Fair	Maintenance is required within a short time	Preventive maintenance or appropriate maintenance
5~3	Poor	Maintenance is 1~2 years overdue	Rehabilitation is required
3~0	Very Poor	Maintenance is long overdue	Repaving is required

7과 같이 개략적으로 보여주고 있다(국토해양부, 2008).

이상과 같이, 국내·외 각각의 포장평가지수에 대한 등급과 범위, 보수공법 등을 검토하였다. 대부분 포장평가지수는 포장의 상태를 평가하고, 유지보수 시점을 파악하기 위한 지수로 사용되었으며, 각각의 포장상태별 그룹과 포장상태지수의 범위를 제시함으로써 포장상태를 정량적으로 파악할 수 있었다. 반면에, 국내 국도의 경우 국도포장평가지수인 NHPCI에 대하여 개발은 이루어졌으나, 포장상태에 따른 적정 보수범위에 대한 구분이 어렵다. 따라서 포장상태를 수치적으로 파악할 수 있는 보수공법그룹별 NHPCI 범위에 대하여 다음과 같은 산정절차를 따라 제시하였다.

3. 보수공법그룹에 대한 NHPCI 적정범위 산정절차

본 연구에서는 일반국도 아스팔트 포장(상세조사구간) 구간의 보수공법그룹을 산정하기 위해 상세조사구간의 2008년~2010년에 시행된 보수·보강공법을 토대로 연도

별 보수·보강공법의 NHPCI 평균값으로 구간추정을 실시하였다. 또한 추정된 NHPCI 평균값의 구간범위를 통계적 방법을 활용하여 보수공법그룹 간 구간범위의 차이를 검증하였으며, 이를 토대로 보수공법그룹을 최종적으로 제시하였다. 일반국도 아스팔트 포장의 보수공법그룹별 NHPCI 적정범위에 대한 산정절차는 Fig. 3과 같다.

3.1. 보수공법그룹에 대한 NHPCI 적정범위 산정을 위한 D/B 구축

일반국도 아스팔트 포장(상세조사구간) 구간의 2008년~2010년에 시행된 보수·보강공법을 토대로 공법별 NHPCI 범위를 산정하기 위해 균열률(%), 소성변형(mm), 종단평탄성(m/km)에 대한 D/B를 구축하였다. NHPCI의 산정에 필요한 D/B 구축(예)을 Table 8과 같이 도식화하였다.

3.2. 연도별 시행된 보수·보강공법

일반국도 아스팔트 포장(상세조사구간) 구간의 2008년~2010년에 시행된 보수·보강공법은 전체 11가지 공

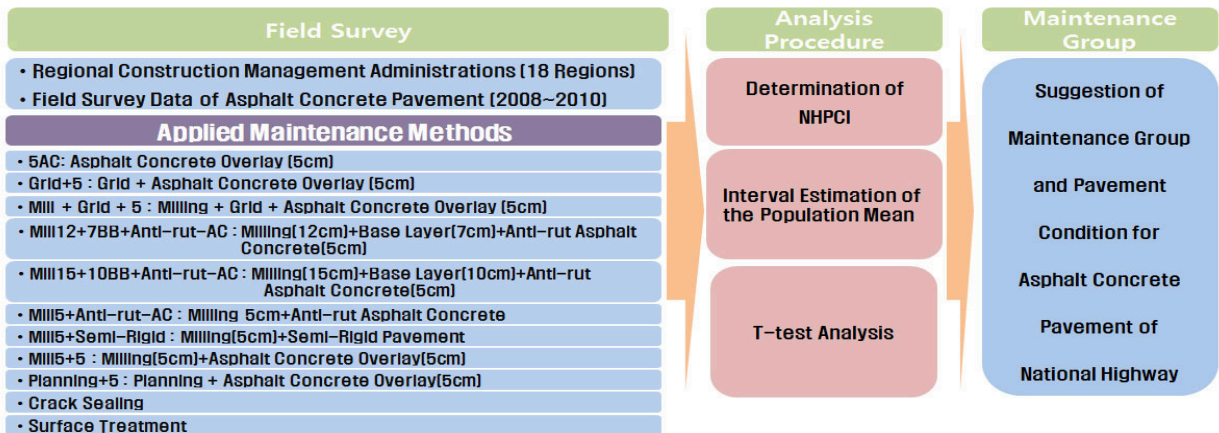


Fig. 3 A Determination Procedure of Maintenance and Rehabilitation Methods for National Highway

Table 8. Establishment of Database for NHPCI Determination

구간 ID	노선	방향	차로	구간 번호	구간 연장	선형 균열	거북 등	스파 보수	포트 홀	기타	선형 균열 용	거북 등 균열 용	스파 보수 용	포트 홀 발생 용	기타 발생 용	중균열 용	스파 보수 용	IRI	RUT	보수 공법	NHPCI
T091105	37	진	2	D091111	10	0.9	0	0	0	0	0.77	0	0	0	0	0.77	0	6.63	16.7	5	3.69
T091105	37	진	2	D091111	10	0.9	0	0	0	0	0.77	0	0	0	0	0.77	0	3.31	3	5	6.1
⋮ 중 략 ⋮																					
T0992A9	31	반	4	D0992A9	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.71	3.00	5	4.83
T0992A9	31	반	4	D0992A9	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.74	5.50	5	3.92

법에 대해 시행되었으며, Table 9와 같이 요약된다.

Table 9. Maintenance and Rehabilitation Methods Applied on Asphalt Concrete Pavement of National Highway between 2008 and 2010

Annual Maintenance and Rehabilitation Methods		
2008	2009	2010
<ul style="list-style-type: none"> • 5AC • Grid+5 • Mill12+7BB+Anti-rut-AC • Mill 5+5 • Mill 5+Anti-rut-AC • Planing+5 • Crack Sealing • Surface Treatment 	<ul style="list-style-type: none"> • 5AC • Grid+5 • Mill12+7BB+Anti-rut-AC • Mill15+10BB+Anti-rut-AC • Mill 5+5 • Mill 5+Grid+5 • Mill 5+Anti-rut-AC • Crack Sealing • Surface Treatment 	<ul style="list-style-type: none"> • 5AC • Mill12+7BB+Anti-rut-AC • Mill 5+5 • Mill 5+Grid • Mill 5+Anti-rut-AC • Mill 5+AC+Semi-Rigid • Planning 5+5 • Surface Treatment

3.3. 연도별 시행된 보수·보강공법의 NHPCI 구간범위

일반국도 아스팔트 포장(상세조사구간) 구간의 2008년~2010년에 시행된 공법별 NHPCI 범위는 각각 보수·보강공법에 따라 서로 다른 분포를 보였다. 이에 대한 히스토그램 및 정규분포를 Fig. 4~Fig. 6과 같이 도식화하였다.

선행연구에서는 예방적 유지보수, 절삭 덧씌우기, 덧씌우기 공법으로 크게 3가지로 분류를 하였으나, 이 중 일반 덧씌우기와 절삭 덧씌우기에 대해 NHPCI 값의 범위가 중첩이 됨으로써, 절삭 덧씌우기와 일반 덧씌우기에 대해 보수공법 결정 시 두 공법을 모두 제시하기에는 무리가 있는 것으로 판단되어(김다혜 외, 2010), 절삭 덧씌우기와 일반 덧씌우기를 하나의 덧씌우기(일반, 절삭) 공법으로 통합하여 NHPCI 구간범위를 산정하였다.

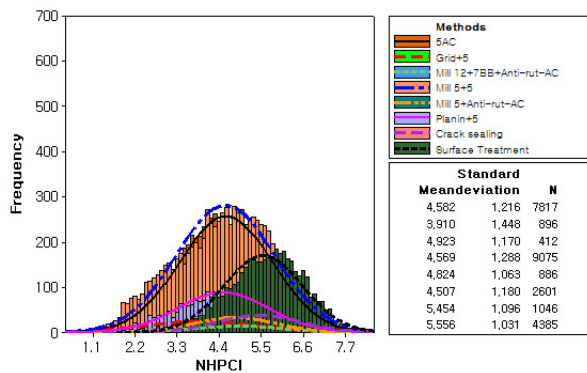


Fig. 4 NHPCI Histogram and Normal Distribution of Asphalt Concrete Pavement in National Highway (2008)

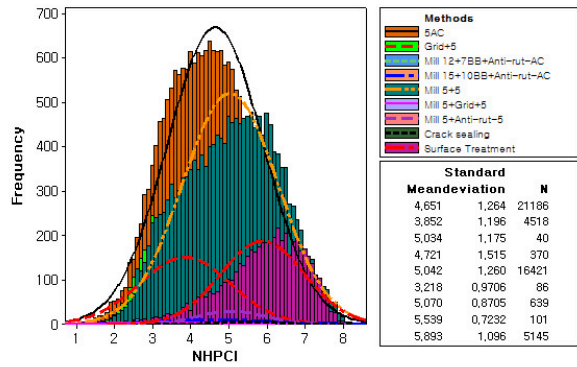


Fig. 5 NHPCI Histogram and Normal Distribution of Asphalt Concrete Pavement in National Highway (2009)

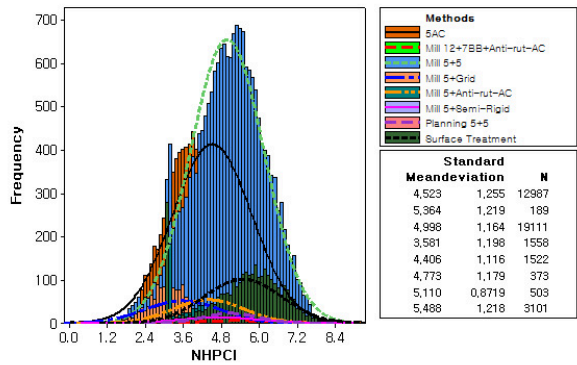


Fig. 6 NHPCI Histogram and Normal Distribution of Asphalt Concrete Pavement in National Highway (2010)

일반국도에 2008년~2010년에 시행된 각각의 공법별 NHPCI 범위를 비교하기 위해 모평균 구간추정을 실시하였으며, 실시한 결과는 다음의 Table 10과 같

Table 10. NHPCI Range Applied to Asphalt Concrete Pavement of National Highway between 2008 and 2010

Method	Interval Estimation of NHPCI (Reliability 95%)			Range (Mean)			
	2008	2009	2010				
Preventive Maintenance	Surface Treatment	5.52~5.59	5.86~5.92	5.45~5.53	5.50 ~		
	Crack Sealing	5.39~5.52	5.4	5.68	-	5.64	
Overlay	5AC	4.56~4.61	4.63~4.67	4.5	4.54	4.65 ~	
	Planning+5AC	4.46~4.55	-	-	5.03~5.19	4.74	
	Mill 12+7BB+Anti-rut-AC	4.81	5.04~4.66	5.41	5.19	5.54	
	Mill 15+10BB+Anti-rut-AC	-	-	4.57~4.88	-	-	4.73 ~
	Mill 5+5AC	4.54	4.6	5.02~5.06	4.98	5.01	4.96
	Mill 5+Anti-rut-AC	4.75	4.89	5.0	5.14	4.35	4.46
Mill 5+Semi-Rigid	-	-	-	-	4.65	4.89	
Rehabilitation	Grid+5AC	3.81	4.0	3.82~3.89	-	-	3.54 ~
	Mill 5+Grid+5AC	-	-	3.01~3.43	3.52	3.64	3.74

이 요약된다. 가장 높은 NHPCI 범위로는 예방적 유지보수(균열실링, 표면처리)를 약 5.50~5.64로 나타났고, 그 다음 순으로는 일반 덧씌우기가 4.65~4.74, 절삭 덧씌우기가 약 4.73~4.96의 범위 순으로 나타났다. 가장 낮은 NHPCI 범위로는 보강공법(그리드+5AC, 절삭5+그리드+5AC)으로 약 3.54~3.74의 범위를 보였다.

4. NHPCI 적정범위 산정을 위한 공법별 T-Test 분석

일반국도 아스팔트 포장(상세조사구간, 2008년~2010년)의 NHPCI 구간범위에 대해서 최종적으로 3가지 공법으로는 예방적 유지보수, 덧씌우기(일반, 절삭), 보강공법으로 분류하였다. 또한 공법 간 구간범위의 차이를 검증하기 위하여 T-Test를 실시하였다. 여기서, T-Test란 두 집단 간의 통계적 차이를 검증하는 모수적 검증 방법 중 하나로써, 본 연구에서는 예방적 유지보수와 덧씌우기(일반, 절삭), 덧씌우기(일반, 절삭)와 보강공법에 대하여 NHPCI 구간범위에 대한 차이를 통계적으로 검증하기 위해 사용하였다. T-Test는 예방적 유지보수와 덧씌우기(일반, 절삭), 덧씌우기(일반, 절삭)와 보강공법 순으로 각각에 대하여 검정을 아래와 같이 실시하였다.

예방적 유지보수와 덧씌우기(일반, 절삭)에 대하여 T-Test를 실시한 결과 Data 수 $N \geq 30$ 이므로 대표본 근사에 의해 정규성을 따르며, 독립표본 T 검정을 실시한 결과, Levene의 등분산 검정을 통해 유의확률 P -value < 0.05 이므로 등분산은 가정되지 않았다. 또한, 평균의 동일성에 대한 t -검정결과 유의확률(양쪽)이 P -value < 0.05 이므로 예방적 유지보수와 덧씌우기(일반, 절삭)

Table 11. Independent Sample Test of Preventive Maintenance and Overlay Applied between 2008 and 2010

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Mean								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NHPCI	Equal variances assumed	452.01	0.00	79.78	107908	0.00	0.90	0.01	0.88	0.92
	Equal variances not assumed			86.67	19183	0.00	0.90	0.01	0.88	0.92

의 NHPCI 평균값은 통계적으로 차이가 있는 것으로 나타났다. 위에 대한 결과는 Table 11과 같이 요약된다.

덧씌우기(일반, 절삭)와 보강공법에 대해 T-Test를 실시한 결과, Data의 수 $N \geq 30$ 이므로 대표본 근사에 의해 정규성을 따르며, 독립표본 t 검정결과 Levene의 등분산 가정에서 유의확률이 P -value < 0.05 이므로 등분산이 가정되지 않는다. 또한, 평균의 동일성에 대한 t -검정결과 유의확률이 P -value < 0.05 이므로 덧씌우기(일반, 절삭)와 보강공법의 NHPCI 평균값은 통계적으로 차이가 있는 것으로 Table 12와 같이 요약된다.

Table 12. Independent Sample Test of Overlay Applied between 2008 and 2010

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
NHPCI	Equal variances assumed	44.01	0.00	62.88	101187	0.00	0.97	0.02	0.94	1.00
	Equal variances not assumed			63.47	8175	0.00	0.97	0.02	0.94	1.00

따라서, 예방적 유지보수와 덧씌우기(일반, 절삭), 덧씌우기(일반, 절삭)와 보강공법 간에 대해서 공법별 NHPCI 평균값은 각각에 대하여 통계적으로 차이가 있는 것을 확인할 수 있었다.

5. 보수·보강공법별 NHPCI 적정범위 제시

일반국도 아스팔트 포장(상세조사구간, 2008년~2010년)의 시행된 전체 11가지 공법에 대해서 앞서 언급한 바와 같이, 예방적 유지보수, 덧씌우기(절삭 덧씌우기, 일반 덧씌우기), 보강공법 순으로 전체 3가지 공법으로 분류를 하였다. 위의 독립표본 T-Test를 통해 각각의 공법별 NHPCI 평균값에 대하여 차이가 있는 것을 통계적으로 확인할 수 있었다. 따라서 최종적으로 분류된 3가지 공법은 Fig. 7과 같은 정규분포를 나타내고 있으며, 이를 토대로 각각의 3가지 공법에 대한 모평균 구간추정 범위를 Table 13과 같이 산정하였다.

Table 13은 전체 3가지로 분류된 예방적 유지보수, 덧씌우기(일반, 절삭), 보강공법을 NHPCI 평균값에 대하여 신뢰구간 95%에 따른 모평균 구간추정을 실시한

결과, 예방적 유지보수는 구간범위가 5.64~5.68, 덧씌우기(일반, 절삭)는 4.75~4.77로 나타났으며, 보강공법으로는 3.76~3.82의 구간범위로 나타났다.

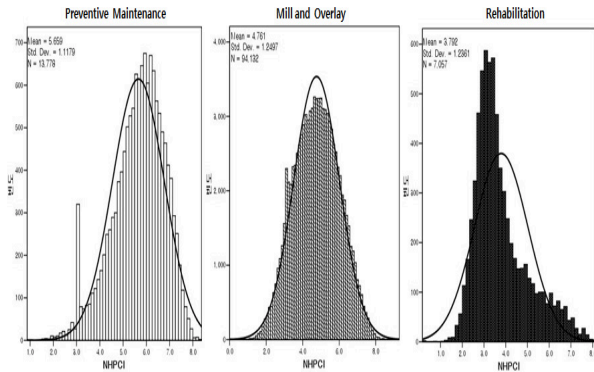


Fig. 7 NHPCI Normal Distributions for Preventive Maintenance, Overlay, and Preservation Methods (2008~2010)

Table 13. Interval Estimation of the Population Mean for NHPCI based on Maintenance Methods

Content	Preventive Maintenance	Overlay	Rehabilitation
Interval estimation of the population mean (reliability 95%)	5.64~5.68	4.75~4.77	3.76~3.82

본 연구를 통해 일반국도 아스팔트 포장에 대한 최종 보수공법결정에 대하여 국내·외 포장평가지수를 검토한 후 NHPCI의 보수공법과 적정범위를 최종적으로 산정하였다.

공법별 NHPCI의 보수공법 및 적정범위으로써 9.18 이하~6.0 이상의 경우 포장상태가 매우 양호함으로써 보수가 불필요한 범위이며, NHPCI 6.0 미만~5.5 이상은 예방적 유지보수(표면처리, 균열실링)를 실시하는 것이 타당할 것으로 판단된다. NHPCI가 5.5 미만~4.0 이상

Table 14. Appropriate NHPCI Ranges for Maintenance Group

Maintenance Group (Pavement Condition)	NHPCI Range
No Maintenance (Very Good)	6.0~9.18
Preventive Maintenance (Good)	5.5~6.0
Overlay (Fair)	4.0~5.5
Rehabilitation (Poor)	0.0~4.0

은 덧씌우기(일반 덧씌우기 또는 절삭 덧씌우기)를 실시하며, 마지막으로 NHPCI가 4 미만인 경우는 보강공법 이상의 공법이 필요할 것으로 판단된다. 따라서 Table 14와 같이 보수공법그룹에 따른 NHPCI 적정범위에 대하여 제시하였다.

6. 결론

본 연구에서는 국내 일반국도 아스팔트 포장의 상세 조사구간에 시행된 보수·보강공법을 토대로 통계적 기법을 활용하여 보수공법그룹에 대한 NHPCI 적정범위를 추정하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 보수공법그룹으로는 보수 불필요(Very Good), 예방적 유지보수(Good), 덧씌우기(일반 or 절삭)(Fair), 보강공법(Poor)으로 전체 4가지 그룹으로 분류하였다.
2. 예방적 유지보수, 덧씌우기(일반, 절삭), 보강공법 대한 구간범위의 차이를 통계적으로 구분하기 위해 T-Test를 실시한 결과, 예방적 유지보수와 덧씌우기(일반, 절삭), 덧씌우기(일반, 절삭)와 보강공법에 따른 검정결과, 모든 공법에 대하여 NHPCI 평균값에 대한 범위가 통계적으로 차이가 있었다.
3. 보수공법그룹에 따른 NHPCI 적정범위로는 NHPCI 범위가 9.18 이하~6 이상의 경우 보수가 불필요(상태양호)하며, NHPCI 6 미만~5.5 이상은 예방적 유지보수(표면처리, 균열실링)를 실시하고, 5.5 미만일 경우 덧씌우기(일반 덧씌우기, 절삭 덧씌우기), NHPCI 범위가 4.0 미만 시 보강공법 이상의 공법이 필요할 것으로 사료된다.
4. 보수공법그룹에 대한 NHPCI의 적정범위는 전체 4가지로 분류된 보수공법그룹과 더불어 도로포장관리 시스템의 보수공법결정체계 흐름도를 함께 병행하여 결정해야 할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해서 국내 일반국도 아스팔트 포장의 보수공법그룹에 따른 NHPCI 적정범위와 보수공법결정체계 흐름도를 함께 병행함으로써, 일반국도의 포장상태를 등급화하고, 유지보수 및 보강시점을 정량화할 수 있을 것으로 사료된다. 향후 전문가의 자문 등을 통해 일반국도의 보수공법그룹과 보수공법결정체계 흐름도에 대하여 적정범위를 검토할 수 있는 추가적인 연구가 함께 이루어져야 할 것으로 판단된다.

References

- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. *Annual Research Report of the National Highway Pavement Management System*. 2007.
- (국토해양부, “2007 도로포장관리시스템 연구보고서”, 2008)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. *Annual Research Report of the National Highway Pavement Management System*. 2008.
- (국토해양부, “2008 도로포장관리시스템 연구보고서”, 2009)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. *Annual Research Report of the National Highway Pavement Management System*. 2009.
- (국토해양부, “2009 도로포장관리시스템 연구보고서”, 2010)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. *Annual Research Report of the National Highway Pavement Management System*. 2010.
- (국토해양부, “2010 도로포장관리시스템 최종보고서”, 2011)
- Kwon, S. A., N. H. Kim, and Y. C. Suh. A Study on Development of the Concrete Pavement Condition Index. *Korean Society of Road Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 145-154, 2000.
- (권수안, 김남호, 서영찬(2000). “콘크리트 포장상태 평가지수의 개발에 관한 연구”, 한국도로포장공학회지, 제2권 3호, pp.145-154)
- Kim, D. H., S. A. Kwon, Y. C. Suh, and K. S. Lim. Development of Rehabilitation Criteria of National Highway Pavement. *Korean Society of Road Engineering*, Vol. 11, No. 2, pp. 37-44, 2009.
- (김다혜, 권수안, 서영찬, 임광수(2009), “국도 아스팔트 콘크리트 포장의 보수공법 결정 기준 연구”. 한국도로학회, 제 11 권 제 2호(통권 40호) 한국도로학회 논문집, pp. 37-44)
- Kim, D. H., J. G. Lim, Y. H. Park, M. I. Kim, and T. H. Lee. Suggestion of Maintenance Methods for Asphalt Concrete Pavement of National Highway using NHPCI. *Korean Society of Civil Engineers*, The 36th Conference Proceedings, pp. 821-824, 2010.
- (김다혜, 임재규, 박영한, 김명일, 이태훈(2010), “국도포장상태 평가지수(NHPCI)를 활용한 국도 아스팔트 포장의 유지보수 공법 기준 제시”. 대한토목학회, 제36회 대한토목학회 정기학술대회, pp .821-824)
- Korea Expressway Corporation, *Investigation of Highway Condition and Analysis(HPMS), Final Report*, 2007.
- (한국도로공사, “고속도로 포장상태 조사 및 분석(HPMS 부문) 최종보고서”, 2007)
- ASTM D6433-11. *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.
- Jeyapalan, K., J. K. Cable, R. Welper. Demonstration Project No. 72, Automated Pavement Data Collection Equipment Roughness and Profile Measurement. *Iowa DOT Evaluation of the PASCORoad Survey System*, FHWA-DP-72-2, 1987.
- Lee, J. S., Y. C. Suh, S. A. Kwon, G. Y. Kim, and K. S. Lim. Development of Pavement Condition Index for Korean Asphalt National Highway and Decision Criteria for Resurfacing. Chinese Society of Pavement Engineering, *International Journal of Pavement Research and Technology*, Vol. 2, pp. 106-114, 2009.
- Keifer, K., L. Canney, W. Weldorn, and D. Sawahata. Rehabilitation Strategies for Highway Pavement. *Contractor's Final Report*, Project C1-38, NCHRP, 2007.
- Taniguchi, S., and T. Yoshida. Calibrating HDM-4 Rutting Model on National Highways in Japan. *Permanent International Association of Road Congresses, 22nd World Road Congress*, 2003.
- (접수일 : 2012. 3. 14 / 심사일 : 2012. 3. 22 / 심사완료일 : 2013. 4. 1)