

노후 콘크리트 포장 파손에 대한 현장조사 및 실내시험 방법

Methodology of Field Investigation and Laboratory Test for Distresses of Old Concrete Pavements

이 기 상	Lee, Ki Sang	정희원 · 인하대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (E-mail : lks8948@naver.com)
이 준 혁	Lee, Jun Hyeok	정희원 · 인하대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 (E-mail : wnsgr4751@naver.com)
강 민 수	Kang, Min Soo	정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 (E-mail : minsu92@ex.co.kr)
조 남 현	Cho, Nam Hyun	정희원 · 인천국제공항공사 공항연구소 연구원 (E-mail : t99ending@naver.com)
정 진 훈	Jeong, Jin Hoon	정희원 · 인하대학교 공과대학 사회인프라공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : jhj@inha.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to suggest a specific investigation guideline to decide priority of repairing old concrete pavements that pile up substantially.

METHODS : In this study, a principle of division of homogeneous sections was proposed to reflect the characteristics of the pavement reasonably in the specific investigation results. In addition, a checklist and guideline of field investigation were suggested for the old concrete pavement sections, which require inspection toward their durability and structural performance. Furthermore, the items of laboratory test necessary to the old concrete pavement were suggested based on the existing laboratory test considering characteristics of the old concrete pavement. The present condition of the old concrete pavement could be analyzed by the test results.

RESULTS : A method of division of homogeneous sections suitable for the specific investigation of the old concrete pavement was suggested. The proportions of distress severity of pavement sections were compared by distress type to figure out the present state of the old concrete pavement. Scaling, durability cracking (or alkali-silica reaction), and longitudinal spalling were selected as the most severe distress types. The detailed positions of the sections were also suggested. The checklist of the specific investigation was categorized by field survey and laboratory test, and its evaluation criteria were proposed. The three types of the sections of durability cracking (or alkali-silica reaction), bridge connection, and asphalt overlay were selected as the sections of the field survey. The compressive strength, void structure, and chloride penetration depth were suggested as the items of the laboratory test.

CONCLUSIONS : A fundamental level of the guideline was suggested in this study to resolve the problem of old concrete pavement. Appropriate guidelines related to the repair of the old concrete pavement should be provided by performing additional research efforts.

Keywords

old concrete pavement, field investigation, laboratory test, distress

Corresponding Author : Jeong, Jin Hoon, Associate Professor
Department of Civil Engineering, Inha University, 100 Inha-ro,
Nam-gu, Incheon, 22212, Korea
Tel : +82.32.860.7574 Fax : +82.32.873.7560
E-mail : jhj@inha.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

http://www.ksre.or.kr/

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received May, 13, 2016 Revised Sep, 28, 2016 Accepted Sep, 29, 2016

1. 서론

국내 고속도로망 중 14개 노선이 국토종합개발계획이

시작된 1970년대에 건설되었으며, 이를 바탕으로 고속
도로는 운송, 유통 및 생활의 편의성 등 국내 경제성장

의 큰 원동력이 되었다. 하지만 과거 국가경제 발전과 함께 증설되어 온 국내 고속도로의 포장, 특히 콘크리트 포장은 현재 Fig. 1과 같이 공용수명을 초과한 노후포장이 되었으며, 시간이 지날수록 그 연장이 기하급수적으로 늘어나고 있다. 공용수명을 초과한 포장의 경우, 유지관리 중심의 보수만으로는 포장품질 및 경제성 측면에서 한계가 있고 노후화된 하부구조와 반복적인 유지보수는 재파손의 속도를 가속화시키기 때문에 도로포장 본래의 기능을 유지하기 위해서는 주기적인 재포장이 요구되는 실정이다(Han etc., 2012).

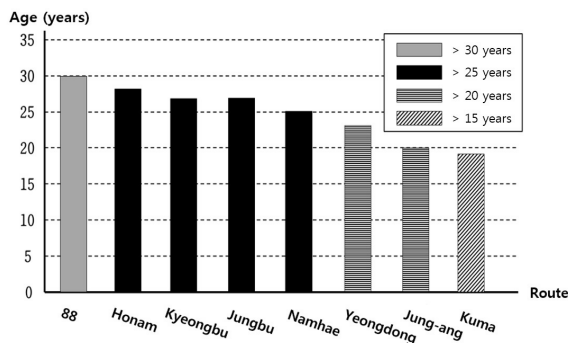


Fig. 1 Age of Concrete Pavements in Main Expressway Routes as of 2014 (MOLIT, 2010)

현재로서는 노후 콘크리트 포장에 대한 적절한 상세조사 지침이 부족하며, 공용 중인 콘크리트 포장에서의 코어채취는 슬래브의 손상 위험성 뿐 아니라 차단과 안전의 비용 때문에 많은 표본의 획득이 어려운 실정이다. 또한 상세조사 구간의 선정이 중요하다는 점에는 공감하면서도 현장에서 반드시 확인해야 할 사항들을 간과하고 상세조사 구간의 선정 작업 없이 무작위로 채취된 코어 시료만으로 포장이 평가되는 경우가 빈번하였다.

현재 국내에서는 도로포장 유지관리의 효율성을 높이기 위해서 1987년부터 포장관리시스템(PMS, Pavement Management System)을 도입하여 사용해 왔다. 고속도로 포장관리시스템(HPMS, Highway Pavement Management System)에서 제시하는 포장평가지수(HPCI, Highway Pavement Condition Index)는 노면평탄성(IRI, International Roughness Index)과 노면손상 환산단면적(SD, Surface Distress)으로부터 계산되는 값이며, Eq. (1)과 같다.

$$HPCI = 5 - 0.8 \cdot IRI^{0.7} - 0.85 \cdot \text{Log}(1 + 2.5 \cdot SD) \quad (1)$$

여기서,

IRI : 국제 평탄성지수(m/km)

SD : 노면손상 환산단면적(m²)

$$SD = \text{선형균열(m)} \times 0.3 + \text{스플링 보수면적(m}^2\text{)} + \text{패칭(m}^2\text{)} + \text{면상균열(m}^2\text{)}$$

콘크리트 포장의 경우 HPCI, IRI, SD를 비교함으로써 필요한 보수공법을 결정할 수 있다. 하지만 Eq. (1)에 보인 SD에는 스플링 보수면적 및 패칭과 같이 이미 보수가 완료된 면적이 포함되기 때문에 보수 이력이 많은 노후 포장에서 본 지표를 사용하면 추가적인 파손이 없더라도 유사한 공법의 보수를 반복적으로 실시해야만 된다. 실제로는 경험이 많은 실무진이 콘크리트 포장의 보수 공법을 유연하게 선정할 수 있지만 지표에 의지하여 보수 공법을 결정하게 될 경우에는 문제점이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 조사 대상마다 명확한 목적을 갖는 노후 콘크리트 포장 현장 조사의 지침을 제시하였으며, 불필요한 코어 채취를 최소화하고 문제의 원인을 객관적으로 밝힐 수 있는 실내시험의 항목을 제시하였다.

2. 상세조사 대상선정

본 연구에서는 상세조사의 결과가 도로포장 특정 간격 마다의 특성이 아닌 각 동질성 구간의 특성을 나타내도록 하기 위하여 동질성 구간의 분할 원칙을 제시하였다.

2.1. 동질성 구간의 분할

일반적인 동질성 구간의 분할 원칙은 단위구간 내에서 포장상태를 포함한 모든 성질이 동일해야 한다는 것이다. 실제로 고속도로 줄눈 콘크리트 포장의 시공은 기본적으로 지방서의 기준을 따르지만 시공사, 시공년도, 환경특성, 골재, 시멘트 및 혼화제 등 서로 다른 조건들로 인하여 동일 노선이라 할지라도 동질성 구간이라고 하기 어려우며 상이한 포장 파손의 경향을 보인다.

기존에는 동질성 구간의 분류가 주로 교통흐름의 분석을 위해서 수행되었으며, 단위구간의 길이를 100m로 하고 교량이나 터널의 접속부에서는 다시 나누는 방법을 사용하였다. 국내 고속국도의 경우 HPMS의 분할 원칙에 따라 기본적으로 현장관리구역, I/C(교통량), 포장종류의 변화지점을 경계로 동질성 구간을 나누고 있다. 일반국도의 경우에는 시공 연도, 포장 구조, 유지보수 실적 및 형태, 관리구간의 연장, 환산 축하중 교통량 등의 자료를 바탕으로 동질성 구간을 분류하며, 이 중 관리구간의 연장은 5~15km로 제시하고 있다.

미국 Washington 주에서는 차로 수, 포장 형식, 교

통 패턴 및 교통량, 배수 특성, 노상층 특성, 기하구조 등의 변화 지점을 경계로 동질성 구간을 분류한다(Lee, 2012). 또한 AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials) 가이드에서는 데이터 수집을 위한 동질성 구간 분할 방법으로 누적차 방법을 제시하고 있다. 이 방법은 포장 특성이 유사한 구간끼리 합하고 포장 특성치가 큰 구간의 순서로 누적 면적을 그래프로 나타낸 후 변곡점이 되는 지점을 경계로 동질성 구간을 나누는 방법이다.

본 연구에서는 국내외 현황을 종합적으로 고려하여 Fig. 2와 같은 순서로 동질성 구간을 분류하였다. 먼저 노선과 준공년도를 기준으로 구간을 나누었으며, 나누어진 구간 내에서 환경특성을 기준으로 재분류하였다. 환경특성은 연간 동결융해일수, 강설량 등과 같이 지역별로 구분되는 특성을 의미하며, 지역별 기상청의 관할 구역과 한국도로공사 각 지사의 관할 구역을 비교하면서 환경특성에 대한 동질성 구간을 정하였다. 다음으로 일평균교통량(ADT, Average Daily Traffic)이 유사한 구간끼리 다시 구분하고 마지막으로 포장형식 및 기하구조(교량, 터널)를 바탕으로 동질성 구간을 분류하였다. 환경특성을 제외한 사항은 HPMS에서 조사되는 항목이다.

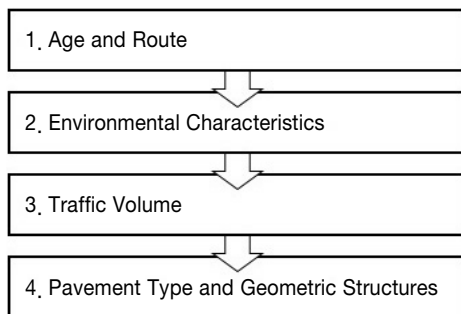


Fig. 2 Procedure and Criteria of Homogeneous Section Division

2.2. 포장조사 항목과 대상위치 선정

2014년에 조사된 노후 콘크리트 포장 7,805개 단위구간(연장 780.5km)의 PMS 데이터를 바탕으로 파손 종류별로 발생 수준을 분석한 결과, Fig. 3과 같은 분포를 보였다. 그림에서 A는 파손이 발생하지 않은 구간의 비율, B는 파손이 평균 미만으로 발생한 구간의 비율, C는 파손이 평균 이상으로 발생한 구간의 비율이다. A의 비율이 크고 B나 C의 비율이 작은 파손의 경우는 대부분의 구간이 양호한 상태이나 일부 구간에는 매우 심각하게 파손이 발생했다는 것을 의미한다. 이와는 반대로 A, B, C 모두 고르게 존재하는 파손의 경우는 전체 구간에 걸

쳐 파손이 고르게 발생했다는 것을 의미한다. 따라서 A의 비율이 크고 B나 C의 비율이 작은 스케일링, 내구성 균열, 종방향 스포링의 순서로 노후 콘크리트 포장의 주요 파손으로 선정하였다. 또한 노후 포장은 주요 파손에 대하여 패칭과 같은 단면보수가 많이 시행되므로 패칭이 많은 구간도 검토가 필요하다고 판단하였다.

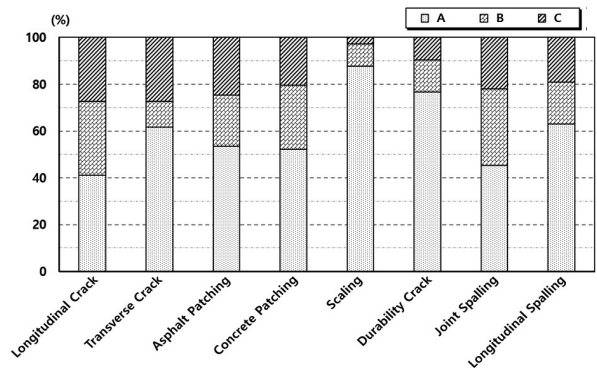


Fig. 3 Severity Distribution by Distress Type of Old Concrete Pavements

최근 장수명 고속도로의 건설이 요구됨에 따라 콘크리트 포장 시공 시 내구성 위주의 품질관리가 중요시되고 있다. 시공 과정 중에 단계적인 점검을 하던 과거와 달리 현재는 건설된 콘크리트 포장의 품질성능을 위주로 평가한다. 이러한 품질성능의 수준을 평가하는 지수를 품질성능지수(QPI, Quality Performance Index)라고 하며 Table 1과 같이 시방기준(KEC, 2012) 및 ASTM(American Standard for Testing and Materials)에 따라 특정 간격(100m, 300m, 1km, 2km)마다 채취된 코어를 분석하여 평가항목별 등급을 결정하고 있다. 하지만 품질성능 수준의 평가는 준공 초기에 실시하여 설계대로 시공이 잘 되었는지 비교하는 것에 목적이 있기 때문에 노후 포장에 품질성능지수를 적용하기에는 다소 부적절하다고 판단되었다.

본 연구에서는 PMS 데이터를 사용하여 파손 종류별로 발생 수준을 분석한 결과(Fig. 3)와 품질성능지수의 항목(Table 1)을 기반으로 국내 포장 전문가의 자문을 참고하여 노후 콘크리트 포장에서 조사할 사항을 정하였다. Table 2와 같이 현장조사와 실내시험으로 구분하여 조사의 항목을 정하고 조사위치 선정을 위한 포장의 특징을 제시하였다. 현장조사에서는 이용자의 안전성과 주행성을 저하시키는 포장면의 상태를 관찰하고 코어링을 통해 포장 내부의 상태를 확인하도록 하였다. 실내시험에서는 포장의 건전성을 정량적으로 확인할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제시한 조사항목과 대상위치의 특징은 상황에 따라 유연하게 수정하여 적용될 수 있다고 판단되었다.

Table 1. Quality Performance Evaluation Criteria (KEC, 2012)

Evaluation item	Evaluation method	Class range
Compressive strength (MPa)	<ul style="list-style-type: none"> Core analysis - (One way) 1 position per every 1km - 3 cores per 1 position - Core size : $\varnothing 100 \times L$ 	[Specification : 10-1, 3.4] <ul style="list-style-type: none"> 110% : 36MPa or more 105% : 31MPa or more 100% : 27MPa or more 70% : N/A by above
Air bubble spacing factor (mm)	<ul style="list-style-type: none"> Core analysis - (One way) 1 position per every 1km - 1 core per 1 position - Core size : $\varnothing 100 \times L$ 	[ASTM C 457] <ul style="list-style-type: none"> 105% : 0.15mm or less 100% : 0.20mm or less 95% : 0.25mm or less 70% : N/A by above
Slab thickness (%)	<ul style="list-style-type: none"> Core analysis - Same as compressive strength evaluation method 	[Specification : 10-1, 3.19] <ul style="list-style-type: none"> 100% : 1% or less reduction from design thickness 90% : 3% or less reduction from design thickness 80% : 5% or less reduction from design thickness 70% : N/A by above
Surface smoothness (m/km)	<ul style="list-style-type: none"> Roughness measurement by IRI - (One way) 1 position per every 2km - Two 300m sections at traveling or passing lane per 1 position - Divide the sections by 100m 	[Specification: 10-1, 3.19] <ul style="list-style-type: none"> 110% : 0.4 m/km or less 105% : 1.0 m/km or less 100% : 1.6 m/km or less 70% : N/A by above

Table 2. Item and Features of Target Position of the Aging Concrete Pavement Investigation

Category	Investigation item	Feature of target position
Field Survey	Pavement surface condition	- Durability Crack(or Alkali Silica Reaction), Bridge connection, Asphalt overlay
	Pavement internal condition	
Laboratory Test	Concrete strength	- Concrete deterioration, Expected strength decrease
	Void structure	- Distress due to freeze/thaw(Joint spalling, Scaling)
	Chloride penetration depth	- Scaling, Embedded reinforced steel

3. 노후 콘크리트 포장 육안조사

PMS의 포장조사 결과만으로는 포장의 상태를 상세하게 파악하기 어렵기 때문에 Table 2와 같이 내구성 균열(또는 ASR) 구간, 교량 접속부 구간, 아스팔트 덧씌우기 구간을 대상으로 포장 표면과 내부를 조사하여 노후 콘크리트 포장의 상태를 평가하기 위한 구체적인 방안을 제시하였다.

3.1. 코어링 위치 선정

개량의 시급성이 높아 조사가 필요하다고 판단되는 전체 연장에 대해서 동질성 구간을 구분하고 조사 위치를 결정하였다. 현장조사를 위한 코어는 개소 당 2공 이상, 실내시험을 위한 코어는 개소 당 3공 이상으로 정하였다. 또한 공용 중인 포장임을 고려하여 다웰바와 타이바를 피

해 Fig. 4와 같이 외측 차로의 휠패스(Wheel path) 사이에서 빈배합층(Lean mixed layer)과의 경계면까지 직경 100mm로 천공을 실시하였다. 채취된 슬래브 코어의 길이는 300mm에서 350mm 사이에 분포하였다.

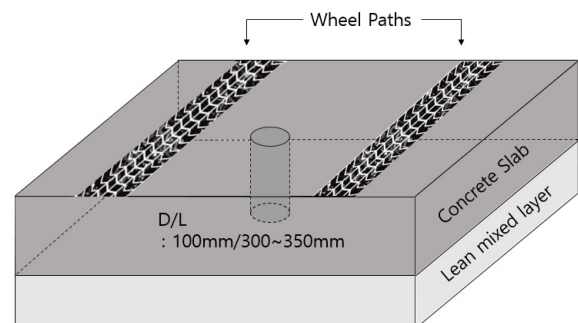


Fig. 4 Coring Position in Concrete Pavement

3.2. 내구성 균열(또는 ASR) 발생 구간

기준에 내구성 균열로 알려진 콘크리트 포장의 많은 구간은 알칼리 골재반응(Alkali Aggregate Reaction)이 함께 발생한 구간으로 이러한 알칼리 실리카반응(ASR, Alkali Silica Reaction)은 시멘트 속의 알칼리 성분과 골재 속의 실리카 성분이 반응하여 팽창을 일으키는 현상이다. 이 반응은 OH⁻ 이온의 농도가 높은 시멘트를 사용하거나 골재에 실리카 성분이 많은 경우에 발생하기 때문에 동일한 재료를 긴 구간에 걸쳐 사용하는 도로포장의 특성상 큰 규모로 파손이 발생하게 된다. ASR 발생 구간에는 미세한 균열뿐만 아니라 팝아웃(Popout)과 같은 다양한 포장파손이 함께 발생하기 때문에 주행성이나 안전에도 문제가 발생하고, 균열이 슬래브 전체 깊이에 걸쳐 진행되어 결국 전면적인 포장 개량이 필요하게 된다.

내구성 균열로 추정되는 파손이 발생한 구간에서는 포장면의 미세균열(Microcrack)과 시멘트의 열화로 ASR의 가능성을 일부 확인할 수 있으나 단정하기는 어려우므로 코어 측면의 상태를 확인하여 ASR 여부를 추정할 수 있다. Fig. 5는 중부선 통영 방향의 노후 콘크리트 포장 구간에서 채취된 코어의 측면으로 골재 주위의 ASR 젤과 이로 인해 발생한 균열의 모습이다. 이 구간의 포장표면을 관찰하였을 때 ASR의 심각도는 중간 정도(M)로 판단되었으나 코어의 관찰을 통한 슬래브 내부 ASR의 심각도는 높은 정도(H)로 확인되어 포장표면의 상태만으로는 ASR의 심각도를 정확하게 알기 어려운 것으로 나타났다.



Fig. 5 White Gel and Crack Caused by ASR

따라서 내구성 균열 또는 ASR이 의심되는 각 동질성 구간마다 2공의 시료를 채취하여 슬래브 내부의 상태

를 확인하도록 제안하였다. 채취된 코어 전체에 균열이 발생하였을 경우에는 동질성 구간 전체 포장의 강성이 크게 저하되었다고 판단할 수 있다. 또한 미세균열을 통한 제설제 및 기타 염화물의 침투 가능성이 커지기 때문에 2차 파손 예방을 위한 보수의 시급성이 높다고 판단되었다.

3.3. 교량 접속부 구간

교량 접속부는 교대 뒷채움부 위에 설치되어 교량과 포장을 연결하는 역할을 하는 구조물이다. 일반적으로 교량 접속부 포장은 교량 쪽으로 갈수록 점차 두꺼워지는 변단면이며, 교대 뒷채움 재료는 보조기층급인 양질의 SB-1 입상재료를 기준으로 사용한다. 하지만 교통하중 뿐 아니라 침투수에 의한 침식, 하부 원지반 기초의 연약함 등 때문에 교대 뒷채움부가 침하되고 그 영향 때문에 접속 슬래브와 교대 사이에는 단차가 발생한다(Im etc., 2009). 또한 Fig. 6과 같이 접속슬래브 또는 압성토 사면 하부에 공동이 발생하고 지지력이 저하되어 교량 접속부 포장에는 균열 등의 파손이 발생할 수 있다.

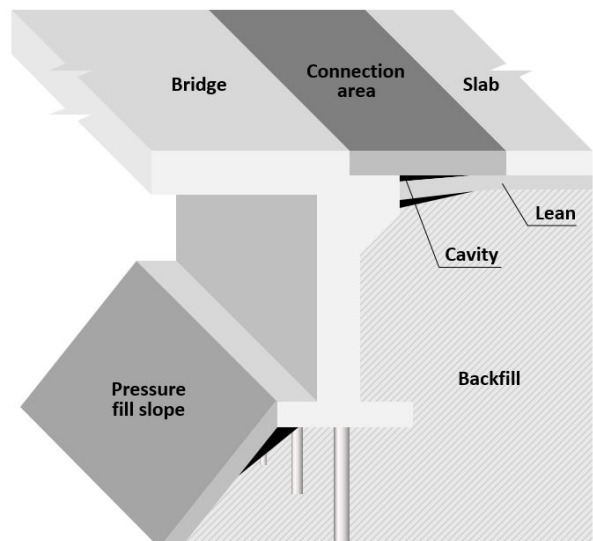


Fig. 6 Settlement of Backfill in Bridge Connection

교대 뒷채움토의 장기침하 때문에 교량 접속부의 노후 콘크리트 포장에서는 반복적으로 파손이 발생하여 패칭과 같은 보수가 빈번히 실시된다. Fig. 7과 같이 패칭이 되어 있는 중부선 하남 방향의 변천 1교와 초월교의 교량 접속부에서 코어링을 실시하여 포장 내부를 관찰한 결과 접속슬래브와 린층 사이에 공동이 발생한 것을 확인하였다. 공동으로 인한 파손 때문에 변천 1교에 65.7m², 초월교에 14.5m²의 면적이 패칭되어 있었다.

Fig. 8은 접속슬래브와 린층 사이가 10mm 이상 이격된 모습이며, 이러한 공동으로 인하여 교량 접속부에 단차가 발생한 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 7 Distress of Bridge Connection Pavement



Fig. 8 Cavity between Slab and Subbase in Bridge Connection

3.4. 아스팔트 덧씌우기 구간

기존 콘크리트 포장 표면 절삭 후 덧씌운 아스팔트 포장에는 아스팔트 재료, 아스팔트 두께, 기존 콘크리트 포장의 파손 종류와 심각도, 절삭면의 상태에 따라 다양한 형태의 파손이 나타날 수 있다. 또한 절삭 덧씌우기 구조의 특성상 육조현상으로 인해 침투수가 콘크리트 층과 아스팔트 층 사이에서 배출되지 못하여 포트홀이 발생하는 문제점이 있다(AASHTO, 1993).

아스팔트 덧씌우기 구간에서는 포트홀이 많이 발생한 구간과 포장 두께 전반에 걸쳐 관통균열이나 반사균열이 있는 구간에서 아스팔트 덧씌우기층과 잔존 콘크리트 슬래브를 한꺼번에 코어로 채취하도록 제시하였다. 또한 채취된 코어를 관찰하여 각 층의 두께와 열화상태 및 접착 상태 등을 Table 3과 같이 확인하도록 하였다. 콘크리트층의 열화가 심하다면 아스팔트층의 현재 상태가 양호하더라도 향후 균열이 전파되거나 접속부의 상태가 불량해질 수 있기 때문에 구조적인 보강이 반드시 실시되어야 한다. Fig. 9는 중부선 하남 방향에서 절삭 덧씌우기 구간에 발생된 관통균열의 위치에서 채취한 코어의 측면이다.

Table 3. Checklist for Asphalt Overlay Section

Layer	Checklist
Asphalt overlay	Thickness
	Repair history (Repair time, Thickness)
	Existence of vertical or horizontal crack
Interface	Severity of pothole
	Bonding
Existing slab	Thickness
	Existence of vertical or horizontal crack
	Existence of ASR or concrete deterioration



Fig. 9 Through Crack in Asphalt Overlay Pavement

4. 노후 콘크리트 포장 실내시험

PMS 데이터를 사용하여 파손 종류별로 발생 수준을 분석한 결과(Fig. 3)와 품질성능지수의 항목(Table 1)을 기반으로 국내 포장 전문가의 자문을 참고하여 실내 시험 평가항목을 '압축강도', '공극구조', '염화물 침투 깊이'의 세 가지로 정하고 현장에서 채취된 코어에 대해서 실내시험을 실시하였다.

4.1. 압축강도 측정

콘크리트 슬래브의 압축강도는 노후 콘크리트 포장의 보유 내력을 평가하는데 중요한 항목 중 하나이다. 일반적으로 압축강도를 평가하는 방법은 파괴시험법(KS F 2405)과 비파괴시험법(KS F 2730)이 있으나 비파괴시험의 경우는 오차의 범위가 크고 실제보다 과대 측정이 될 우려가 있다(Lee etc., 2006). 따라서 본 연구에서는 파괴시험법으로 코어의 압축강도를 측정하였다.

강도 측정을 위한 코어는 파손된 위치를 피하여 채취하고 재료의 균질성을 확보하기 위해서 상부 50mm 이상을 제외한 나머지 부분을 사용하였다. Fig. 10은 중

부고속도로 통영 방향에서 4개 코어를 무작위로 채취하여 압축강도를 측정하고 QPI의 압축강도 기준과 비교한 그래프이다. 측정 결과, 노후 콘크리트 포장 코어의 평균 압축강도는 38.1MPa로서 준공 초기에 평가하는 QPI의 압축강도 기준보다 약 6% 높은 것으로 확인되었다.

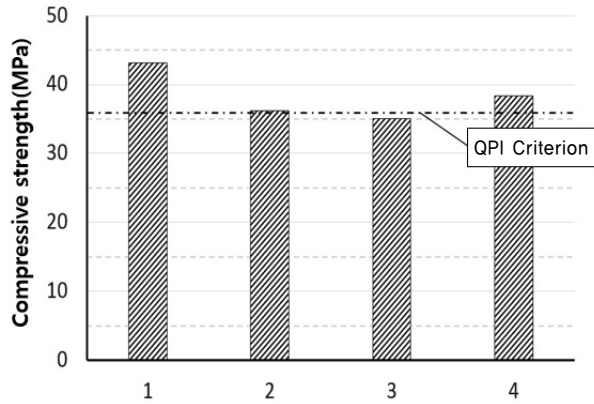
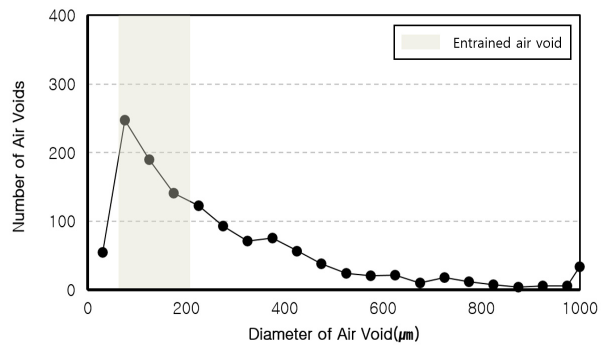


Fig. 10 Compressive Strength of Old Concrete Pavement

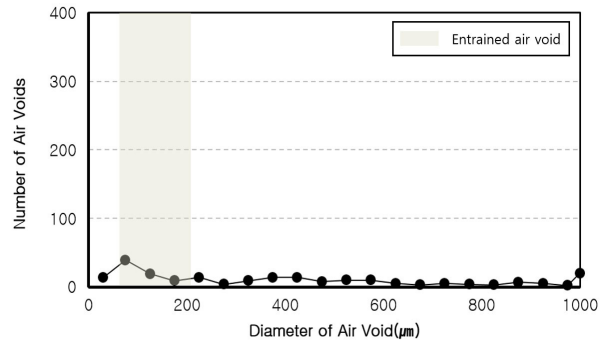
4.2. 공극구조 분석

최근 콘크리트 포장의 동결융해에 의한 파손이 다수 보고되었으며, 동결융해 저항성 확보는 포장의 장기 공용성 측면에서 매우 중요한 사항이다. 무엇보다 노후 콘크리트 포장에서 지속적으로 발생하는 내구성 균열, 스플링, 스케일링 등 동결융해와 관련된 파손은 상시 보수만으로 근원적인 해결이 불가하기 때문에 전면적인 개량이 요구되기도 한다.

본 연구에서는 ASTM C 457의 방법에 따라 중부고속도로 통영 방향에서 채취한 코어의 단면을 표면처리하고 화상분석을 실시하였다. 공극구조 분석을 코어의 상부와 하부에 대해서 실시하고 평균을 내서 분석을 실시하였다. 분석 결과, 대부분의 코어들이 적정한 공기량을 확보하였으나 기포간격계수가 낮고 연행공극이 적은 것으로 분석되어 코어가 채취된 위치에 동결융해에 의한 파손이 발생한 것과 관련이 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 11은 노후 콘크리트 포장에서 채취된 코어의 화상분석 결과를 나타낸 그래프이다. 한국도로공사 실무편람에서는 공기량 4~7%, 기포간격계수 200 μ m 이하를 기준으로 정하고 있는데, 조사된 노후 콘크리트 포장의 경우 공기량은 4.7~5.2%로 기준을 만족하였지만 기포간격계수는 409~473 μ m로 기준을 훨씬 초과하는 것으로 조사되었다. 연행공기량이 극히 적은 것으로 보아 시공 당시 AE제 사용이 없었거나 극히 적었다고 추정되었다.



(a) Jungbu Expressway Southbound 334.40k Outer Lane (Top of Core)



(b) Jungbu Expressway Southbound 334.40k Outer Lane (Bottom of Core)

Fig. 11 Number of Air Void according to Diameter of Air Void of Old Concrete Pavement

Fig. 12는 중부고속도로 하남 방향에 위치한 노후 콘크리트 포장의 표면 열화가 심각한 구간에서 채취된 코어를 화상분석한 결과이다. 직경이 50~200 μ m인 매우 작은 구 형태의 공극이 연행 공극(Entrained Air Void)이고, 직경이 3mm 이상인 불규칙한 형태의 공극

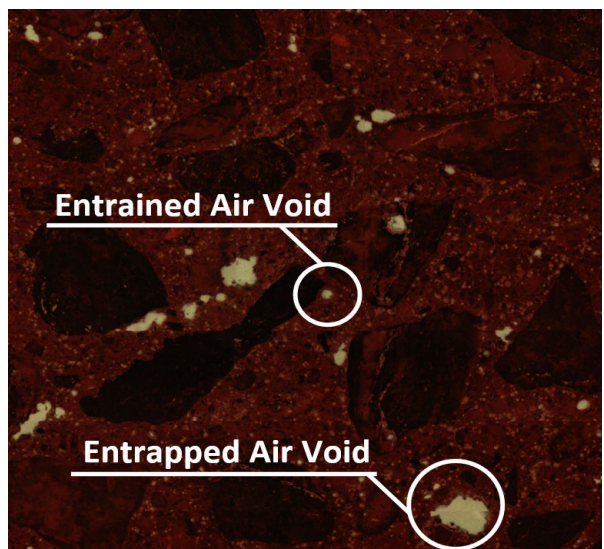


Fig. 12 Image of Air Void in Old Concrete Pavement

이 갇힌 공극(Entrapped Air Void)에 해당한다. 이 코어의 경우 공기량은 5.2%로 허용기준을 만족하였으나 연행공극 개수가 현저히 적었으며, 코어가 채취된 구간에서는 동결융해 파손이 다수 확인되었다. 동결융해 저항성을 확보하기 위해서는 시공 시 질 좋은 AE제를 사용하여 연행공극을 충분히 확보할 필요가 있다고 판단되었다.

4.3. 염화물 침투 깊이 측정

콘크리트 포장에 침투한 염화물은 시멘트 페이스트를 열화시켜 스케일링과 같은 파손을 발생시킬 뿐만 아니라 콘크리트 내부에 철근이 매립되어 있다면 철근과 반응하여 철근주변에 팽창성 반응물을 생성하여 Fig. 13 과 같이 균열을 발생시킬 우려가 있다.



Fig. 13 Crack of Bridge Connection Slab due to Expansion of Reactant around Reinforced Steel

본 연구에서는 만능시험기(UTM, Universal Testing Machine)를 사용하여 간접인장강도 시험과 동일한 방법으로 코어를 길이방향으로 쪼개고, 쪼개진 단면에 질산은(AgNO) 용액을 분무기로 분사하여 백색의 염화은(AgCl) 생성 유무와 침투 깊이를 확인하였다(KS F 2737). 콘크리트 포장의 염화물 침투 정도를 확인하기 위해서 포장면에 스케일링 파손이 발생한 구간과 포장 내부에 철근이 매립된 구간을 대상으로 분석을 실시하였다. 노후화된 고속도로 콘크리트 포장에서 염화물 침투 깊이는 Table 4와 같이 최소 30mm부터 최대 70mm로 표면손상의 정도에 따라 다양하게 발생하는 것으로 조사되었다(Seo etc., 2006). 본 연구에서 실시한 염화물 침투깊이 시험 결과, 염화물 침투 깊이는 40~82mm로 선행연구와 유사하거나 약간 더 깊었으

며, 특히 포장면에 스케일링, ASR 등과 같은 파손이 존재할 경우 염화물 침투 깊이가 선행연구보다 깊을 수도 있음을 확인하였다.

Table 4. Content of Chloric Ion in Concrete Exposed Deck

Route	Branch	Depth from the surface(cm)						
		0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7
88	Namwon	3.157	2.327	1.681	1.362	1.227	1.192	1.039
		0.035	0.031	0.028	0.017	0.014	0.014	
Kuma	Kunwi	0.019	0.024	0.017	0.012	0.009	0.009	
		0.259	0.200	0.176	0.19	0.172	0.129	
Honam	Jeonju	4.467	5.692	3.774	2.515	1.953	0.910	
		0.146	0.166	0.226	0.196			
	Gwangju	1.760	4.026	3.561	3.212	2.414		
		3.159	3.159	2.770	2.374	1.892	1.508	1.172
Jungbu	Kyeongan	0.120	0.089	0.066	0.038	0.024		
	Jincheon	1.410	0.630	0.470	0.280	0.120		
		7.290	4.00	2.820				

*Ref: Seo et. al., 2006

5. 결론

본 연구에서는 노후화된 고속도로 포장이 기하급수적으로 늘어나는 시점에서 포장상태에 대한 상세조사 지침을 제시하여 개량 및 보수에 대한 우선순위를 효율적으로 결정하는데 도움을 주고자 하였다. 구체적인 결론은 다음과 같다.

1. 기존 동질성 구간의 분할은 교통량을 분석하기 위해 주로 실시되었으며 노후 콘크리트 포장 파손의 조사와 분석을 위한 동질성 구간이라고 말하기 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 노후 콘크리트 포장의 상세조사에 적합한 동질성 구간 분할 원칙과 각 동질성 구간의 특징을 대표할 수 있는 조사 위치를 제시하였다.
2. 고속도로에 발생한 각종 파손의 심각도를 분석하고 비교하여 스케일링, 내구성 균열, 종방향 스폴링의 순서로 노후 콘크리트 포장의 주요 파손으로 선정하였다. 또한 노후 포장은 주요 파손에 대하여 패칭과 같은 단면보수가 많이 시행되므로 패칭이 많은 구간도 검토가 필요하다고 판단하였다.
3. 노후 콘크리트 포장의 상세조사는 크게 육안조사와 실내시험으로 구분하였다. 파손 종류별 발생 수준 분석 결과와 품질성능지수의 항목을 기반으로 포장 전

문가의 자문을 참고하여 조사 사항을 정하였다. 현장 육안조사의 경우 내구성균열, 교량 접속부, 아스팔트 덧씌우기 구간을 주요 대상으로 제시하였고, 실내시험 항목으로 압축강도, 공극구조, 염화물 침투 깊이를 제시하였다.

본 연구에서는 고속도로 노후 콘크리트 포장의 문제를 해결하기 위해 기초적인 수준의 지침을 제시한 것으로 향후 추가적인 연구를 통해 보다 구체적이고 합리적인 지침이 마련될 필요가 있다.

감사의 글

본 논문은 한국도로공사의 지원을 받아 수행된 “고속도로 포장노후에 따른 대응전략 구축을 위한 연구용역”과 인천국제공항공사의 지원을 받아 수행된 “공항포장(강성) 장기거동 특성분석을 통한 공항포장설계법 개발(Ⅰ) (No. BEX00625)” 자료에 근거하여 수행되었으며 연구 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

AASHTO (1993) AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC.

An. G. H. (2010) A Study on Permeation Properties of Airborne Chlorides into Concrete. Master Thesis, Inha University, Korea.

Chen, D.H. and Scullion, T. (2008) “Detecting Subsurface Voids Using Ground-coupled Penetrating Radar”, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 31, No. 3, pp. 1-8.

Department of Transport (2001) Design Manual for Roads and Bridges. Volume 7, Section 3, Part 2: HD29/94 Structural Assessment Methods, Chapter 6 Ground Radar. The Stationery Office, London, UK.

Han. D. S. and Do. M. S. (2012) “Estimation of Life Expectancy and Budget Demands Based on Maintenance Strategy”, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Korean Society of Civil Engineers, Vol. 32, No. 1, pp. 345-356.

Im. U. J., Choi. Y. C., and Lee. H. S. (2009) “Stepped Pulley of Road and Measure”, *Journal of the Korean Society of Road*

Engineers, Korean Society of Road Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 5-12.

Jeon. S. I., An. J. H., Lee. J. B., and Kwon. S. A. (2011) “Variation of Image Analysis Results for Determining the Characteristics of the Air-Void System on Hardened Concrete”, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, Korean Society of Road Engineers, Vol. 13, No. 1, pp.157-169.

KEC (2012) A Practical Affairs Manual for Management and Maintenance of Pavement. Korea Expressway Corporation.

KSRE (2014) A Research for Construction of Counterstrategy to Expressway Pavement Ageing. 1st Year Report, Korean Society of Road Engineers.

KSRE (2015) A Research for Construction of Counterstrategy to Expressway Pavement Ageing. 2nd Year, Report, Korean Society of Road Engineers.

Lee. G. D., Im H. C., and Im B. H. (2006) “Concrete Compressive Strength Prediction from Deteriorating Apartment Site”, *Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference*, The Korea Institute of Building Construction, Vol. 16, No. 1, pp. 155-158.

Lee. G. S., Lee J. H, Lee. J. H., Choi. M. R, and Jeong J. H (2015) “Factors Affecting Distress of Aged Expressway Jointed Concrete Pavements”, *Proceedings of the Korean Society of Road Engineers Conference*, Korean Society of Road Engineers, pp. 25.

Lee. W. J. (2002) Division of Homogeneous Sections by Genetic Algorithms. Master Thesis, Chung-ang University, Korea.

Mehta P. K. and Paulo J. M. (2006) Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. 3rd Edition, McGraw-Hill, p.659.

MOLIT (2010) A Practical Affairs Manual for Maintenance and Repair for Road Pavement. Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, Korea.

Seo. J. W., Goo. B. S., and Lee. J. Y. (2006) “Penetration of De-icing Salt in Bare Concrete Bridge Decks in Highways”, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 11, No. 2, pp.85-92.