

한국형 공항포장상태 평가지수(KPCI) 개발



서 영 찬 | 한양대학교 교수
 권 흥 준 | 한양대학교 박사과정
 박 대 옥 | 군산대학교 교수
 곽 평 진 | 한국공항공사 차장
 조 윤 호 | 중앙대학교 교수
 박 지 원 | 한양대학교 석사과정
 조 남 현 | 인천국제공항공사 공항연구소 전문연구원

1. 서론

우리나라는 1990년대부터 1970년대 미국 공병단에서 개발한 PCI(Pavement Condition Index)를 공항포장의 평가 및 보수·보강 필요여부를 결정하는 근거로 활용하여 왔다.

PCI는 국내 공항에 적용 시 몇 가지 한계점이 지적되어 왔다. 즉, 대부분 상업용의 중대형 공항을 대상으로 하는 국내 실정을 고려하였을 때 미국 내 소규모 공항을 포함한 다양한 공항포장을 대상으로 하여 개발된 포장상태지수(PCI)는 국내 적용에 있어 주요 결함 및 심각도 수준이 적절치 않다는 지적이 있어 왔다. 이로 인해, 포장상태평가 결과를 대표하는 포장상태지수 값이 실제 보수 필요여부를 충분히 반영하지 못하여 유지보수 담당자와 의사결정자 간의 의사소통에 한계가 있어 왔다.

이와 같은 문제점은 국내뿐만 아니라 미국과 중국

등 여러 나라에서 인식하고 있다. 미국에서는 각 지역(주로 주 단위)의 PCI 평가 시 사용되는 포장 결함 항목을 개선하거나 주요 발생 결함에 가중치를 두는 등의 노력이 있었는데, 대표적으로 Washington주에서는 콘크리트 포장의 기존 결함 항목인 cracking, scaling, spalling, pumping, blowup, faulting, patching 그리고 rutting 중 cracking, spalling, faulting의 3가지 항목에 대해 가중치를 적용하여 PCI를 평가하였다. 또한 scaling과 blowup을 결함항목에서 제외시켰는데 이는 scaling과 blowup과 같은 결함의 발생 원인이 구조적 하중에 의한 것이 아닌 환경적인 요인과 재료의 복합적인 영향으로 발생한 것으로 보았기 때문이다 (Jackson, 2009). 중국에서는 상하이 국제공항을 대상으로 PCI의 핵심요소를 수정하였는데, 콘크리트 포장에 한하여 미국의 ASTM D5340에서 15가지로 규정하고 있는 결함 종류를 패칭을 크기로 구

분한 것과 스폐링의 발생위치에 따라 구분한 것을 합쳐 총 13가지로 변경하였다. 또한 결함의 심각도 기준 중 펌핑, 팝아웃 그리고 줄눈재 손상은 심각도를 고려하지 않도록 변경하였다. 또한 복합결함에 대한 수정공제값 도출을 ASTM D5340의 여러 곡선형태가 아닌 가중치의 개념으로 활용하는 하나의 곡선을 제시하였다(SUN et al, 2004). 국내에서는 최근 기존 포장상태지수 적용 시 한계점을 극복하고자 한국형 포장상태 결정 지수(KPCI: Korean Pavement Condition Index)에 대해 연구하였으며 이에 대한 개발과정을 간단히 소개하고자 한다.

2. 포장상태지수 (PCI: Pavement Condition Index)

2.1 포장상태지수의 정의 및 산출과정

포장상태지수는 포장상태에 대해 0에서 100까지 범위의 숫자로 나타낸 지수이며, 완전한 상태의 포장을 100이라 할 때, 발생한 결함의 손상된 정도에 따라 차감되는 방식이다. 포장상태지수 산정은 결함의 종류, 결함의 심각도와 결함의 파손량 등을 포함한 육안 상태 조사의 결과에 근거한다. 이를 수식으로 나타내면 식 (1)과 같이 포장상태지수는 공제값에 관한 함수로 나타낼 수 있다(Shahin, 1995).

$$PCI = C - \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{m_i} a(T_i, S_j, D_{ij}) F(t, d) \quad \text{식 (1)}$$

C = 포장상태지수의 최대값(100)

$a()$ = 결함의 종류, 심각도, 파손량에 따른 공제값 함수

i = 결함의 종류

j = 결함의 심각도 수준

p = 총 결함 종류의 수

m = 결함에 따른 심각도 수준의 수

$F(t, d)$ = 복합결함에 대한 보정계수

포장상태지수의 산출은 총 5단계로 이루어지는데, 1단계에서는 평가대상인 포장을 단위영역(Unit Section)으로 분할한다. 단위영역은 일반적으로 아스팔트 포장의 경우 450m² 전후의 면적으로 정의하며, 콘크리트 포장의 경우 20개 전후의 연속된 슬래브로 정의한다. 2단계에서는 포장상태 조사결과를 통해 발생결함의 종류와 심각도 별로 파손량을 집계하는 것으로 파손량은 단위영역 대비 결함량(Distress Density, 단위 : %)으로 환산하여 공제값(DV, Deduct Value) 산출에 활용한다. 3단계에서는 결함에 따라 공제곡선을 활용하여 파손량으로 공제값을 산출하고 단위영역 내 총 공제값(TDV, Total Deduct Value)으로 합산한다. 4단계는 단위영역 내 발생한 결함의 종류 및 심각도를 고려하여 총 공제값을 복합결함에 대한 수정 공제값(CDV, Corrected Deduct Value)으로 보정한다. 수정 공제값을 사용하는 목적은 총 공제값이 100을 넘어 포장상태지수가 음수로 산출되는 것을 방지하기 위함이다. 마지막으로 5단계에서는 100에서 수정 공제값을 차감하여 포장상태지수를 구한다.

2.2 기존 포장상태지수의 문제점

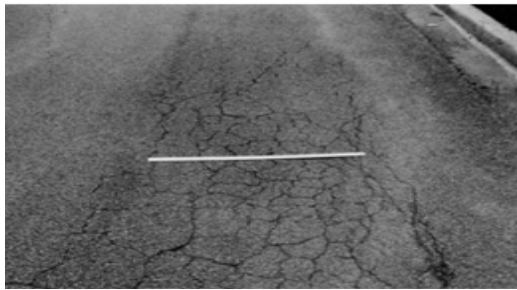
국내 적용중인 기존 포장상태지수의 한계점은 여러 가지가 있으나 대표적인 것 두 가지만 소개하면 다음과 같다.

먼저 ASTM D5340에서 심각도에 대해 그림 1과 같이 대표적인 상태를 설명하기 위한 사진을 제공하는데, 국내 공항 실정에 그대로 적용하는데는 문제가 많다는 점이 지적되어 왔다. 이는 1970년대 PCI가 개발될 당시 미국 전역의 소규모 공항을 포함한 다양한 공항을 대상으로 하여 요구되는 시설관리 수준이 상업용 대형공항 위주인 국내와 차이가 있다는 점이다. 특히 High 심각도의 결함은 국내 공항에서는 거의 존재하지 않으며, 대부분의 결함이 Low 및 일부 Medium으로 평가되는데 이는 결함 심각도의 변별력을 상실하게 되며 결과적으로 PCI값 자체가

실제 기술자의 판단에 비해 매우 높게 평가되는 결과를 초래하게 된다.



Low



Medium



High

그림 1. ASTM D5340의 거북등균열 심각도 구분

이러한 기준의 차이는 포장상태 판별기준의 비합리성으로 이어진다. ASTM D5340의 포장상태지수 값의 범위별 포장상태 등급은 표 1과 같은데, 앞서 설명한 이유로 인해 높아진 포장상태지수는 결국 포장상태 등급을 높게 판단하게 되어 포장평가 결과에 따른 유지보수 의사결정에 대한 근거를 제공하지 못하는 비합리적인 문제가 발생한다.

예를 들어 포장상태가 상당히 나빠져서 전문가의 판단으로는 덧씌우기 등의 보강이 필요하다고 판단되는 구간에도 PCI는 보통 70 이상(Very Good)을 유지하는 경우가 많은데 매우 좋다(Very Good)고 판단한 구간을 덧씌우기 하는 것은 앞뒤가 맞지 않는다는 문제가 많이 지적되어 왔다.

표 1. ASTM D5340의 포장상태 판별기준

PCI 범위	포장상태등급
85~100	Excellent
70~85	Very Good
55~70	Good
40~55	Fair
25~40	Poor
10~25	Very Poor
0~10	Failed

또한, 결함별 공제곡선 중 사례에 따라 유지보수 후에 포장상태지수가 오히려 낮아지는 경우도 있는데, 그림 2와 같이 Low 심각도의 블록균열의 공제곡선이 동일한 심각도 수준의 소파보수의 공제곡선보다 결함량이 증가할수록 낮아지는 경향이 있어 결함량 25% 이상의 Low 심각도 수준의 블록균열을 소파보수로 유지보수할 경우 소파보수는 보수 한 직후의 상태를 Low 심각도로 분류하므로 포장상태지수가 오히려 낮아지는 경우가 발생한다.

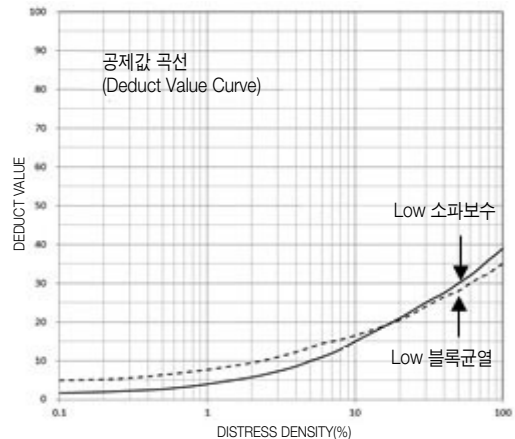


그림 2. ASTM D5340의 공제곡선 비교

3. 한국형포장상태지수(KPCI: Korean Pavement Condition Index)의 개발

3.1 개요

한국형 포장상태지수는 실 수요처인 한국공항공사와 인천국제공항공사가 공동으로 연구에 참여하여 개발하였으며, 기존에 활용하고 있는 ASTM D5340의 PCI산출 개념 및 기본절차는 그대로 따르되 주요 핵심 요소들을 국내 실정에 맞도록 개발하는데 초점을 맞추었다. KPCI에서 개발한 포장상태지수의 핵심요소는 결함인자, 결함별 심각도 기준, 결함별 공제곡선, 복합결함에 대한 수정공제곡선 그리고 포장상태지수에 따른 포장상태 판별기준 등이다. 특히, 각 결함별 공제곡선과 수정공제곡선을 Panel Rating 기법을 통해 전문가들의 주관적인 평가결과를 객관화하여 도출하였다. 국내 실정을 반영하기 위해 KPCI에서는 아스팔트 포장과 줄눈 콘크리트 포장의 국내 주요 발생 결함을 고려한 연구결과를 반영하였으며, 국내에서 발견하기 힘든 결함은 ASTM D5340의 기준을 준용토록 하였다.

3.2 국내 주요 발생 결함 분류

KPCI의 결함인자는 국내 주요결함을 분류 후 고려하였다. 주요결함은 국내 공항의 결함자료 수집 및 분석을 통해 결정하였으며, 이를 위해 국내 15개 공항의 10년 이상의 PMS 자료를 활용하였다. 자료는 공항공사에서 보고된 연도별 공항포장 평가보고서를 기본으로 단위영역별 PCI 점수분포, 발생 결함의 빈도, 결함 심각도 등을 검토하였으며, 표 2, 3과 같이 국내 주요 발생 결함을 분류하였다. 이를 통해 결함인자를 결정하였으며 아스팔트 포장은 ASTM D5340과 같은 16종이며 줄눈 콘크리트 포장은 16종을 13종으로 조정하였다.

표 2. 아스팔트 포장의 국내 주요발생 결함

번호	KPCI 결함인자	주요 결함
1	거북등/피로 균열	○
2	종/횡방향 균열	○
3	반사균열	○
4	패칭과 유틸리티 컷	○
5	골재분리와 풍화	×
6	러팅	○
7	밀림	×
8	스웰	×
9	블록 균열	○
10	침하	×
11	골재마모	×
12	블리딩	×
13	코루게이션	×
14	Jet Blast Erosion	×
15	누유	×
16	미끄럼 균열	×

표 3. 줄눈 콘크리트 포장의 국내 주요발생 결함

번호	ASTM D5340 결함인자	
A-1	선형(종, 횡, 대각선) 균열	
A-2	줄눈부 깨짐	
A-3	우각부/모서리 깨짐	
A-4	소형 패칭	
A-5	대형 패칭 및 유틸리티 컷	
A-6	내구성 균열	
A-7	스케일링, 맵균열, 크레이징	
A-8	우각부(모서리) 파손	
A-9	슬래브 파손/교차 균열	
A-10	줄눈채 손상	
A-11	알칼리 실리카 반응	
A-12	침하 및 단차	
A-13	건조수축균열	
A-14	뽀뽀	
A-15	팝아웃	
A-16	블로우업	

번호	KPCI 결함인자	주요 결함
B-1	선형(종, 횡, 대각선) 균열	○
B-2	깨짐	○
B-3	단면보수	○
B-4	내구성 균열	○
B-5	박편분리, 맵균열, 건조수축균열	○
B-6	우각부 균열	○
B-7	교차균열	○
B-8	줄눈 채움재 손상	○
B-9	알칼리 골재 반응	○
B-10	침하 및 단차	×
B-11	뽀뽀	×
B-12	골재 탈리	×
B-13	블로우업	×

3.3 결함별 심각도 기준

KPCI에서는 국내 주요 결함 발생 결함을 고려한 총 결함인자 29종(아스팔트 16종, 줄눈 콘크리트 13종)에 대해 결함별 심각도 기준을 제시하였다. 심각도 기준에는 정량적인 기준(균열폭, 패칭 면적 등)을 제시하고 대표적인 상태를 설명할 수 있는 서술내용을 수록하였다. 특히 공항포장의 특성을 고려하여 FOD(Foreign Object Damage, 외부 이물로 인한 항공기 파손) 가능성을 심각도 분류에 활용할 수 있도록 하였다.

3.4 Panel Rating

Panel Rating은 통계분석을 통해 강제곡선을 도출하기 위해 전문가로 구성된 Panel이 일종의 시험과 같이 단위영역의 포장상태를 보고 평가하여 최종 PCI 점수를 매기는 방식이다. KPCI는 단순 결함 14종(아스팔트 6종, 줄눈 콘크리트 8종)과 복합결함에 대한 Panel Rating을 실시하였으며, Panel Rating을 위한 Worksheet는 국내 공항의 사진자료를 이용한 연구를 통해 개발한 심각도 기준을 통해 작성하였다. Panel Rating 시 그림 3과 같이 평가자들의 각 결함자료에 대한 이해도를 높이기 위해 Worksheet외에 대형 스크린으로 사진자료를 추가 제공하였고 충분한 사전교육 후 실시하였다.



그림 3. Panel Rating

3.5 강제곡선 도출

Panel Rating을 통해 얻은 평가결과는 그림 4와 같이 10% 이하의 백분위수와 90% 이상의 백분위수를 제외한 평균값을 산출하여 강제곡선을 모델링하였다. 그림 5와 같이 결함별 강제곡선(위)과 수정 강제곡선(아래)을 도출하였다.

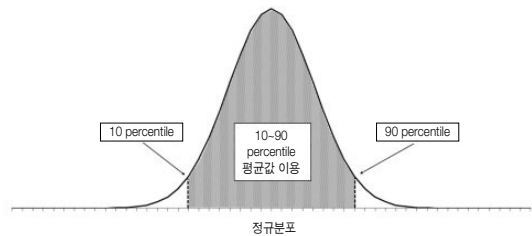


그림 4. 통계분석에 사용된 자료의 범위

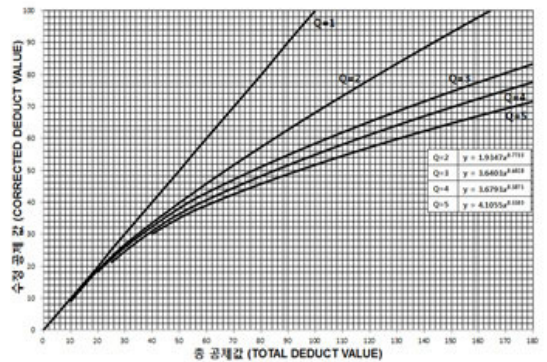
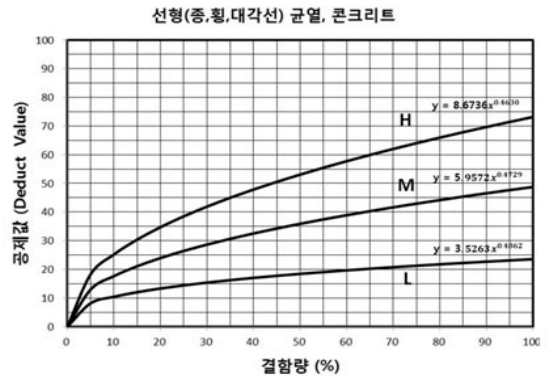


그림 5. 강제곡선 및 수정강제곡선 도출(예)

3.6 KPCI에 따른 보수보강 결정기준

포장상태지수에 따른 포장상태와 함께 유지보수 공법을 제시하는 보수보강 결정기준을 표 4와 같이 작성하였다. 표 1의 ASTM D5340의 포장상태 등급과 비교하였을 때 Fair가 40 이상인 반면에 KPCI는 80 이상을 양호로 분류하고 있다.

표 4. KPCI 보수보강 결정기준

KPCI 범위	상태구분	범위 별 보수방안
90~100	우수	일상유지보수
80~89	양호	일상유지보수
60~79	주의	예방적 유지보수 덧씌우기
40~59	불량	보수보강 또는 덧씌우기
39 이하	극히 불량	덧씌우기 또는 재시공

3.7 한국형 공항 포장상태지수 결정 지침서

한국형 공항 포장상태지수 결정 지침서는 KPCI에 대한 연구내용을 포함하고 있으며, 그림 6~8과 같이 지침으로서의 구성 뿐만 아니라 기존 포장상태 지수에 사용되고 있는 MicroPaver의 기능인 공제곡선과 수정 공제곡선의 연산과정을 전산화 하기 위해 Microsoft Excel로 구현한 KPCI 산출 프로그램에 대한 내용을 그림 9와 같이 수록하였다.

공항 포장상태지수 결정 지침서 (안)

목 차	
1. 지침의 개요	1
2. 용어의 정의	2
3. KPCI의 활용	4
4. 포장상태 조사결과	5
5. KPCI 산출과정	5
부록 A. 공항 아스팔트 포장 결함 평가 기준	9
A.1 아스팔트 포장 결함의 평가 기준	11
A.2 아스팔트 포장의 공제곡선	41
A.3 아스팔트 포장의 수정공제곡선	49
부록 B. 공항 콘크리트 포장 결함 평가 기준	50
B.1 콘크리트 포장 결함의 평가 기준	52
B.2 콘크리트 포장의 공제곡선	82
B.3 콘크리트 포장의 수정공제곡선	88
부록 C. References	89

그림 6. 한국형 공항 포장상태지수 결정 지침서 목차



그림 7. 지침서 내 포장상태 사진(예)

