

인천국제공항 아스팔트 포장 보수시기 결정 사례 연구

Case Study on Deciding a Time for Repairing Asphalt Pavement of Incheon International Airport

이 재 호 Lee, Jae-Ho
김 장 락 Kim, Jang-Rack
문 형 철 Mun, Hyung-Chul
조 남 현 Cho, Nam-Hyun

정회원 · 인천국제공항공사 건설사업처 차장 · 경영학석사 (E-mail: jhlee@airport.kr)
정회원 · (주) 로드텍 이사 · 공학석사 (E-mail: jaksal93@hanmail.net)
정회원 · (주) 로드텍 사장 · 공학박사 (E-mail: m1164@chol.com)
정회원 · 인천국제공항공사 연구개발단 연구원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail: t99ending@naver.com)

ABSTRACT

PURPOSES : The evaluation of the pavement condition of the asphalt concrete pavement of No. 2 runway of Incheon International Airport through PMS, a supporting system for making a decision of pavement, maintenance and repair, was made, and the proper time for repair according to the PCI reduction rate was suggested.

METHODS : By comparing and analyzing the evaluation results of pavements built in 2009, 2010, 2011, PCI change in each facility (No. 2 runway, C parallel taxiway, connection taxiway) was calculated. By applying the calculated change to PCI deduction rate model, the pavement condition of the target sections was estimated, and then the necessary section and time for repair were chosen.

RESULTS : After careful consideration of the time for pavement and maintenance, based on the result of PCI prediction, it was estimated that the southern takeoff and landing section of No. 2 runway was required to be repaired in 2012; connection taxiway in 2013; and C parallel taxiway in 2014; however, the section which is the main moving route of connection taxiway and C parallel taxiway was needed to be repaired in 2012.

CONCLUSIONS : For maintenance and repair of airport pavements, the optimal alternative should be chosen by considering economics and operability, via examining the time for repair and the aspect of management all together on the basis of this study.

Keywords

PMS(Pavement Management System), PCI(Pavement Condition Index), airside pavement, deterioration rate, optimal time for repair

Corresponding Author : Cho Nam-Hyun, Research Fellow
Incheon Airport, R&D Group, 424-47, Gonghang-gil, Jung-gu,
Incheon, 400-700, Korea
Tel : +82.32.741.2093 Fax : +82.32.741.2098
E-mail : t99ending@naver.com

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

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

포장관리시스템(PMS, pavement management system)은 포장 유지보수 의사결정 지원체제로 포장

상태 평가를 통해 적정시기에 포장보수를 실시하여 최적의 포장상태를 유지하는 것을 목적으로 한다 (Johnson, 1983). 공항 PMS 역시 항공기가 이동하는 활주로, 유도로, 계류장 등의 포장상태를 평가하여 포장수명 연장과 공항의 안전을 위한 최적의 보수방법 및

시기를 결정하기 위한 하나의 의사결정을 지원하는 체계라고 할 수 있다(FAA, 2007). 공항포장의 상태평가는 표면결함 현장조사자료를 이용해 산출된 포장상태지수(PCI, pavement condition index)와 포장 구조 지지력조사와 실내실험 자료를 활용하여 산출된 포장등급지수(PCN, pavement classification number)의 평가를 통해 이루어지고 있다(AIAA, 1983). 이러한 평가자료를 토대로 공항포장의 최적보수시기 및 방법을 결정하고 그에 따라 소파보수부터 대규모 보수까지 유지보수를 시행하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 공항 PMS의 일반적 절차를 통해 인천국제공항 제2활주로 아스팔트 콘크리트 포장을 대상으로 하여 포장상태평가 및 적정보수시기를 제시하고자 하였다.

본 연구의 대상인 인천국제공항의 주요 기반시설인 포장 시설물은 10년 이상 공용되면서, 개항 이후 지속적으로 증가한 항공 교통량을 수용함에 따라 아스팔트 콘크리트 포장의 일부 구간은 유지보수가 이루어져 왔다. 2011년 인천국제공항 Airside 포장상태 조사결과에 따르면 포장형식 및 구조에 관계없이 구조적 지지력 및 PCN은 현재까지 큰 변화가 없었지만, PCI는 전반적으로 감소하는 추세를 보였다(인천국제공항공사, 2011). 따라서 본 연구에서는 인천국제공항의 포장상태 평가자료를 활용하여 2활주로구역(2활주로, C평행유도로, 연결유도로)의 포장상태 평가와 PCI 변화 예측을 통한 보수시기를 제시하였다.

1.2. 연구방법

PCI 산정 및 변화량 분석을 위해 2009, 2010, 2011년에 걸쳐 균열, 변형, 소파보수 등과 같은 표면결함을 자동포장상태 조사장비를 이용하여 조사하고 분석프로그램을 통해 결함량을 정량화 하였다. 이러한 포장평가 결과를 비교·분석하여 각 시설물 별(2활주로, C평행유도로, 연결유도로) PCI 변화량을 산정하였다. 산정된 변화량을 PCI 감소율 모델에 적용하여 대상구간의 포장상태를 예측하여 보수필요구간 및 시기를 산정하였다. 그 절차는 다음과 같다.

- (1) 2활주로 현장 표면결함 조사
- (2) 조사 연도별 표면결함 정량화 및 PCI 산출
- (3) PCI 감소율의 포장상태 예측모형 적용
- (4) 2활주로 구역 별 보수시기 산정

2. 포장상태지수(PCI)

2.1. 일반사항

PCI는 전 세계적으로 사용되는 공항포장의 표면결함 지수로 표면결함상태를 정량화하여 나타내기 위해 미공병단에서 개발하였다(U.S Army, 1982). 이는 포장 표면에 나타난 결함의 종류, 심각도 및 발생밀도를 수치화하여 포장상태를 평가하는 방법으로 포장상태가 완전한 상태의 100, 파괴된 포장상태를 0의 범위로 나타낸 지수이다(ASTM, 2011). 공항에서는 PCI를 이용한 포장관리를 통해 항공기를 운항하는데 외부 이물질 손상(FOD, foreign object damage) 등의 안전적인 문제가 발생하지 않도록 하며, 균열 등의 결함으로 인한 포장의 추가적인 파손을 예방할 수 있다. PCI 산정을 위해 표면결함조사에서 분류될 아스팔트 콘크리트 포장의 표면결함의 종류는 ASTM D5340-11에 의거 Table 1과 같다. 각각의 결함은 심각도에 따라 Low, Medium, High의 3등급으로 나누어 평가된다.

Table 1. Distress in Asphalt Concrete Pavement

Distresses	Severity Levels
- Alligator Cracking	L, M, H
- Bleeding	No Degree
- Block Cracking	L, M, H
- Corrugation	L, M, H
- Depression	L, M, H
- Jet-Blast	No Degree
- Joint Reflection Cracking	L, M, H
- Longitudinal and Transverse Cracking	L, M, H
- Oil Spillage	No Degree
- Patching and Utility Cut Patching	L, M, H
- Polished Aggregate	No Degree
- Raveling	L, M, H
- Rutting	L, M, H
- Shoving	L, M, H
- Slippage Cracking	No Degree
- Swell	L, M, H
- Weathering	L, M, H

2.2. PCI 산정

PCI의 계산은 결함의 종류, 결함의 심각도, 결함의 파손량 등을 정의하는 표면결함의 육안상태조사 결과에 근거한다. PCI는 Eq. (1)과 같이 포장상태지수 최대값(100)에서 unit section안에서 발생한 결함의 deduct value에 관한 함수와 한 unit section에서 발생한 다양한 결함에 대해 보정하는 함수의 값을 감해주는 식으로 나타난다(Shahin, 1977).

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

여기서, PCI : 포장상태지수

C : 포장상태지수의 최댓값 (100)

$a(T_i, S_j, D_{ij})$: 결함의 종류(T_i), 심각도(S_j),

파손량(D_{ij})에 따른 deduct value 함수

i : 결함의 종류

j : 결함의 심각도 수준

p : 총 결함종류의 수

m_i : 결함의 종류 i 에 대한 심각도 수준의 수

$F(t, d)$: 총 deduct value 합(t), deduct의 수(d)에 대한 보정함수

PCI의 산출과정은 Fig. 1과 같이 총 6단계로 이루어진다.

1단계에서는 조사할 포장의 unit section을 분할하고 2단계에서는 결함의 종류, 심각도, 파손량에 대한 포장상태 조사가 이루어진다. 3단계에서는 조사된 각 결함별 deduct value를 산출하고 4단계는 산출된 각 결함의 최대 허용수와 결함별 deduct value를 합산한 total deduct value를 도출한다. 5단계에서는 복합결함에 대한 보정함수를 이용해 corrected deduct value를 산출한다. 6단계에서는 5단계에서 산출된 corrected deduct value를 이용해 포장상태지수의 최댓값에서 감해주어 최종적으로 PCI를 산출한다(Shahin, 1994).

이와 같이 산정된 PCI의 범위별 포장상태등급은 Fig. 2와 같이 구분하고 있다. 이는 최근 2011년 ASTM 5340의 PCI 기준으로 인천국제공항은 이 기준을 현재 준용하고 있다. 일반적으로 71~100 사이의 범위를 가지는 PCI는 예방적 유지보수가 필요하며 56~70 사이의 PCI는 주요 유지보수 활동(덧씌우기)이 필요한 시점이고 55 이하의 값은 재포장이 필요한 시점이다.

2.3. PCI를 이용한 포장 잔존수명 예측

PCI는 포장 표면에서 관측된 파손들을 기초로 포장의 현재 상태를 측정하는 수치적인 측정법이다. 이는 포장의 기능적 능력과 구조적 안전성 정도를 결과로 제공하지만, 포장의 상부층만을 조사하기 때문에 전반적 상태의 간접적 지표이다. 그럼에도 불구하고 PCI는 보수보강 우선순위 결정 및 유지보수 시기를 결정하는 객

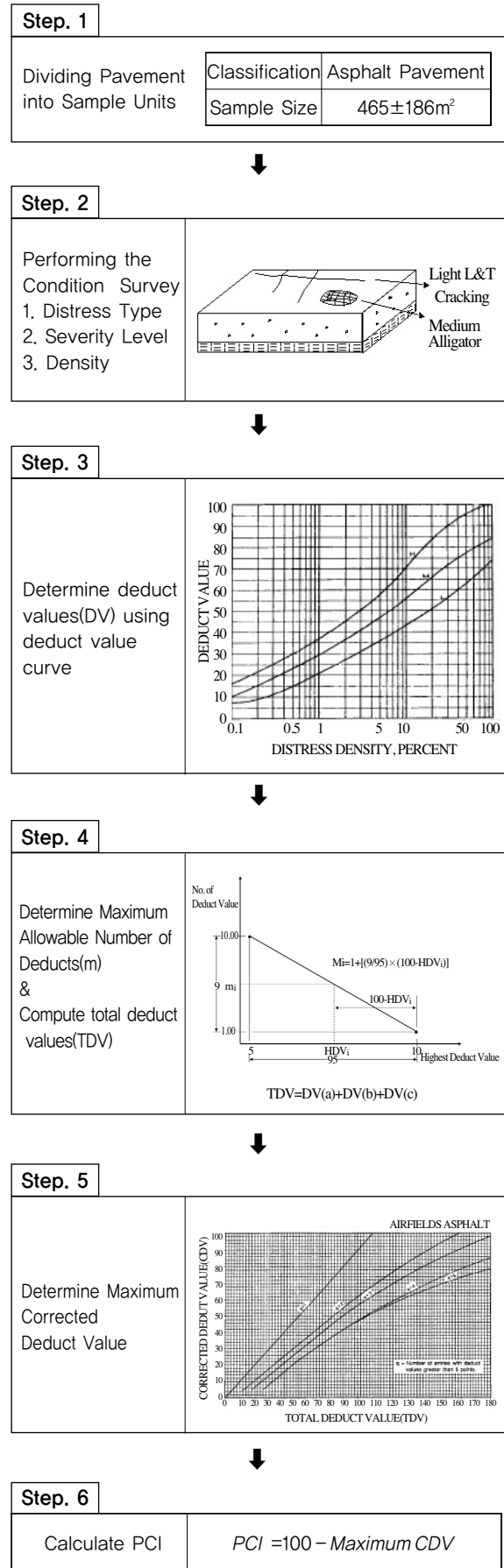


Fig. 1 PCI Calculation Steps

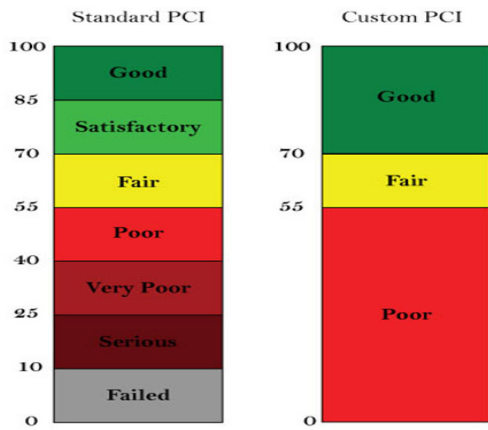


Fig. 2 Rating of PCI

관적인 근거를 제공한다. 더욱이 반복적인 PCI 모니터링의 결과는 포장상태의 감소율을 결정하기 위해 사용할 수 있으며 보수가 수행되어야 시점을 결정할 수 있게 해준다.

PCI를 이용하여 잔존수명(포장이 적정 공용 수준을 유지하면서 사용될 수 있는 수명)을 결정하는데 두 가지 방법이 사용된다. 하나는 모니터링을 통해 PCI의 감소율을 얻어내는 방법이고 다른 하나는 모델식을 이용하여 PCI를 예측하는 방법이다. 본 연구에서는 일반적으로 주로 사용되고 단순하며, PCI 결과 값을 그대로 이용할 수 있는 PCI 감소율 모델을 사용하여 대상구간의 포장상태 및 보수시기를 예측하였다.

PCI 감소율 방법은 시간에 따른 PCI의 손실량 또는 포장상태의 감소율을 평가하는 방법이다. 이 방법을 통해 포장의 수명 동안 PCI 전체 손실을 결정하데 포장 시공 시 PCI를 100으로 가정하여 Eq. (2)를 이용해 포장의 감소율을 예측하게 된다. 이는 최근 건설(보수)된 시점에서부터 조사된 시점까지의 평균적인 포장의 경향을 단순히 선형 추정하게 된다. Eq. (2)에서 최근 시공 날짜(Last Construction Date)는 새 포장 또는 덧씌우기와 같은 주요 시공 또는 보수가 된 날짜를 의미한다. 정기적인 유지보수활동 등은 최근 시공 날짜에 포함되지 않는다(Monty Wade et. al, 2001).

$$Deterioration Rate = \frac{100 - PCI}{Survey Date - Last Construction Date} \quad (2)$$

감소율의 일반적인 범위는 1에서 5까지이나 주로 2에서 3정도의 값을 가진다. 낮은 감소율은 좀 더 내구성이 있는 포장구조를 나타내며 그에 반해 높은 감소율은 취

약한 포장구조를 가지고 있거나 매우 높은 교통량 수준에서 운영이 되고 있다는 것을 말한다. 본 방법은 단순하다는 이점을 가지고 있으며, 의문시 되는 특정 포장구간의 공용성에 기초하여 상태를 예상할 수 있어 주로 사용된다. 그러나 실제로 포장의 성능은 시간이 지남에 따라 선형으로 감소하지 않기 때문에 장시간에 걸쳐 악화되는 포장의 공용성을 예측하는데 어느 정도 한계점도 있다.

PCI를 통한 포장 수명 예측의 가장 큰 장점은 포장의 전체 상태를 PCI로 반영한다는 것이다. PCI 방법은 예방적 유지관리, 유지보수 또는 재건설의 시점을 알아내는데 적당하지만 구조적인 평가는 수행되지 않는다는 단점도 수반되어 있다.

3. 포장 표면상태 조사

3.1. 인천국제공항 주요시설의 규모

인천국제공항은 인천광역시 중구 운서동에 위치하였으며 현재 3개의 활주로가 운영되고 있다. 2001년 개항 당시 1, 2 활주로만 운영하였으며 현재 공용된 지 약 10년 이상이 지났으며, 2008년부터 3활주로를 추가 운영하고 있다(인천국제공항공사, 2009). Fig. 3은 인천국제공항 주요시설의 위치를 보여주고 있으며, 이 중 제2 활주로 시설이 본 연구의 대상으로 포장상태에 따른 보수시기를 제시하였다.



Fig. 3 Layout of Incheon International Airport Facilities

3.1.1. 주요시설 현황

인천국제공항은 3개의 활주로와 6개의 평행유도로, 다수의 계류장으로 구성되어 있다. 2001년 개항 시 운영된 시설은 1단계시설로, 2008년부터 운영을 시작한 3활주로 구역은 2단계시설로 구분하고 있다. Table 2에 인천국제공항의 시설물 현황을 정리하였다.

Table 2. Incheon International Airport Facilities

Facilities	Area(m ²)	Specification(m)	Remark
No. 1 Runway	225,000	3,750×60	1st Phase
No. 2 Runway	225,000	3,750×60	
No. 3 Runway	240,000	4,000×60	2nd Phase
A-Taxiway	127,050	4,235×30	1st Phase
B-Taxiway	121,050	4,035×30	
C-Taxiway	112,500	3,750×30	
D-Taxiway	150,210	5,007×30	
M-Taxiway	121,860	4,062×30	2nd Phase
N-Taxiway	120,000	4,000×30	
Passenger Terminal Apron	2,421,809	3Point	1st Phase
Cargo Terminal Apron	683,148	2Point	

3.1.2. Airside 포장 현황

인천국제공항의 활주로 및 유도로, 계류장은 두 가지 형태의 포장형식을 취하고 있다. 항공기 이동속도가 빠르고, 착륙항공기 이동지역인 경우 아스팔트 콘크리트 포장이며, 반대로 이동속도가 느리고 이륙항공기 이동지역인 구간은 시멘트 콘크리트 포장으로 구성되어 있다. 따라서 활주로의 경우 양 말단은 시멘트 콘크리트 포장으로, 중간은 아스팔트 콘크리트 포장으로 구성되었으며 A, D평행유도로와 계류장은 시멘트 콘크리트 포장으로, B, C평행유도로는 아스팔트 콘크리트 포장으로 설치되어 있다. Fig. 4의 포장구간 중 진한회색은 아스팔트 콘크리트 포장이고 연한회색은 시멘트 콘크리트 포장구간으로 점선으로 표시된 2활주로 구역이 본 연구의 대상구간이다. 기타 나머지 구간은 녹지, 여객터미널 및 탑승동 등을 보여주고 있다.

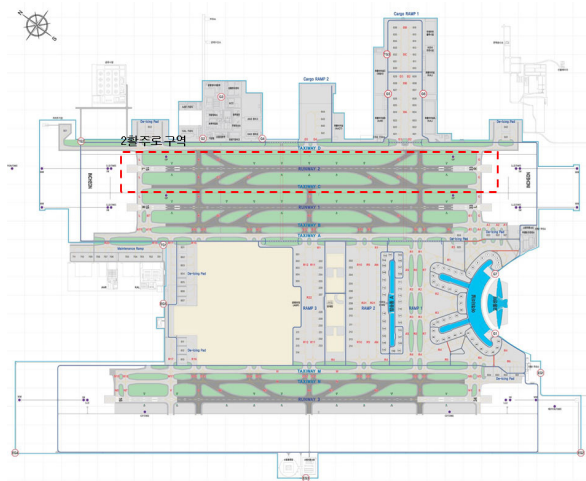


Fig. 4 Pavement Facilities of Incheon International Airport

3.2. 포장상태 평가절차

본 연구에서 실시한 인천국제공항 제2활주로의 포장상태 평가는 Fig. 5의 절차에 따라 진행하였다. 시설물별 보수시기 및 운영전략 수립 연구를 위하여 평가대상 구간을 선정하고 해당구간의 포장상태를 조사하여 포장상태 현황을 파악하였다. 선정된 대상구간은 자동포장상태 조사장비를 사용하여 전수조사를 실시하고 조사된 자료는 결합분석 프로그램으로 결합량을 정량화하였다. 결합량이 정량화된 시설물에 대한 PCI의 산정은 Micro PAVER 프로그램을 사용하였다. 이는 국내외에서 공항포장평가에 일반적으로 사용되는 프로그램으로, 인천국제공항 전체포장시설물에 대한 포장평가 D/B를 구축하였다. 본 연구에서 얻어진 결합자료를 Micro PAVER의 최소단위인 샘플단위에 입력하여 샘플 및 동질성구간단위로 PCI를 산정하였다. 이를 통해 각 동질성구간에 대한 2009, 2010, 2011년에 산출된 PCI를 비교·분석하여 각 시설물별 PCI 감소율을 산정하였다. 산정된 감소율을 PCI 감소율 모델에 적용하여 대상구간의 포장상태를 예측하여 보수필요구간을 산정하였다.

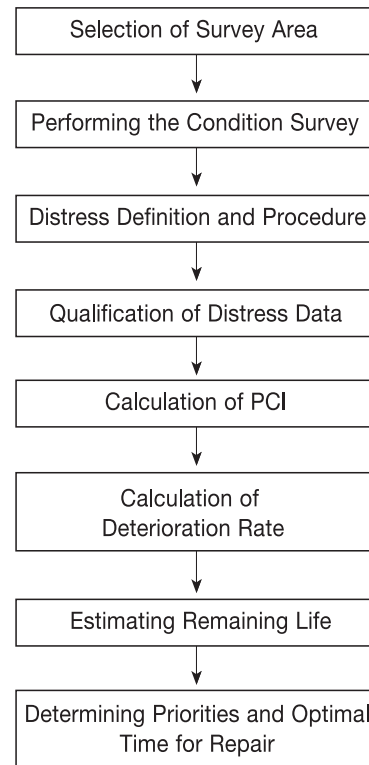


Fig. 5 Procedure of Pavement Condition Evaluation

3.3. 포장 표면결합 조사

PCI를 산정하기 위해 Fig. 6과 같이 균열, 변형, 소파 보수 등과 같은 표면결합을 자동포장상태 조사장비를

이용하여 제2활주로 포장면 전체 전수조사를 실시하였다. 이때 수집된 자료는 1mm 이하의 균열검출이 가능한 포장면 이미지로 분석프로그램을 통해 결함량을 정량화 하였다.

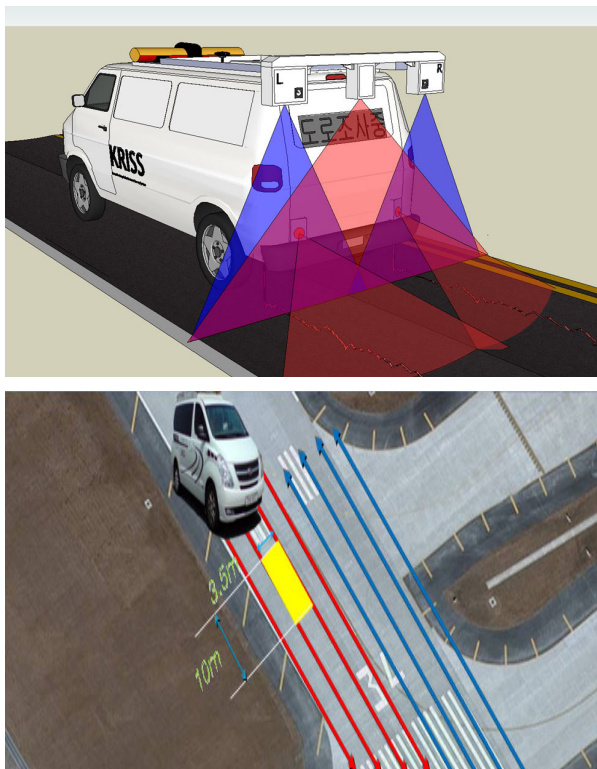


Fig. 6 Pavement Condition Survey by Automatic Surveying Equipment

3.4. 동질성 구간 분할현황

일반적으로 공항의 포장상태 평가를 위해서 시설물 특성(포장형식, 시공연도, 포장두께 등)을 고려하여 포장평가 단위를 구분하고 있으며 이를 동질성구간 분할이라고 한다(Shahin, 1994). 인천국제공항은 시설물별 포장형식, 포장두께, 시공연도 등을 고려하여 구간분할이 되어 있으며 다음과 같은 기준으로 분할하였다.

- 가. 인천국제공항의 동질성 구간은 포장상태평가 프로그램인 Micro PAVER D/B를 구축하기 위한 Network, Branch, Section, Sample로 구성하였다.
- 나. 'Network'는 공용시기를 고려하여 1단계시설과 2단계시설로 구분하였다.
- 다. 'Branch'는 활주로, 평행유도로, 유도로, 계류장 등 각각의 시설물로 구분하였다.
- 라. 'Section'은 각 "Branch"내에서 포장구조, 두

께, 교통조건 등을 고려하여 세분화 되어진다. 즉, 활주로 양말단의 시멘트 콘크리트포장과 중앙부의 아스팔트 콘크리트 포장을 구분하고, 활주로의 항공기 이착륙이 직접적으로 이루어지는 wheel path 구역과 외측 구역으로 구분되어지며 이 구간은 포장두께도 다르게 구성되어있다. 또한 계류장(ramp)의 경우 이동지역과 주기지역을 구분하고 항공기 유도선을 고려하여 분할하였다.

- 마. 'Sample'의 경우 'Section'을 구성하는 가장 기본적인 평가의 단위로서 포장형식별로 크기의 제한이 있으며 표면결함을 측정하여 포장상태지수를 나타내는 기본단위가 되었다.
- 바. 각각의 Network, Branch, Section, Sample은 고유 식별부호(ID)가 존재한다.

이와 같은 기준을 통한 2활주로 구간 동질성 구간 분할현황은 Fig.7과 같다. 여기서 활주로의 동질성 구간 중 "E"는 동측, "C"는 중앙부, "W"는 서측을 명명하는 것이다. 중앙부의 경우 36m(폭)×280m(평균길이), 동측과 서측 12m(폭)×280m(평균길이)의 크기를 갖는다. 유도로의 경우 폭은 30m이며 그 길이는 구간별로 다양한 길이를 갖는다.

No.2 Runway (North)	80E	70E	60E	50E	40E	30E	20E	No.2 Runway (South)
	80C	70C	60C	50C	40C	30C	20C	
	80W	70W	60W	50W	40W	30W	20W	

C-Taxiway (North)	60	50	40	30	20	C-Taxiway (South)
-------------------	----	----	----	----	----	-------------------

Fig. 7 Division of Homogeneous Sections for No. 2 Runway

3.5. 표면결함 분석 방법

인천국제공항 포장면에 발생한 결함의 종류와 양을 정확하고 정량적으로 분석하기 위해 조사된 이미지와 결함 분석 정량화 프로그램을 이용하여 분석자료의 신뢰성을 확보하였다. 이때 사용된 결함분석 정량화 분석프로그램은 Fig. 8의 "Pavement Analyzer"으로 현장 조사된 이미지 자료를 정량적으로 분석하고 전문가 입장에서 파손을 정의하여 파손에 대한 수치적 정량화를 통해 자료의 객관성과 정확성을 향상시킨 프로그램이다.

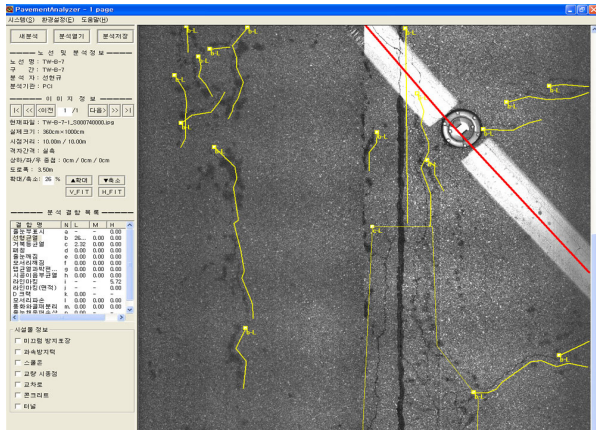


Fig. 8 Pavement Analyzer

표면결함 분석 후 산출된 동질성 구간별 결함량은 PCI 산정기능과 D/B 구축기능을 가지고 있는 Fig. 9의 Micro PAVER에 입력하여 분석자가 위와 같은 복잡한 과정을 실시하지 않고 소프트웨어를 통해 결함량에 따라 PCI를 산출할 수 있다. 각 시설물들의 표면결함 조사결과 얻어진 결함종류별 발생량은 기 구축된 D/B에 맞게 정량화하여 Micro PAVER에 입력하였으며 최종적으로 샘플, 섹션의 PCI값을 도출하였다.

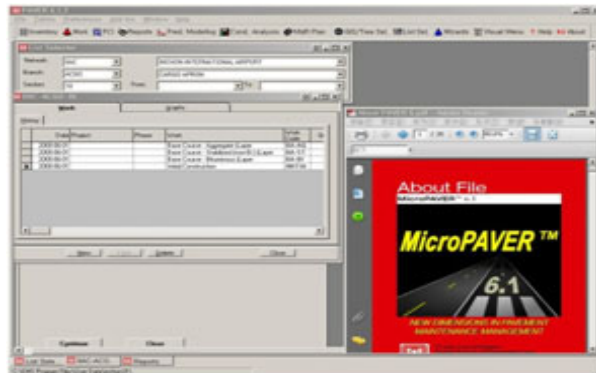
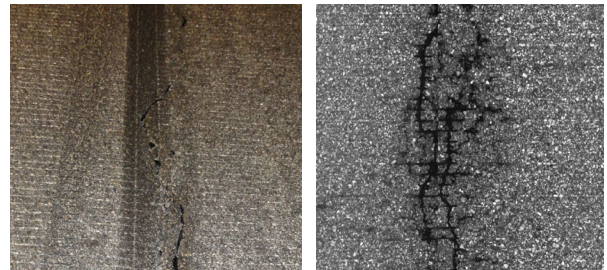


Fig. 9 Micro PAVER

4. 제2활주로 구간 표면결함

인천국제공항 2활주로 구역은 2001년 개항 이후 공 용년수가 10년 이상 되었으며 이중 2활주로 남단 일부 지역은 보수시기가 도래하여 2010년에 보수를 시행하였다. 2활주로 구역에 대한 포장상태 조사결과 Fig. 10 과 같이 선형균열(longitudinal/transverse cracking), 거북등균열(alligator cracking), 패칭 (patching), 라벨링(raveling) 등이 다양하게 발생하였다(인천국제공항공사, 2011). 2009, 2010, 2011년에 조사된 자료를 검토한 결과 결함량이 증가하고 있는 것으로 분석되었다. 이때 제2활주로 구간을 2활주로, C평행 유도도로, 연결 유도도로로 분할하여 각각의 결함 발생량 변화를 검토하였다.



(a) L/T Cracking

(b) Alligator Cracking



(c) Patching

(d) Raveling and Sealing

Fig. 10 Examples of Occurrence of Distress in Runway No. 2 Area

4.1. 2활주로 결함량 변화

2활주로의 주요 발생결함은 선형균열, 라벨링, 거북 등균열이며 균열 실링(crack sealing)이 다수 시공된 것으로 분석되었다. 2010년 및 2011년 조사자료를 비교·분석한 결과 2010년에 보수가 된 남단을 제외한 구간에서는 선형균열, 거북등균열, 라벨링이 증가하였다. 패칭 면적과 라벨링 면적의 감소는 2010년에 실시한 2활주로 남단 보수의 영향으로 판단되나 다른 결함들의 증가로 볼 때 보수 제외구간에도 포장의 노후화가 점차 진행되고 있는 것으로 검토되었다. Fig. 11은 2활주로의 2009년~2011년 결함발생량 변화를 보여 주고 있다.

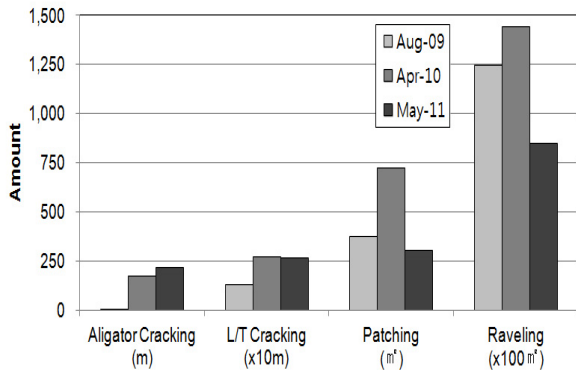


Fig. 11 Change of Distress of No. 2 Runway

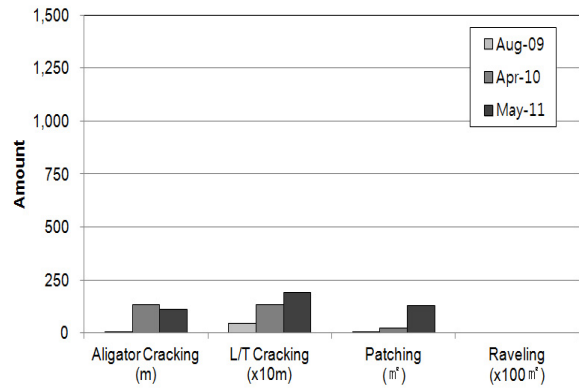


Fig. 13 Change of Distress in Other Taxiways

4.2. C평행유도로 결함량 변화

C평행유도로의 포장상태 조사결과 2활주로와 마찬가지로 선형균열 및 거북등균열, 패칭이 주로 발생하였고 항공기의 주 이동경로인 J유도로와 교차하는 구간에서 결함 발생비율이 높았다. 포장의 재령과 결함발생 추세로 판단해 볼 때 해당구간의 포장손상은 타 지역에 비해 빨리 진행되어 보수가 필요할 것으로 판단된다. 2009년~2011년도의 조사자료 결과 Fig. 12와 같이 결함량이 전반적으로 소폭 증가하였다.

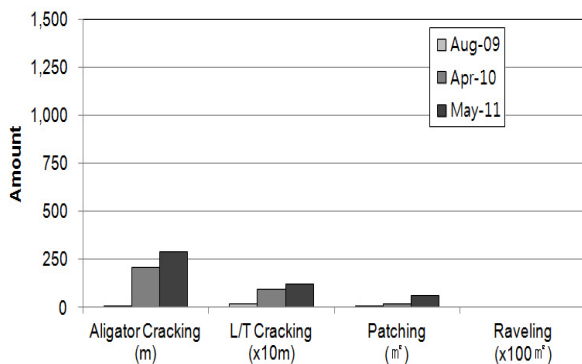


Fig. 12 Change of Distress of C-Parallel Taxiway

4.3. 연결유도로 결함량 변화

2활주로 및 C평행유도로의 인근 유도로 포장상태 조사 및 분석결과 선형균열과 거북등균열이 발생하였으며 항공기 주 이동지역인 J유도로와 C1지역의 결함발생 비율(면적대비)이 높게 분석되었다. 2009~2011년에 걸친 결함량의 변화를 검토한 결과 Fig. 13과 같이 선형균열과 패칭은 증가하였고 유지보수결과 거북등균열은 감소하였다.

5. PCI 산출 및 보수시기 결정

5.1 동질성 구간별 PCI 산출

3.4절의 동질성 구간별 2011년도 PCI를 산출한 결과 2활주로는 Table 3과 같이 남, 북단 터치다운 구간에 라벨링이 발생하여 2010년 조사결과와 비교하여 PCI가 감소된 것으로 분석되었다. C평행유도로와 연결유도로는 Table 4 및 Table 5와 같이 항공기의 주 이동지역 구간에 부분적으로 PCI가 저하된 것으로 분석되었다.

Table 3. PCI of No. 2 Runway (2011)

Homogeneous Section(East)	80E	70E	60E	50E	40E	30E	20E
PCI	82	79	79	82	86	91	91
Homogeneous Section(Center)	80C	70C	60C	50C	40C	30C	20C
PCI	76	76	80	79	86	98	99
Homogeneous Section(West)	80W	70W	60W	50W	40W	30W	20W
PCI	77	75	71	79	89	91	91

Table 4. PCI of C-Parallel Taxiway (2011)

Homogeneous Section	60	50	40	30	20
PCI	84	84	89	82	87

Table 5. PCI of Other Taxiways (2011)

Homogeneous Section	J1	C1	C2	C4	C5
PCI	78	82	85	84	86
Homogeneous Section	K1	J2	D1	D6	K2
PCI	81	89	95	92	94

5.2. PCI 분포변화 분석

2활주로 및 C평행유도로 등 각 시설물의 포장상태 저하정도를 분석하기 위하여 2009년~2011년의 포장평가결과를 수집하여 샘플단위의 PCI 분포변화를 검토하였다.

5.2.1. 2활주로

2활주로지역 샘플들의 PCI 분포변화는 Table 6과 같다. 2009년 조사 시 PCI가 70을 초과하는 샘플이 전체 중 91% 이상으로 대부분 양호한 상태였다. 2010년 4월에 실시한 조사결과 PCI가 70 이하의 샘플 개수가 69개로 지난해에 비해 증가하였고 2011년에는 남단의 보수로 인해 70 이하 구간의 비율이 감소하였다.

Table 6. Change of PCI in No.2-Runway

Range of PCI	Aug-2009		Apr-2010		May-2011	
	No. of Sample	Rate(%)	No. of Sample	Rate(%)	No. of Sample	Rate(%)
≤ 70	33	8.87	69	18.55	27.00	7.26
71 ~ 80	15	4.03	79	21.24	142.00	38.17
81 ~ 90	141	37.90	164	44.09	115.00	30.91
90 <	183	49.19	60	16.13	88.00	23.66
Total	372	100	372	100	372	100

5.2.2. C평행유도로

C평행유도로 샘플들의 PCI 분포변화는 Table 7과 같다. 2009년 조사 시 PCI 70 이하의 값을 가지는 샘플이 없었지만 2010년 4월에 실시한 조사결과를 살펴보면 70 이하의 샘플 개수가 6개로 분석되었고, 2011년 조사결과 그 비율이 더 증가하였다.

Table 7. Change of PCI in C-Paralle Taxiways

Range of PCI	Aug-2009		Apr-2010		May-2011	
	No. of Sample	Rate(%)	No. of Sample	Rate(%)	No. of Sample	Rate(%)
≤ 70	0	0.00	6	2.42	12.00	4.84
71 ~ 80	0	0.00	35	14.11	42.00	16.94
81 ~ 90	21	8.47	111	44.76	124.00	50.00
90 <	227	91.53	96	38.71	70.00	28.23
Total	248	100	248	100	248	100

5.2.3. 연결유도로

연결유도로의 PCI 70 이하 구간 샘플 수는 Table 8

과 같이 크게 증가하고 있지 않으나 포장상태가 양호한 구간은 점점 감소하고 있으며 상대적으로 포장보수를 요하는 구간은 증가하고 있는 추세로 분석되었다.

Table 8. Change of PCI in Other Taxiways

Range of PCI	Aug-2009		Apr-2010		May-2011	
	No. of Sample	Rate(%)	No. of Sample	Rate(%)	No. of Sample	Rate(%)
≤ 70	0	0.00	6	2.42	12.00	4.84
71 ~ 80	0	0.00	35	14.11	42.00	16.94
81 ~ 90	21	8.47	111	44.76	124.00	50.00
90 <	227	91.53	96	38.71	70.00	28.23
Total	248	100	248	100	248	100

5.3. PCI 예측모형에 따른 보수시기 예측

본 연구에서는 PCI 예측을 위해 해외 여러 공항에서 주로 사용되는 포장상태 모니터링을 통한 PCI의 감소율을 예측하는 모형을 사용하였다. PCI 감소율 예측모형의 산정방법은 Eq. (2)와 같다.

감소율을 산정하기 위해 Eq. (2)의 공용 초기 값(100)을 사용하지 않고, 2009, 2010, 2011년에 각각 분석된 제2활주로 구역의 PCI를 사용하여 시설물별 감소율을 산정하였다. 이는 최근 포장상태가 급격히 나빠졌기 때문에 공용 초기 값을 사용할 경우 현재 포장상태 감소추이를 반영하지 못할 것이라 판단했기 때문이다. 또한 2활주로 구역의 보수시기 판단을 위해 PCI 분포현황을 바탕으로 Table 9와 같이 활주로 구간별 특성을 고려하여 분류하였다.

Table 10과 같이 분류된 시설물 구간별 2009~2011년 동안의 PCI 변화를 살펴보면 2활주로 아스팔트 콘크리트 포장 전체구간 PCI의 경우 2009년 “89”에서 2011년 “82”로 감소하였다. 이중 북측 및 남측의 항공기 착륙지역의 PCI의 감소는 활주로 중앙부보다 더 컸으며 이는 항공기 이착륙 하중과 착륙으로 발생된 고무 퇴적물 제거에 의해 발생된 아스팔트 표면의 파손이 원인으로 판단된다. C평행유도로의 PCI 변화는 2009년 “96”에서 2011년 “85”로 확인되었다. 2활주로 인근 직각유도로의 PCI는 2009년 평가 시 “94”였으며 2011년에는 “82”로 감소하였고 고속탈출유도로는 “96”에서 “85”로 감소하였다.

PCI 예측을 위해 평가자료를 활용하여 각 시설물별 PCI 예측모형의 감소율을 Table 11과 같이 산정하였다. 2활주로 북단의 경우 PCI 년(year) 감소량은 “6”, 중앙부는 “5”, 남단의 경우 감소율이 가장 높은 “11”로 산정되었다. 그 외 유도로의 경우 C평행유도로가 “2”, 직각유도로 “4”, 고속탈출유도로 “3”으로 각각 산정하였다.

Table 9. Classified Facilities through PCI

Facilities	
Classification	Section
Entirety of No.2 Runway (Asphalt Pavement)	All Section
- Touch-Down Area(North) (1,000m)	60C(partial)~80C, 60W(partial)~80W, 60E(partial)~80E
- Center Area of Runway (1,150m)	50C(partial)~ 60C(partial), 50W(partial)~60W(partial), 50E(partial)~60E(partial)
- Touch-Down Area(South) (1,000m)	20C ~ 50C(partial), 20W ~ 50W(partial), 20E~50E(partial),
C-Parallel Taxiway	All Section
Right Angled Taxiway	Right Angled Taxiway near the No.2 Runway
High Speed Exit Taxiway	High Speed Exit Taxiway near the No.2 Runway

Table 10. PCI Status of No.2-Runway and nearby Taxiway

Facilities	PCI		
	Aug-2009	Apr-2010	May-2011
Entirety of No.2 Runway (Asphalt Pavement)	89	82	82
- Touch-Down Area(North)(1,000m)	89	83	77
- Center Area of Runway (1,150m)	92	85	80
- Touch-Down Area(South)(1,000m)	92	88	77
C-Parallel Taxiway	96	87	85
Right Angled Taxiway	94	86	82
High Speed Exit Taxiway	96	88	85

Table 11. Deterioration Rate of Facilities

Facilities	Deterioration Rate
Classification	
Entirety of No.2 Runway (Asphalt Pavement)	-
- Touch-Down Area(North) (1,000m)	$PCI=PCI(2011) - 6 \times age$
- Center Area of Runway (1,150m)	$PCI=PCI(2011) - 5 \times age$
- Touch-Down Area(South) (1,000m)	$PCI=PCI(2011) - 11 \times age$
C-Parallel Taxiway	$PCI=PCI(2011) - 2 \times age$
Right Angled Taxiway	$PCI=PCI(2011) - 4 \times age$
High Speed Exit Taxiway	$PCI=PCI(2011) - 3 \times age$

예측모형을 바탕으로 PCI 예측 값과 보수시기를 분석한 결과 Table 12와 Table 13과 같다. 2활주로는 중앙부와 함께 2012년에 보수기준인 “70”에 근접할 것으로 판단된다. 활주로의 남단(보수지역 제외)은 2012년에 PCI가 보수기준 이하일 것으로 예측된다. C평행유도로는 연도별 PCI 감소추이를 살펴본 결과 매년 지속적으로 감소하고 있는 추세이며 직각유도로는 2014년에 PCI가 보수기준 이하로 예상되었다.

Table 12. Predicting PCI of Facilities

Facilities	Predicted PCI		
	2012	2013	2014
Entirety of No.2 Runway (Asphalt Pavement)	-	-	-
- Touch-Down Area(North)(1,000m)	71	65	59
- Center Area of Runway (1,150m)	75	70	65
- Touch-Down Area(South)(1,000m)	66	55	44
C-Parallel Taxiway	83	81	79
Right Angled Taxiway	78	72	68
High Speed Exit Taxiway	82	79	76

Table 13. Optimal Time for Repair of Facilities

Facilities	Optimal Time for Repair
Classification	
Entirety of No.2 Runway (Asphalt Pavement)	-
- Touch-Down Area(North)(1,000m)	2012
- Center Area of Runway (1,150m)	2012
- Touch-Down Area(South)(1,000m)	2012
C-Parallel Taxiway	2014*
Right Angled Taxiway	2013
High Speed Exit Taxiway	2014

* C평행유도로는 급격하게 상태가 저하될 가능성 있음.

최종 포장상태평가(2011년)를 기준으로 2활주로 구역은 단계별로 유지보수가 필요한 것으로 분석되었다. Fig. 14는 평가시점의 PCI 상태를 나타낸 것이다. ‘PCI 81~100’으로 상태가 양호한 구간이며, 각 구간별 ‘PCI 76~80’, ‘PCI 71~75’이 분포되어 있다. 또한 ‘PCI 70 이하’ 구간은 보수가 즉시 필요한 구간에 해당된다. 앞서 PCI 예측결과를 토대로 포장보수시기를 검토한 결과 2활주로의 남단 이착륙 구간은 2012년에 보수가 필요하며 연결유도로는 2013년, C평행유도로는 2014년으로 예상되었다. 하지만 연결유도로 및 C평행유도로의 주이동경로에 해당하는 구간은 2012년 보수

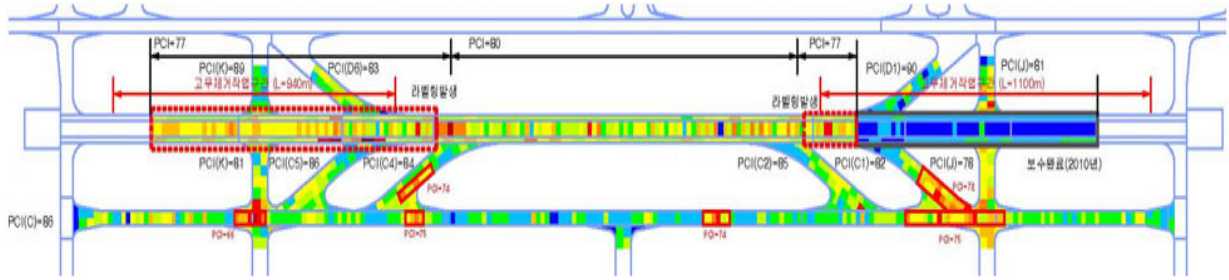


Fig. 14 Pavement Condition Index in No.2-Runway Area (2011)

가 필요한 실정이었다.

하지만 활주로 및 유도로의 대규모 보수공사는 공항 폐쇄 또는 활주로 폐쇄로 공항운영에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서 하나의 시설물에 대한 대규모 보수는 그 시설물과 인접한 시설물에 영향을 고려하고 경제성, 공항운영, 유지보수 진행 등 복합적인 검토를 통해 이루어져야 할 필요가 있다.

6. 요약 및 결론

포장 유지보수 의사결정 지원체계인 PMS를 통한 인천국제공항 제2활주로 아스팔트 콘크리트 포장의 포장 상태 평가 및 PCI 감소율에 따른 적정 보수시기를 제시하기 위한 연구결과는 다음과 같다.

1. 2활주로 구역에 대한 포장상태 조사결과 선형균열, 거북등균열, 패칭, 라벨링 등이 다양하게 발생하였으며, 2009, 2010, 2011년 결함량이 증가하고 있는 것으로 분석되었다.
2. 2활주로, C평행유도로, 연결유도로의 연도별 PCI 분포를 비교한 결과, 2010년에 보수된 2활주로 남단의 부분을 제외하고 공용년수에 따라 전반적으로 포장 상태가 양호한 구간은 점점 감소하고 있으며 상대적으로 포장보수를 요하는 구간은 증가하고 있는 추세로 분석되었다.
3. PCI 예측을 위해 평가자료를 활용하여 각 시설물별 PCI 예측모형의 감소율은 2활주로 복단의 경우 “6”, 중앙부는 “5”, 남단의 경우 가장 높은 “11”로 산정되었다. 그 외 유도로의 경우 C평행유도도가 “2”, 직각유도로 “4”, 고속탈출유도로 “3”으로 각각 산정되었다.
4. PCI 예측결과를 토대로 포장보수시기를 검토한 결과 2활주로의 남단 이착륙 구간은 2012년에 보수가 필

요하며 연결유도로는 2013년, C평행유도로는 2014년으로 예상되었다.

5. 공항포장의 유지보수는 본 연구를 통한 보수시기와 공항의 운영측면 모두를 함께 검토하여 경제성 및 운영성을 고려한 최적 대안이 선정되어야 한다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 국토해양기술 연구개발사업인 “저탄소 녹색공항 포장시공 및 유지관리기법 개발”의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

References

- Aerospace Industries Association of America(AIAA), 1983, *Aircraft Loading on Airport Pavements*, ACN-PCN, Aircraft Classification Number for Commercial Turbojet Aircraft, Aerospace Industries Association of America
- American Society for Testing and Material(ASTM), 2011, *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*, American Society for Testing and Material.
- Federal Aviation Administration(FAA), 2007, *Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements*, Advisory Circular 150/5380-6B, Federal Aviation Administration
- Incheon International Airport Corporation, 2019, *“Final Report, Airside Pavement Condition Evaluation”*
(인천국제공항공사, 2009, “인천국제공항 A/S지역 포장평가용역 최종보고서”)
- Incheon International Airport Corporation, 2010, *“Final Report, Pavement Condition Evaluation of Flexible Pavement for No.1, No.2 Runway”*
(인천국제공항공사, 2010, “제 1,2활주로 연성포장지역 포장평가용역 최종보고서”)
- Incheon International Airport Corporation, 2011, *“Final Report, Airside Pavement Condition Evaluation”*
(인천국제공항공사, 2011, “인천국제공항 AIRSIDE 포장평가용역 최종보고서”)
- Johnson, C, 1983. *“Pavement (Maintenance) Management*

Systems," APWA Reporter, APWA, Kansas City, MO.
MicroPaver; *US Army Corps of Engineers, Version 7.2*
Monty Wade, Peshkin, D., Smith, K., and Yu, H., 2001, Estimating Remaining Life of Airfield Pavements. *Advancing Airfield Pavements*: pp. 133-147.
U.S. Army, 1982, Pavement Maintenance Management. *Technical Manual TM 5-623*
Shahin, M. Y., Darter, M. I. and Kohn, S. D., 1977, *Development of*

a Pavement Maintenance Management System : Volume 1.
Airfield Pavement Condition Rating, Final Report, Civil and Environmental Engineering Development Office (Air Force Systems Command), Illinois.

Shahin, M. Y., 1994, *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*, Kluwer Academic Publishers.

(Received : Oct. 24 2013, Revised : Oct. 26 2013, Accepted : Nov. 25 2013)