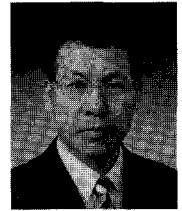


비행장 포장설계지침에 따른 노후 활주로 성능개선 설계 사례



김 한 용 | 정회원 · (주)한솔엔지니어링 대표이사 · 공학박사

노 인 군 | 정회원 · 국토해양부 항공안전본부 공항기준담당관실 시설사무관

1. 서론

국내에는 현재 민항과 군항을 합하여 30여개 공항이 운영중에 있으며 이중 다수의 활주로가 20년 이상 공용하여 거의 한계수명에 도달한 바, 경제적이고 합리적인 개선대책이 시급한 실정이다. 이러한 노후된 활주로 포장은 주로 적절한 유지보수를 통하여 수명연장을 도모하다가 한계수명에 도달 시 완전 재포장을 시행하고 있다. 특히, 우리나라 공항의 주종을 이루는 군민(軍民) 공용활주로의 경우 반사균열에 대한 부작용을 너무 의식하기 때문에 기존 노후포장을 최대한으로 활용할 수 있는 기회비용을 놓치므로 경제적으로도 큰 손실을 보고 있는 실정이다. 따라서 본고에서는 2008년에 국토해양부 국책연구과제의 성과물로 완성된 비행장포장설계지침에 따라 국내의 노후공항 중 개항 20년이 된 진주공항을 대상으로 현 포장상태 및 유지보수이력을 조사·분석하고 이를 바탕으로 경제적이고 합리적으로 성능개선한 설계사례를 소개하고자 한다.

2. 자료수집 및 분석

2.1 진주공항 시설개요

2.1.1 위치

경상남도 사천시 사천읍에 위치한 진주공항은 2본의 활주로나 15본의 유도도로로 구성되어 있으며 연간처리능력은 16,500회로 조사되었다.

본 설계대상 시설인 복측 활주로의 경우 1987년에 건설되어 약 20년간 사용하고 있다.

2.1.2 주요 시설규모

공 항 명	활 주 로		
	면 적(m ²)	규 격(m)	연간처리능력(회)
활주로	24,870	2,743×45(2본)	16,500
유도로	60,375	2,625×23	16,500
	49,496	2,152×23	

2.1.3 활주로 운영등급

구 분	U F C	I C A O	비 고
적 용 등급	Class B	Code No. 4 Code Letter C	계기-비정밀 진입

2.2 운영현황

• 운항실적의 경우에는 진주공항으로부터 제공받았으며 2007년 운항회수는 아래와 같다.

구분	기종	실적	계	비율(%)
군용기	군용항공기의 경우 주로 연습항공기로 진주공항으로부터 제공받은 자료를 통해 다음의 비율로 유지되고 있다.			46.59%
민항기	B737-900	1,121	1,121	53.41%
합계			2,099	100%

2.3 포장평가

2.3.1 포장평가 시행 개요

가. 일시 : 2005년

나. 장비 : 중하중 포장 처짐 측정기(HWD)

다. 주요내용 : 표면상태평가, 휨강도시험 및 두께측정, 포장체 구조적 지지력평가, 잔존수명산출

라. 시행기관 : 한국공항공사

2.3.2 PCI 산출결과 및 분석

• 북측 활주로의 경우 대부분이 양호하나 활주로 중앙부가 매우불량(PCI 56)한 것으로 확인됨.

• 북측 활주로는 항공기 휠패스(Wheelpass)지역으로 스케일링(Scaling)이 발생되어 항공기 운항시 F.O.D 발생우려가 있으므로 활주로 F.O.D에 대한 관리를 철저히 해야 할 것으로 판단됨.

2.4 포장현황 조사

2.4.1 포장두께 측정 및 휨강도 시험

• 본 설계의 기초자료로 활용하기 위하여 진주공항의 북측 활주로에 대해 포장체의 core 채취 및 강도시험을 시행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 기존 포장두께 - 양측 말단부는 각각 40.6cm, - 중앙부는 30.5cm 로 조사되었다.

• 현장코어를 채취하여 실내시험에서 쪼갬 인장강도를 산출하고 이를 바탕으로 포장 슬래브 휨강도를 산정한 결과 평균 731psi로 설계 휨강도 기준 대비 시 다소 양호한 것으로 나타났다.

2.5 표면 조사

2.5.1 표면현황

• 북측 활주로는 콘크리트로 포장되어 있으며 슬라브 한 개의 규격은 7.62m×7.62m로 구성되어 있는 것으로 조사되었다.

• 콘크리트 슬라브는 총 2,160개이며 이중 06L 방향을 제외한 대부분의 슬라브에서 크레이징 및 표면스케일링(965개 슬라브)이 발생하고 있다.

• 특히 06L방향 터치다운 지역에는 활주로 중심부에 종방향 균열이 50개의 슬라브에 발생된 것으로 조사되었다.

2.5.2 포장 손상원인 추정

구분	표면손상현황	손상원인 추정	포장상태지수(PCI)
활주로	- 총 2,160개의 슬라브중 965개 슬라브에 크레이징 및 표면스케일링 발생 (44.6%) - 활주로 중심부에 종방향 균열 발생 (50개 슬라브)	- 년수 증가 및 사용골재 풍화 심화 - PCN 초과 항공기 운항 B737-900 ACN : 54R/C/X/T 북측 활주로 PCN : 49R/C/X/T	- GOOD이상 구간 : 14개소 (7,000ft) - GOOD미만 구간 : 4개소 (2,000ft)

2.5.3 검토 의견

• 기 포장평가(2005년 시행) 당시에 없었던 종방향균열이 활주로 중심부에 발생되고 있으며, 크레이징 및 스케일링이 활주로 전반에 걸쳐 확산되고 있다.

• 포장손상의 주요원인은 사용연수의 증가 및 사용골재의 풍화의 심화가 원인으로 분석되며 PCN초과 항공기의 운항도 일부 영향이 있는 것으로 추정된다.

2.6 종합의견

· 진주공항의 북측 활주로의 중앙부위에 대하여 PCI 56으로 조속한 재시공/보강계획을 수립하여야 할 것으로 판단된다.

· 북측 활주로의 경우 항공기의 휠패스지역(중앙부)을 중심으로 심각한 스케일링이 발생되어 있었으며, 미세한 균열도 산재해 있는 것을 확인 할 수 있었다. 대체적인 포장상태는 중앙부의 경우 매우 불량(PCI 56)하게 나타났으며, 기타 지역의 경우 보통 이상의 상태를 나타내었다. 북측 활주로 중앙부에 산재해 있는 스케일링은 정밀실험결과 내구성이 낮은 골재가 사용되어 표면에 노출되는 골재가 장기적인 기상작용 및 반복적인 항공기 운하중의 작용으로 표면 시멘트 모르타르 및 골재가 파손되어 발생된 것으로 판단된다. 따라서 향후에도 스케일링 현상은 지속적으로 심화될 것으로 예측되며, 이에 대한 조속한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

· 콘크리트 강도를 평가하기 위해 현장 코어를 채취하여 실내에서 압축강도실험을 실시하여 휨강도를 추정한 결과 콘크리트 슬래브의 강도는 양호한 것으로 판단된다.

3. 공법선정

3.1 포장공법의 선정

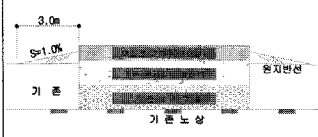
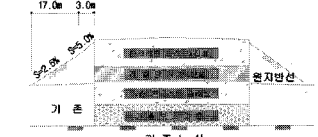
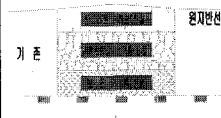
3.1.1 기본방향

· 장래계획을 고려한 활주로 수명연장을 고려한 경제적 공법

· 활주로 운영 및 작전수행의 효율성을 고려한 합리적 공법

· 군항공기 및 민간항공기의 비행안전성을 고려한 공법

3.1.2 공법 선정

구 분	아스콘 Overlay	강성포장 Overlay	콘크리트 재포장
개 요	· 기존 콘크리트 슬래브 위에 아스콘 덧씌우기	· 기존 콘크리트 슬래브 위에 아스콘 레벨링 후 콘크리트 슬래브 덧씌우기	· 기존 포장 모두 제거 후 재포장
포장 횡단	 <p>· 배수축진 구간(3m)내에서 착륙대 규정 준수 · 순성토 수량</p>	 <p>· 착륙대 20m 구간에서 착륙대 규정 준수 · 대규모 순성토 발생</p>	 <p>· 기존 착륙대 유용</p>
유도로 접속	· 유도로 접속길이 약 20m 필요	· 유도로 접속길이 약 40m 필요	· 기존 유도로 유용
활주로 수명	8년 ~ 15년	10년 ~ 17년	20년
공사비	31억원 (10cm)	150억원	250억원
검토 의견	<p>· 콘크리트 재포장은 북측 활주로에 대한 근본적 대책이나 공사비가 고가이고 급회작용은 비효율적으로 판단됨.</p> <p>· 강성포장 Overlay의 경우 대규모의 순성토 발생, 유도로 접속부의 확대 활주로 노출 등 재설치, 향후 재포장 시행 등 비경제적인 것으로 판단됨.</p> <p>· 아스콘 Overlay의 경우 기존 포장의 경제수명 연장이 가능한 것으로 판단되며 최적 두께는 B737-900 운항을 고려하여 결정코자 함.</p>		
선정안	⊙		

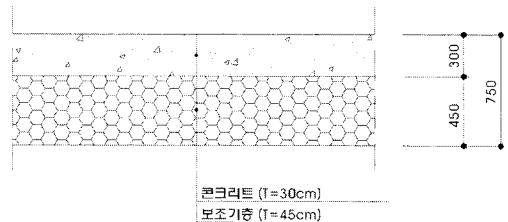
3.1.3 아스콘 Overlay 재료 선정

구 분	아스팔트 콘크리트	반강성포장
개 요	- 일반적 Overlay 재료 - 활주로 및 유도로 접속 부 전구간 적용 - 공항시방에 적합한 표층 아스팔트	- 특수 페이스트 주입으로 강성포장 기능 - 아스콘 1회(5cm) + 반강성(VAR) - 활주로 말단 양측 300m 적용
장·단점	- 소성변형 및 균열저항성 보통 - 내하중성 및 시공성 보통 - 공사비 저렴	- 소성변형 및 균열저항성 우수 - 내하중성 및 시공성 우수 - 공사비 다소 고가
공사비	약 31억원	약 42억원
검 토 의 건	- 반강성 Overlay 포장시 균열저항성 및 시공성이 우수하나 공사비가 고가임. - 충분한 균열저항성 및 시공성을 갖으며 공사비가 저렴한 아스팔트 콘크리트를 주로 적용하되 활주로 말단부 300m는 항공기 후류를 고려 반강성포장이 바람직함.	
선정안	◎	△

축 팽창에 영향을 준다. 콘크리트 층과 덧씌우기 표층이 완전 밀착된 경우 기층의 온도에 의한 수축 팽창은 표층의 균열면에 수직한 힘에 의해 발생하는 균열을 일으킨다. 윤택중은 포장면에 수직으로 하중을 가하게 되며 특히, 균열 위에 하중의 이동에 따라 발생하는 차이가 매우 중요하다. 이러한 윤택중의 통과에는 표층에 전단력과 동시에 휨모멘트를 일으키며, 이 경우 전단력과 휨 모멘트 역시 반사균열을 야기시킨다.

3.2 아스콘 총두께 산정

3.2.1 기존 복측 활주로 포장단면



3.1.4 반사균열 억제 공법

• 반사균열의 원인

반사균열 발생의 주된 원인으로는 환경적인 것과 윤택중 등을 들 수 있다. 환경적 요인이라 하면 온도와 관계된 사항들이 대부분으로 콘크리트 기층의 수

• 반사균열 억제 공법 선정

3.2.2 B737-900 운영을 위한 포장단면 산출

가. 연간 이륙회수

구 분	TA-50	KF-16	XKT-1	CN-235	C-130	B737-900	합 계
이륙횟수	367	190	113	215	93	1,121	2,099

구 분	고무 아스팔트	Rubblization 보수	유리섬유 그리드
개 요	· 활주로 파손부 표면보수 줄눈부 상태 불량	· 포장면을 원위치에서 적정골재 크기로 파쇄	· 활주로 파손부 표면보수 포장 보강용 유리섬유 그리드
사 진			
유도로접속	· 아스팔트와 접착 우수 · 공사비 보통	· 반사균열 억제 효과 우수 · 공사비가 고가	· 줄눈보수 후 추가 설치 · 공사비 다소 고가
공 사 비	5,143원/m ²	13,000원/m ²	17,000원/m ²
검토 의견	· 아스팔트 Overlay시 접착성이 우수하고 경제적인 고무 아스팔트를 추천함		
선 정 안	◎		

나. 등가환산 연간 이륙횟수 산출

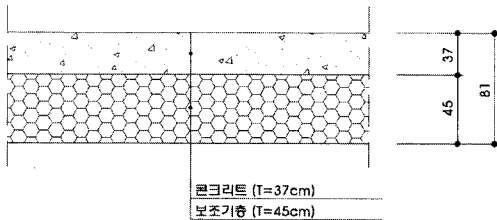
- 환산 연간 이륙횟수는 예상되는 설계항공기종 기준으로 항공기 각형별 환산계수를 적용하여 산출하며 그 결과는 다음과 같다.

• 연평균 등가 이륙횟수(B737-900, 174,700LB)

구분	기어형식	연간 이륙횟수	환산계수	환산 이륙횟수 (R2)	환산 항공기 단차륜 중량(W2)	설계항공기 단차륜중량 (W1)	등가 이륙횟수 (R1)
B-737-900	D	1,121	1	1,121	18.62	18.62	1,121
TA-50	S	367	0.8	294	6.36	18.62	28
KF-16	S	190	0.8	152	9.04	18.62	34
XKT-1	S	113	0.8	90	1.18	18.62	1
CN-235	D	215	1	215	3.71	18.62	12
C-130	ST	93	1	47	19.0	18.62	49
합계							1,245

3.2.3 포장두께 산출

- 설계 조건
 - 콘크리트 휨강도(σ_{bk}) : 650psi
 - 노상토 K치 : 160pci
 - 보조기층 K치 : 250pci
 - 설계하중 (B737-900) : 174,700LB
- 산출 단면



3.3 아스콘 Overlay 두께 산정

• 기존 콘크리트 포장에서의 가열혼합식 아스팔트 덧씌우기의 설계는 두께 부족 해결방법에 근거하고 있다. 그러나 콘크리트포장의 새로운 포장두께 요구 조건은 기존 콘크리트포장과 비교를 위해 사용된다.

여기서 반사균열의 발생가능성에 주의해야 하며, Sawcut 썰링재 등을 사용하여 균열관리를 하여야 한다.

덧씌우기층 두께를 계산하는 공식은 다음과 같다.

$$t = 2.5(Fh_d - C_b h_e) \text{ -- [FAA 및 비행장 포장설계지침]}$$

$$t = 3.0(Fh_d - C_b h_e) \text{ -- [UFC]}$$

여기서, t = 가열혼합식 아스팔트의 두께, 인치

F = 기존 시멘트콘크리트포장의 균열 정도를 조절하는 계수

h_d = 설계조건에 필요한 신규 콘크리트 포장의 두께

C_b = 콘크리트포장의 구조상태를 나타내는 상태요소 값은 1.0에서 0.75

h_e = 기존콘크리트포장의 두께, 인치

① F 값 = 0.88

② h_d = 신규콘크리트포장 두께 : 37cm

③ C_b 값 = 0.75

④ 두께 산출

• FAA: $t = 2.5(Fh_d - C_b h_e) = 2.5(0.88 \times 0.37 - 1.0 \times 0.3) = 6.4\text{cm}$

• UFC: $t = 3.0(Fh_d - C_b h_e) = 3.0(0.88 \times 0.37 - 1.0 \times 0.3) = 7.7\text{cm}$

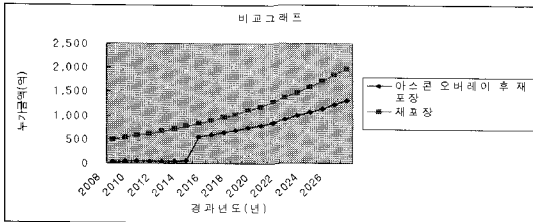
- 검토 결과

아스콘 Overlay 필요두께가 B737-900항공기 총중량시 6.4cm(설계지침), 7.7cm(UFC)가 산출되었으나, 진주공항이 균용으로도 사용되어 대형 수송기를 고려 10cm를 적용.

4. 결론

• 진주공항의 경우 사용연수가 20년이 되어 잔존수명이 10년 이내이므로 재포장 시공, 또는 Overlay 시공을 고려할 수 있으나, 본 사례에서는 두 가지의 방법 중 아스콘 Overlay공법을 적

용, 경제적으로 포장의 잔존수명을 증가시켜 공용 후 재포장 시공을 행하는 것으로 설계하였다. Overlay 시공의 경우 본 사례에서 제시했듯이 8년 정도의 잔존수명을 연장시키는 효과를 가져올 수 있다. 반면, 재포장 시공의 경우에는 1회 시공시 잔존수명을 20년을 증가시킬 수 있으나, 그 경제적 측면에서 타 공법에 비해 과다한 비용이 발생하게 된다. 다음의 그래프는 실례를 바탕으로 아스콘 Overlay 시공 이후(8년 경과 후) 재포장 시공을 한 경우와 재포장 시공을 한 경우에 대한 공용기간 동안의 총비용을 산출한 것이다.



Overlay 시공 추정공사비 : 35억원
 재포장 시공 추정공사비 : 500억원
 복리 이율 7.5% 적용

* 단, Overlay 시공의 경우 8년 경과 후 재포장 시행

도표에서 볼 수 있듯 20년이 경과 후 금액 차이는 670억 정도까지 차이가 나는 것을 알 수 있다. 즉, 장기적 관점에서 Overlay 시공을 통하여 수명연장 후 공용하다가 완전 재포장을 하는 것이 사회적 기회 비용 측면에서 보다 유리한 것으로 분석되었다.

특히, 그간 우려되어 왔던 반사균열 문제도 김해공항과 포항공항의 시멘트콘크리트 위의 아스콘 덧씌우기 포장 시공사례에서 보듯이 항공기 운항에 제한 사항이 없고 이번에 완성된 비행장 설계지침 속에 덧씌우기에 대한 방안이 제시되어 있기 때문에 이를 활용한다면 저비용으로 노후된 공항 활주로 포장 성능 개선에 기여할 것으로 믿는다.

참고문헌

1. 비행장포장설계지침(안), 국토해양부 항공안전본부, 2008
2. Aerodrome Design Manual : Part 3 - Pavement, ICAO, 1983
3. Airport Pavement Design and Evaluation(AC No. 150/5320-6D), FAA, 2006

학회지 광고접수 안내

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 2,100부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지를 이용하시기 바랍니다.

광고료 : 표2 · 표3 · 표4(300만원) · 간지(200만원)

※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 한국도로학회

전화 (02) 3272-1992 전송 (02)3272-1994