



공항 콘크리트 포장 평가방법 개선 연구

Improvement of Airfield Concrete Pavement Evaluation Method

엄 병 식* · 박 경 부** · 서 영 찬***

Eom, Byung Sik · Park, Kyung Bu · Suh, Young Chan

ABSTRACT

Periodical evaluations of the airfield pavement are necessary to provide the ability for the existing pavement to support the increasing volume of air traffic. Also, the evaluation of the existing pavement condition is necessary for the decision of the maintenance strategy. For this reason, airport pavements in Korea have been evaluated every five years currently. It was known, however, that the current pavement evaluation methodology was not logical and practical.

The purpose of this study is to compare the current pavement evaluation method with design chart to the mechanistic approach used in other advanced countries. As a result of this study the mechanistic approach is found to be more logical than the current method.

Keywords : Airfield Pavement, Evaluation, FWD

요 지

증가되는 항공교통량에 대해서 효율적으로 공항포장을 관리하기 위해서는 포장상태를 정기적으로 모니터링 할 필요가 있다. 이를 위하여 국내에서는 모든 공항에 대해 5년 주기로 포장평가를 실시하고 있다. 그러나 현재까지 사용된 기존의 포장 평가방법은 설계차트에 의한 원시적인 방법으로서 실제상황을 잘 반영하지 못한다라는 것이 문제점으로 지적되어 왔다.

본 연구에서는 과거의 설계차트에 의한 포장 평가방법과 새로이 국내에 적용된 외국의 해석적인 포장 평가방법을 비교, 분석함으로써 각 방법별 차이점을 제시하였다. 또한 "P" 공항에 대한 실제 사례 연구를 통해 각 방법별 허용하중 결과를 산출하였고 장단점을 분석하였다. 연구 결과로 포장의 구조적 지지력 평가는 설계차트를 이용하는 것보다 해석적 접근방법이 더 논리적인 접근인 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 공항 포장, 포장평가, 처짐량 측정

*한양대학교 교통공학과 석사수료
**한양대학교 교통공학과 박사과정

***한양대학교 교통공학과 부교수



1. 서론

1990년대 초부터 시작된 항공교통량의 급격한 증가는 공항포장의 효율적 유지관리의 필요성을 대두시켰다. 효율적 유지관리를 위해서는 정기적 포장평가를 통해 적절한 시기에 적절한 보수 및 보강을 실시하여야 한다. 포장 유지관리 측면에서 우리 나라에서는 민간 항공이 취항하는 국내 16개 공항에 대해 5년 주기로 포장평가를 실시해 오고 있다. 포장평가 중 포장의 구조적 지지력에 대한 평가는 공항 운영 측면에서 항공기에 대한 하중제한(허용하중)으로 이용되고 있으며, 포장관리 측면에서는 보수 및 확장 시기 결정에 중요한 자료로 사용되고 있다. 그러나 지금까지 사용되어 왔던 구조적 지지력 평가방법은 설계차트를 역으로 이용하는 방법으로서 논리적 접근이 부족하다는 것이 문제점으로 지적되어왔다.

본 연구에서는 지금까지 사용되어 왔던 공항 포장평가방법과 외국의 해석적인 공항포장평가 방법을 콘크리트 포장의 하중지지력 평가측면에서 비교하였다. 특히, "P" 공항 활주로 평가를 실례로 각 방법을 이용해 허용하중을 구한 후 결과를 비교하고, 해석적인 방법 사용시 고려사항을 제시하였다.

2. 공항포장에서의 구조적 지지력 평가

공항 활주로의 경우 덧씌우기와 같은 대규모 보수공사시 도로와 달리 우회도로가 없기 때문에 공항일시폐쇄 등 운영측면에서 큰 영향을 받는다. 따라서 공항 운영측면에서 포장 단면을 늘리는 대신 대형 항공기의 하중을 제한함으로써 포장의 수명을 늘리는 방법이 하나의 대안이 된다. 하중제한의 기준은 포장의 구조적 지지력 평가에 의해서 결정되어진다.

이러한 항공기의 허용하중을 산출하는 방법은 기존의 설계차트를 이용하는 방법과 외국에서

많이 실시하고 있는 해석적인 산출방법이 있다.

2.1 설계차트를 이용한 평가방법

기존 평가방법에서 허용하중의 산출은 설계의 역순으로 분석하는 방법을 이용한다. 이 방법을 이용하기 위해서는 시공 당시 설계에 사용된 설계차트가 필요하며 설계 입력변수가 어떻게 선정되고 어떻게 설계되었는가를 파악할 수 있어야 한다.

공항포장의 두께 설계에서 콘크리트 포장의 경우 설계 입력변수는 다음과 같다.

- 포장체 속성 : 콘크리트의 휨강도,
노상지지력(K)
- 항공기 속성 : 기어종류, 항공기 하중,
년간 이륙수

이러한 입력변수를 통하여 설계에서 결정되는 항목은 콘크리트 포장의 두께가 된다.

포장 평가방법은 설계차트를 역으로 이용하면 된다. 즉, 설계시에는 결과물이었던 포장 두께는 평가시에는 입력변수가 되고, 반대로 설계시 입력변수였던 항공기 하중은 평가시에는 얻고자하는 결과 값으로서 허용하중이 되는 것이다. 그림 1은 설계차트의 예를 보여주고 있으며 설계시와 평가시 설계차트 이용의 차이는 그림 2에서 보는 바와 같다.

설계차트에 의한 평가방법 중 중요한 사항은 설계시 이용한 것과 동일한 설계차트를 평가시에도 사용하여야 한다는 것이다. 그 이유는 설계당시의 설계법을 이용하지 않으면 설계시 항공기 운행 패턴에 따른 구역별 두께 적용 기준이나 설계차트의 변화로 인한 두께변화 등 설계법 가정사항의 변화로 다른 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 주어진 포장이 설계차트 적용에 따라 포장평가 결과가 달라져야 한다는 것은 문제가 아닐 수 없다.

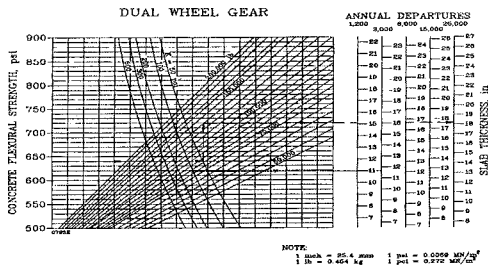


그림1. 공항 콘크리트포장 설계차트의 예.(1)

2.2 해석적인 포장 평가방법

새로운 평가방법은 해석적인 방법으로서 기존 차트에 의한 평가방법보다 다소 복잡한 절차가 요구된다. 분석 절차는 그림 3에서 보는 바와 같다.

해석적인 평가방법에서 포장의 구조적 지지력 평가는 그림 3과 같이 두 가지 분석 과정을 거친다. 첫째는 잔존수명 산출 과정으로서 과거 누적 교통량을 포장 수명 소모로 환산하여

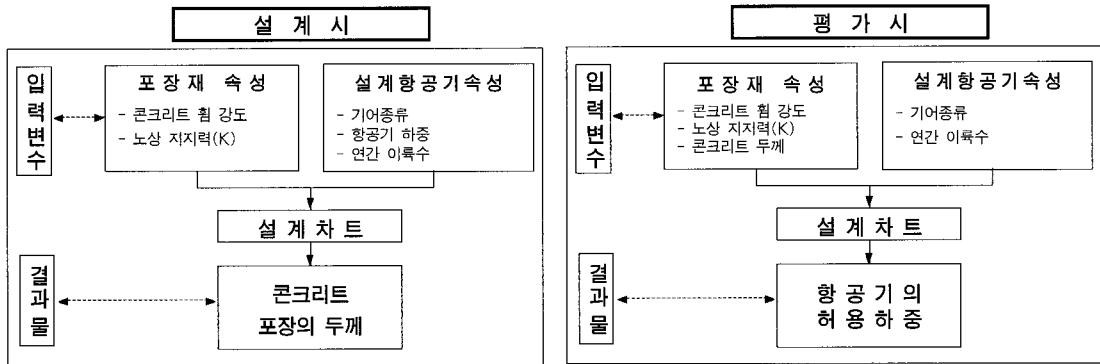


그림2. 설계와 평가 각각의 설계차트 이용 예

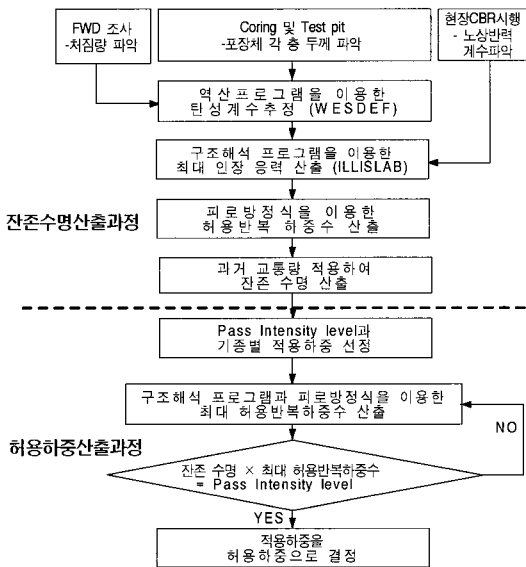


그림3. 새로운 평가방법의 구조적 지지력 파악

잔존수명을 산출하는 것과, 둘째로 허용하중 산출과정으로서 앞에서 얻어진 잔존 수명을 토대로 미래의 항공기 교통수준에 따라 기종별로 운행할 수 있는 최대 하중을 결정하는 것이다.

잔존수명 산출과정에서는 먼저 FWD 등 처짐량 측정장비를 이용하여 처짐량을 파악후 역산을 통해 포장체 각층의 탄성계수를 추정한다. 기타 포장 각층의 두께 등 포장체의 특성파악이 끝난후 포장체에 항공기 하중이 지나가는 것으로 시뮬레이션하여 최대인장응력이 얼마나 발생하는가를 파악한다. 이 과정에서는 ILLISLAB 등의 구조해석 프로그램이 사용된다. 다음은 산출된 최대인장응력과 피로방정식을 통하여 주어진 항공기가 얼마만큼 다닐 수 있는가 하는 최대횡수를 산출한다. 이 횡수는 포장의 전체 수명이므로 잔존수명은 이 값에서 과거 누적교통



량을 빼주면 된다.

허용하중을 산출하기 위해서는 먼저 향후 항공기의 교통량 수준을 정하고 이에 따라 항공기의 하중을 얼마나 제한할 것인가를 결정한다. 즉, 그림 3에서 보듯이 항공기가 다닐 수 있는 일정한 수준의 횡수(pass intensity level)를 결정하고 이에 따라 설계항공기의 적용 하중을 바꾸어 가며 잔존수명 산출과정에서의 구조해석을 반복하여 pass intensity level의 교통량을 통과 시키는데 문제가 없는 최대 하중을 허용하중으로 한다.

3. 실제 공항포장에서 허용하중 산출 방법 비교사례

기존 포장 평가방법과 새로운 포장 평가방법의 실질적인 차이점을 파악하기 위하여 본 연구에서는 국내의 공용중인 공항을 예로 실제 필요한 조사를 실시하고 각 방법에 의한 기종별 허용하중을 분석하여 그 결과를 비교하였으며 각 방법의 문제점을 도출하였다. 그림 4는 본 연구의 구조적 지지력 평가 대상이된 "P" 공항 포장의 평면도이다.

"P" 공항 활주로의 총길이는 2134m이고 폭은 46m로 되어 있다. 분석시 동질성 구간은 포장두께가 서로 다른 구간을 서로 구분하기 위해 R1~R5까지 총 5개로 나누었다. 현장조사는 차트에 의한 기존 평가방법을 위해 코아채취, 현장 CBR 조사를 실시하였고 해석적 포장평가를 위해서 FWD 조사를 실시하였다. 또한 실내 시험으로서 두 방법 모두에게 필요한 간접인장강도

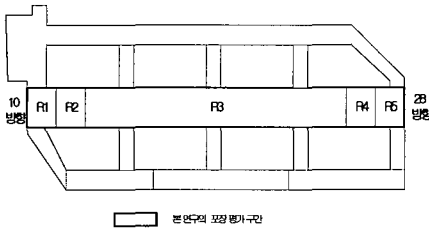


그림 4. "P" 공항의 평면도 및 평가대상구간

시험을 실시하였다. 현장조사 시기는 1999년 6월이었다.

3.1 현장 조사 및 실내시험

3.1.1 코아채취

활주로 포장의 정확한 두께를 적용하기 위해서 과거 포장두께 조사 자료와 현장 코아채취 두께 자료를 함께 이용하였으며 분석에 사용된 두께는 이들의 평균값을 적용하였다. 그 결과는 표 1과 같다.

표 1. 포장 두께 자료 (단위:cm)

동질성구간	'94년 평가 보고서	본연구 코아채취	평균값 (본연구적용값)
R1	40/38/39	40	39.3
R2	-	37	37
R3	28.5/29/30/ 29/31/30.5	29.5	29.6
R4	34.5/36	35.3	35.3
R5	39/39.5	40.5	39.7

3.1.2 현장 CBR 조사

기존의 차트에 의한 포장 평가방법에서 보조기층의 지지력을 파악하기 위해서는 활주로 경계면 밖의 노상토에서 평판재하시험을 하여 얻은 값에 보조기층 두께를 보정하여 사용하였다. 이는 실제 포장체의 보조기층에서 시험하는 것이 아니기 때문에 비현실적이라는 지적이 꾸준히 제기되어 왔다.

본 연구에서는 활주로 내부의 보조기층 지지력을 직접 측정하기 위해서 활주로내의 코아채취한 지점의 보조기층면에서 직접 현장 CBR 조사를 실시하였고 그 CBR값을 보조기층의 지지력(K)값으로 환산하는 방법을 사용하였다. CBR시험 결과 및 K값으로 환산 결과는 표 2에서 보는 바와 같다.

3.1.3 FWD 조사 및 역산결과

FWD를 이용한 비파괴 조사는 활주로 중앙부



슬래브의 총 62개소에 실시하였다. 그 중 탄성계수를 추정하기 위한 슬래브 중앙 조사는 34개소, 하중전달 능력을 파악하기 위한 줄눈부 조사는 28개소에서 실시되었다. 각 동질성 구간별 조사 횟수는 표 3과 같다.

슬래브 중앙조사는 하중에 많이 가해지는 지점(활주로 중앙선 좌우의 2개 슬래브)에 대해서 실시하였고 줄눈부 조사는 중앙조사 지점의 중횡방향 조인트 지점에 실시하였다.

표 2. 현장 CBR 및 환산 K 값

구간	현장 CBR (%)	환산 K 값 ⁽⁶⁾ (pci)
R1	73	455
R2	67	445
R4	49	390
R5	55	415
평균	61	426

주) AFM의 K 값 환산도표 이용

표 3. 구간별 FWD 조사 횟수

조사위치	구간	R1	R2	R3	R4	R5	합계
슬래브 중앙		5	5	14	5	5	34
줄눈부		6	6	8	4	4	28

슬래브 중앙조사에 의한 치짐량은 미공병단에서 개발된 역산 프로그램 WESDEF⁽⁶⁾를 사용하였다. 표 4는 치짐량을 이용한 탄성계수 산출 결과와 하중전달 결과이다.

표 4. 역산에 의한 탄성계수와 하중전달률 산출 결과

구분	R1	R2	R3	R4	R5
탄성계수 (psi)	5,480,154	5,703,598	4,476,534	7,425,402	4,752,826
하중전달률 (%)	80.5	79.4	80.2	70.6	80.3

3.1.4 실내 시험

실내 시험으로서 간접인장강도 시험을 실시하였다. 간접인장강도 시험의 목적은 피로 방정식의 입력 변수인 휨강도를 산출하기 위해서 실시하였다. 간접인장강도 시험은 코아채취한 시료로 실시하였으며 구조해석시 휨강도 적용치는

신뢰도를 높이기 위해 과거 조사 결과와 '99년 실험 결과의 평균값(637psi)을 사용하였다.

3.2 포장체 특성 파악 결과

"P" 공항의 활주로 포장체 특성 결과는 적은 샘플로 인한 오차를 줄이기 위해 자료 수집량이 적고 구간별 특성 변화가 크지 않은 횡강도와 지지력은 동질성 구간 구분 없이 평균값을 적용하였으며, 변화가 분명하거나 충분한 자료 수집이 가능한 두께, 탄성계수, 하중전달률은 각 구간별로 다르게 적용하였다. 과거 이력, 현장조사 및 실내 시험에서 얻은 결과는 표 5와 같이 요약된다.

표 5에서 보는 바와 같이 차트에 의한 평가방법에서는 콘크리트 포장의 두께, 휨강도, 지지력계수만 고려하여 허용하중을 산출하는 반면에 해석적인 포장 평가는 콘크리트의 탄성계수와 줄눈부에서의 하중전달률도 함께 고려한다.

표 5. "P" 공항 활주로 포장체 동질성 구간별 특성

구분	R1	R2	R3	R4	R5	비고
	끝단부	끝단부	중앙부	끝단부	끝단부	
Conc. 두께 (in)	15.5	13.9	11.7	14.6	15.6	두 가지 평가방법 모두에서 사용
휨강도 (psi)	637	637	637	637	637	
지지력계수 (pci)	426	426	426	426	426	
Conc. 탄성계수 (psi)	5,480,154	5,703,598	4,476,534	7,425,402	4,752,826	해석적 평가방법에 사용
하중 전달률 (%)	80.5	79.4	80.2	70.6	80.3	

3.3 설계차트에 의한 허용하중 산출

허용하중 산출을 위해 FAA 설계차트⁽¹⁾를 이용하였다. FAA 설계법의 특징은 설계 기간을 20년으로 하여 연 이륙 교통량으로 차트가 표현이 되어 있다. 그러므로 허용하중 산출에 있어서 앞으로 몇 회 지날 수 있는가를 알기 위해서는 연 교통량에 20을 곱한 값이 총 운행할 수 있는 횟수가 된다.

FAA 설계차트에는 연 교통량 구분이 1,200/



3,000/6,000/15,000/25,000회로 나누어 있어 비교 시 "P" 공항의 교통수준을 감안하여 연 이륙 교통량 3,000회 기준으로(3000×20=60,000회) 허용하중을 산출하였다.

설계항공기 적용은 C-130, Dual(B-737, B-727, MD-82), Dual Tandem(A-300)으로 선정하여 산출하였다.

3.4. 해석적 평가방법에 의한 허용하중 산출

해석적인 허용하중 산출은 다음과 같은 절차로 산출된다. 앞에서 언급한 것과 같이 잔존수명과 허용하중 산출의 두 가지 과정을 거치며 다음과 같은 절차로 산출된다.

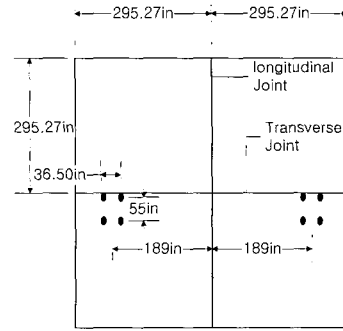
3.4.1 포장체 구조해석에 의한 응력산출

포장 처짐량을 이용해 역산으로 얻어진 콘크리트의 탄성계수를 이용하여 구조해석 프로그램으로 포장체에 발생하는 최대 응력을 산출하였다. 본 연구에서는 대표적인 콘크리트 포장의 구조 해석 프로그램인 ILLISLAB을 이용하였다. 주요 입력항목은 표 6과 같다.

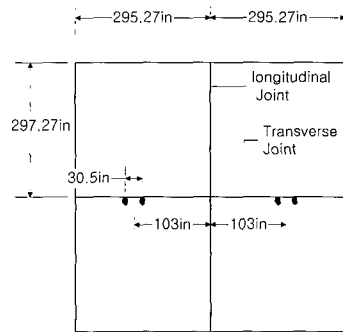
입력변수중 하중의 크기 및 위치에 대해서는 현재 운행되고 있는 대표 항공기에 대하여 기어 종류, 바퀴간의 간격, 타이어압, 기어와 기어간의 간격을 선정하였다. 또한 항공기 기종별 이륙중량은 우리나라 국내선 평균 운행 중량인 최대이륙중량의 85%를 사용하여 분석하였다. 포장체에 항공기 바퀴가 주행하는 위치는 활주로의 중앙선을 Nose gear가 주행한다고 가정하였다.

표 6. 콘크리트 포장구조해석의 주요입력 변수 및 분석결과

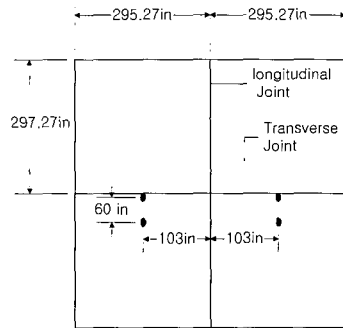
주요 입력변수	분석 결과
<ul style="list-style-type: none"> - 포장각층의 층수 - 포장각층의 탄성계수 - 하중의 크기 및 위치 - 콘크리트 슬래브의 크기 - 지반 반력계수(K) - Aggregate interlock factor 	<p>콘크리트 포장의 바닥면에서 최대수평인장응력</p>



(A300의 경우)



(B-737의 경우)



(C-130의 경우)

그림 5. ILLI-SLAB에 적용한 타이어위치

표 7은 각 기종별 항공기를 구조해석으로 얻은 콘크리트 포장체 바닥의 최대수평인장응력 산출 결과이다.



표 7. 각 기종별 최대수평인장응력 산출결과

구간	최대수평인장응력 (psi)				
	A-300	MD-82	B-737	B-727	C-130
R1	359	283	259	320	240
R2	390	309	282	348	260
R3	470	385	350	429	340
R4	444	350	320	395	290
R5	379	299	273	337	251

3.4.2 피로방정식 및 손상도 산출

최대인장응력을 산출한 후 피로방정식을 통하여 비행기가 얼마만큼 다닐 수 있는가를 파악하였다. 피로방정식의 적용은 다음과 같다.

본 연구에서의 피로파괴 기준은 미국의 포장 관련 전문회사인 ERES에서 실제 사용하고 있는 기준과 동일하게 콘크리트 슬래브의 피로균열이 슬래브의 50%이상에서 나타났을 때를 기준으로 하였다.⁽³⁾ 여기서 파괴 상태란 포장파손이 심하여 재포장, 덧씌우기 등 대규모 보강을 필요로 하는 상태를 나타낸다.

피로방정식의 환경적 영향이나 재료적 측면에서 적용성은 불확실한 요소를 가지고 있지만 현재 우리나라에는 실제 공항포장에서 얻은 자료로 개발된 피로 방정식이 없는 실정이기 때문에 ERES사에서 사용되고 있는 다음 피로방정식⁽⁴⁾을 사용하였다.

$$\text{Log}(COV) = 2.13 \times \left(\frac{MR}{Stress} \right)^{1.2} \dots\dots\dots\text{식 (1)}$$

COV : 설계 하중의 피로 허용반복수(Wandering 이 없을 경우)

MR : 콘크리트의 휨강도

Stress : 콘크리트 바닥의 최대인장응력

이 식은 1943년부터 1973년간 다양한 지역의 51개 포장구간의 실제 자료⁽⁵⁾를 가지고 개발한 것으로 오랫동안 포장 설계에 이용된 빔 테스트에 의해서 개발된 피로방정식보다 더 현실적인 피로 방정식으로 평가되고 있다. 1982년 ERES사에서 개발된 이 피로 방정식은 개발 이후에도

미국내 많은 콘크리트 공항 포장의 평가 및 설계에 성공적으로 사용되어 왔다.⁽⁶⁾

피로방정식에서 얻어진 COV 값의 의미는 동일경로를 따라 COV 만큼의 횡수로 하중이 작용했을 때 50%의 슬래브에서 피로균열이 발생함을 의미한다. 그러나 실제로 활주로 및 유도도로에서는 주행경로에 약간씩 편차(Wandering)가 있게 된다. 따라서 실제 항공기의 주행패적을 조사하여 p/c ratio(pass-to-coverage)를 산정하여 피로 방정식에서 얻어진 COV에 곱해 줌으로서 현실적인 허용반복하중수(N)를 얻을 수 있다.

Pass-to-coverage는 항공기가 저속이동을 갖는 지역 즉, 유도도 및 활주로 끝단부에 대해서 적용하는 channelized 구간과 항공기가 고속이동을 하는 활주로 중앙부의 unchannelized 구간으로 분류하여 적용하였다. 피로방정식 및 Pass-to-coverage를 이용한 허용반복하중수는 다음과 같이 나타났다.

표 8. 각 기종별 허용반복하중수

(단위 : 이륙횟수)

구간	구역	A-300	MD-82	B-737	B-727	C-130
R1	CH ⁽⁷⁾	57,282	1,471,288	6,176,845	247,199	16,241,239
R2	CH	22,864	402,755	1,479,357	82,850	3,812,844
R3	UC	6,974	48,362	135,502	15,404	141,076
R4	CH	6,415	78,922	237,727	19,811	652,425
R5	CH	31,510	641,955	2,467,807	125,035	7,092,793
P/C Ratio	CH:3.32	CH:3.36	CH:3.2	CH:3.3	CH:2.18	
	UC:5.96	UC:6.17	UC:5.8	UC:5.88	UC:4.28	

주1) CH - Channelized, UC-Unchannelized

잔존수명의 개념에서 앞으로 남은 허용반복하중수는 여기서 구한 허용반복하중수에서 과거에 지나간 교통량을 뺀 값으로 나타낼 수 있다. 기종별 차이나 손상도의 가감은 Miner의 가설⁽⁷⁾을 이용하였다.

표 9는 각 구간별 손상도를 나타낸다. 잔존수명은 1.0에서 이 손상도를 뺀 값이다.



표 9. 각 구간별 손상도 산출결과

기 종		N_i (허용반복하중수)	n_i (과거누적교통량)	$\sum \frac{n_i}{N_i}$ (손상도)	잔존수명 (=1-손상도)
R1	C-130	16,241,239	10,000	0.017	0.983
	B-737	6,176,845	14,618		
	B-727	247,199	1,434		
	MD-82	1,471,288	12,508		
	A-300	57,282	3		
R2	C-130	3,812,844	10,000	0.061	0.939
	B-737	1,479,357	14,618		
	B-727	82,850	1,434		
	MD-82	402,755	12,508		
	A-300	22,864	3		
R3	C-130	141,076	10,000	0.531	0.469
	B-737	135,502	14,618		
	B-727	15,404	1,434		
	MD-82	48,362	12,508		
	A-300	6,974	3		
R4	C-130	652,425	10,000	0.308	0.692
	B-737	237,727	14,618		
	B-727	19,811	1,434		
	MD-82	78,922	12,508		
	A-300	6,415	3		
R5	C-130	7,092,793	10,000	0.038	0.962
	B-737	2,467,807	14,618		
	B-727	125,035	1,434		
	MD-82	641,955	12,508		
	A-300	31,510	3		

3.4 허용하중 산출결과 비교

앞에서 얻어진 각 구간별 잔존 수명에 대하여 분석기종별로 하중을 변화시켜가며 구조해석과 피로방정식을 이용하여 60,000회 다닐 수 있는 최대하중을 시행착오방법으로 산출하였다. 표 10은 이렇게 산출된 허용하중이다.

4. 각 방법의 비교

허용하중산출 결과 "P" 공항 사례의 경우 표 10에서 보는 바와 같이 기존의 차트에 의한 방법보다 해석적인 방법에서 허용하중이 대체로 낮게 산출되었으며 차이가 큰 곳은 약 35%까지 차이가 나는 경우도 있었다. 그러나 해석적인 방법이 모든 평가에서 항상 작게 나오는 것은 아니며 "P" 공항의 현재 상태에서 그렇다는 것이며, 이 결과는 대상공항이나 노후 정도가 다르면 얼마든지 달라질 수 있는 결과이다. 중요한 것은 방법에 따라 그 결과가 크게 달라질 수

있다는 것이다. 따라서 보다 정확한 평가를 위해서 가능한한 보다 논리적인 방법이 선택되어야 한다. 각 방법을 비교해보면 다음과 같다.

표 10. 각 평가방법에 의한 허용하중 비교
(이륙횟수 60,000회일때) (단위 : kips)

구간	평가 방법	C130	B737	B727	MD82	A300
		135.0	138.5	184.8	140.0	363.8
R1	차트방법	+	+ ¹⁾			+ ²⁾ (+)
	해석적방법	+	+	+	+	309
R2	차트방법	+	170			+(360)
	해석적방법	+	+	166	+	276
R3	차트방법	+	125			325(260)
	해석적방법	116	118	120	111	-
R4	차트방법	+	180			+(+)
	해석적방법	+	132	133	118	226
R5	차트방법	+	+			+(+)
	해석적방법	+	+	172	+	287

- 주1) Dual 설계 차트에 의한 허용하중
- 주2) A300-B4 설계 차트에 의한 허용하중
- ()안은 Dual Tandem 설계차트에 의한 허용하중
- 주3) + : 하중제한 필요치 않음.
- : 최대 이륙중량에 60%이하로 제한



4.1 조사 방법의 비교

설계차트를 이용한 방법의 경우 구조적 지지력을 파악하기 위하여 필요 입력변수를 선정하기 위해서는 표 11에서 보는 바와 같이 시험이 요구된다.

표 11에서 보는 바와 같이 조사가 대부분 파괴시험으로 구성되어 있어 조사시간의 제약 및 FOD(Foreign Object Damage)현상에 대한 우려 등의 문제를 안고 있다.

해석적 포장 평가를 위해서는 포장구조해석에 필요한 입력변수를 얻어야 한다. 즉, 기존 평가 방법에서는 탄성계수 및 하중전달이 이미 가정된 설계차트를 이용하는 반면에 해석적 포장 평가는 이 가정을 실제 현장에서 얻어 구조해석을 실시해야 한다.

이러한 방법은 분석에 있어서 기존 방법보다는 복잡해질 수 있으나 실제 포장 상태를 그대로 반영한다는 측면에서 좀 더 현실적 접근이 된다. 또 기존포장평가에서는 대부분이 파괴 조사이고 이에 따라 많은 자료를 수집하지 못하지만 FWD는 비파괴 조사로 많은 양의 자료를 짧은 시간내에 수집할 수 있다. 또한 각층의 탄성계수를 얻게 되면 이에 따른 포장체의 휨강도나 노상의 지지력을 추정할 수도 있어 그 적용성면에서 하나의 조사로써 기존 포장평가의 많은 항목들을 대신할 수 있다는 이점이 있다.

포장체의 구조적 능력 파악에 있어서 설계차트를 역으로 이용하는 논리는 포장의 노후정도를 콘크리트 강도의 약화정도로 파악하는 것이다.

그러나 실제 조사와 시험과정은 노후화된 포장의 특성을 반영하는 것이 현실적으로 불가능하다. 즉, 각 동질성 구간별 시료채취를 하중통과부분에서 충분히 채취하기에는 현실적으로 어렵기 때문에 대부분 시험은 안전측면에서 포장의 상태가 양호한 곳에서 실시하는 것이 현실적이다.

4.2 각 방법의 장단점

차트에 의한 방법은 콘크리트의 휨강도 및 보조기층의 지지력(K)만을 입력변수로 이용하므로 간단하다. 또한 이에 따라 허용하중을 산출하므로 분석이 쉬운 장점을 가지고 있다. 그러나 이 방법은 설계차트가 없는 항공기에 대해서는 분석할 수 없고 또한 설계차트를 단순히 역순에 의해 구함으로써 포장의 노후 정도를 반영할 수가 없다.

해석적 방법은 비파괴 시험을 함으로써 충분한 자료 수집이 가능하고 이에 따라 포장의 실제 노후 정도(탄성계수, 하중전달)를 나타내는 특성 자료를 알 수 있다. 또한 과거 교통량을 이용하여 잔존수명을 고려할 수 있고 항공기의 기어 특성만 알 수 있다면 새로운 항공기라도 구조해석을 통해 분석이 가능하다. 그러나 잔존수명 산출시 과거 교통량은 필수적인 요소로써 정확한 추정이 요구된다. 또 포장체의 역산 및 구조해석을 하기 때문에 분석방법이 비교적 복잡하다.

각 방법의 장단점을 요약하면 표 12에서 보는 바와 같다.

표 11. 기존 평가의 시험

시 험	목 적	조사 위치	횟수 및 빈도
코 아 채 취	두께 확인 및 압축강도 및 간접인장강도 시험	동질성 구간의 대표구간	각 동질성 구간별 1~2개소
시 험 굴	지하수 확인 및 노상토의 토질분류	노면 포장 옆부분	각 동질성 구간별 1~2개소
평판재하 시험	보조기층의 지지력 파악	시험굴 위치	활주로당 5개 정도
실내 CBR 시험	노상 CBR 파악	시험굴 시료이용	활주로당 5개 정도
간접인장강도 시험	휨강도 추정	코아채취 시료이용	각 동질성구간별 1~2개



표 12. 각 방법의 장단점

구분	차트에 의한 방법	해석적 방법
장점	<ul style="list-style-type: none"> - 평가시 입력변수 간단함 - 설계 차트만 이용하므로 분석이 간단함 	<ul style="list-style-type: none"> - 비파괴시험 이용 충분한 자료 수집 - 포장 노후(탄성계수, 하중전달)에 대한 특성치가 반영됨 - 잔존수명 산출 가능함 - 기중에 관계없이 평가 가능함
단점	<ul style="list-style-type: none"> - 한정된 설계차트로 인한 새로운 항공기에 대한 분석 어려움 - 잔존수명 개념 없음 - 파괴시험으로 인한 충분한 물성 자료 수집이 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> - 분석방법 복잡 - 고가의 처짐량 측정 장비 필요함 - 정확한 과거 교통량 추정이 요구됨

4.3 해석적 방법의 논리적 한계 및 적용상 주의사항

앞에서 각 평가방법을 비교한 결과 기존의 차트에 의한 방법보다 해석적인 방법이 비교적 논리적인 것으로 판단되었다. 그러나 해석적인 방법도 많은 가정에서 출발하기 때문에 그 한계를 분명히 이해할 필요가 있다. "P" 공항 사례를 통해 얻은 해석적 방법의 한계 및 적용상 주의사항을 정리하면 다음과 같다.

(1) 환경하중에 의한 파손의 적용 미흡

실제 포장의 수명은 피로하중뿐만 아니라 환경하중에 의해서도 영향을 받기 때문에 평가시에도 분명히 반영하여야 한다. 그러나 해석적 방법은 파괴 기준이 피로 하중에 대한 것만을 반영하기 때문에 환경하중에 파손은 고려가 되지 않는다. 따라서 해당공항의 환경하중에 대한 파손을 정의하고 환경하중의 영향을 별도로 평가할 필요가 있다.

(2) 유도로의 포장체 해석시 주의

활주로에서의 포장체 해석은 항공기가 활주로 중앙부를 주행한다는 가정하에서 실시된다. 이 경우, 활주로는 횡방향으로 슬래브 6개로 구성된 경우 바퀴 하중이 지나는 곳은 슬래브 중앙부위가 된다. 이에 반해서 횡방향으로 슬래브 3개로 구성된 유도로의 경우, 메인 기어의 바퀴 하중은 줄눈 부근에 위치하게 된다. 따라서 유도

로에 대한 구조해석시 하중재하 방법에 별도의 주의가 필요하다.

(3) 해석적 방법의 기본논리 및 역산 프로그램의 한계

해석적인 방법의 핵심은 반복하중이 가해지면 포장재료에 미세균열 발생등으로 탄성계수가 떨어진다라는 가정아래, 공용중인 포장체의 탄성계수를 측정하면 앞으로 어느 정도의 반복하중을 견딜수 있겠는가를 판단할 수 있다는 것이다. 이 가정이 적절한지에 관해서는 충분한 검토가 필요하며, 적절하다고 할 경우라도 현재 사용중인 역산 프로그램을 이용한 탄성계수 추정의 정확도에 회의적인 측면도 많다. 현재 공항 포장용 탄성계수 역산프로그램은 WESDEF 등 몇가지 있으나 콘크리트 포장용 또는 합성단면 포장을 위한 프로그램은 수적으로 제한되어있다. 또 역산프로그램 사용시 필요한 입력변수들의 적용에 있어 각 입력변수들의 민감도를 충분히 파악하여 적용에 신중함을 기해야 합리적인 평가결과를 기대할 수 있다.

(4) 우리나라에 적합한 피로방정식의 필요

해석적 포장 평가방법에서는 항공기가 다닐수 있는 허용반복하중수를 결정하기 위해 피로방정식을 사용한다. 본 연구에서 사용된 피로 방정식은 우리나라 공항 포장에 대해서 개발된 것이 없기 때문에 외국에서 개발된 것을 사용하였다.



이것은 시공, 재료 및 기후 환경이 다른 공항포장에 대한 자료를 근거로 하여 개발된 모형이다. 앞으로 보다 정확한 평가를 위해 국내 피로 방정식 개발이 필요하다.

5. 결 론

본 연구에서는 공항포장의 허용하중 평가에 있어 기존의 설계차트를 이용한 방법과 FWD 등 비파괴 시험을 이용한 해석적인 방법을 평가논리 및 실제적인 적용성 측면에서 비교평가하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 두가지 평가방법을 "P" 공항에 실제 적용하여 허용하중을 산출하여 비교한 결과 기존차트에 의한 방법보다 해석적인 방법에서 허용하중이 낮게 산출되었으며, 구간에 따라 약 35%까지 차이가 난 곳도 있었다.
- (2) 해석적방법이 차트에 의한 방법보다 다음 측면에서 보다 논리적이며 바람직한 방법으로 평가되었다.
 - 비파괴 시험을 이용해 활주로 중심부 등 필요한 장소에서 충분히 수집된 자료를 토대로 분석하므로 수집된 자료의 대표성 및 정확성을 높일 수 있다.
 - 포장체의 탄성계수등 노후에 대한 특성치가 적절히 반영된다.
 - 잔존수명 산출이 가능하다.
 - 항공기 기종에 관계없이 분석이 가능하다.
- (3) 해석적 방법의 한계로는 다음 사항을 지적할 수 있다.
 - 반복하중에 의해 포장체의 탄성계수가 줄어들며 공용중인 포장체의 탄성계수에 따라 잔존수명이 결정된다는 논리에 충분한 검증이 미흡하다.

- 실제포장파손의 원인은 시공부실, 환경하중, 반복하중 등 다양하나 해석적 방법에서는 반복하중만을 대상으로 하고 있다.

감사의글

이 논문은 1998년도 한국 학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음(1998-003-E00723).

참고 문헌

1. "AIRPORT PAVEMENT DESIGN EVALUATION", AC 150/5320-6D, Federal Aviation Administration, 1995
2. "Airfield rigid pavement evaluation", AFM 88-24 CHAP3 U.S. Departments of The Army and The Air Force, 1988
3. ERES. "Evaluation of the Airside Pavement at Raleigh-Durham International Airport Morrisville", North Carolina Final Report volume I, ERES CONSULTANTS, INC., 1995
4. Darter, Michael, I. S. H. Carpenter and R. E. Smith. "Nondestructive Structural Evaluation of Airfield Pavements", Report prepared for Waterways Experiment Station, U. S. Army corps of Engineers, Vicksburg, MS, by ERES Consultants, INC. U.S.A., 1982
5. Barker, W. R., "Introduction to a Rigid Pavement Design Procedure", Proceedings : second International Conference on Concrete Pavement Design, Purdue University, U.S.A., 1981
6. Darter, Michael I. , "Concrete slab vs beam fatigue model", University Of Illinois Urbana, Illinois USA, 1997
7. Miner, M. A. , "Cumulative Damage in Farigue." Transaction of the ASME vol. 67, 1945
8. Airfield Pavement Evaluation Technical Instructions, US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1999