

# 인천국제공항 제2단계 공항포장설계에 관한 검토

## A Review for 2<sup>nd</sup> Phase Airport Pavement Design in Incheon Int'l Airport

이 재 만

Lee, Jae Man

### 1. 서론

인천국제공항 제1단계(2001년 개항)에 건설된 활주로, 유도로 및 계류장지역의 공항포장은 연성포장(Flexible Pavement)과 강성포장(Rigid Pavement)으로 공용 된지 3년의 시간이 경과하였지만, 국내공항포장에서 처음으로 장래대형항공기(코드번호 F급, 날개폭 80m)를 대비한 포장두께이었으며, 이는 1990년대 상반기에 예측된 설계항공기(B747-400S, 총 하중:492톤)를 적용 한 것으로, 본 포장두께는 여러 개의 포장두께변화를 시켜 현장에 시험포장을 하고 주행시험과정을 거쳐 검증된바 있다. 제2단계건설(2008년 공용 예정)의 제3활주로, 유도로 및 계류장지역에 대한 포장두께는 노상토 재료의 변경 및 설계항공기에 변경 등에 의한 포장설계를 검토 수행하는 것이 포장의 내구성과 경제성측면에서 더욱 중요한 요소이다

### 2. 공항포장설계

공항포장설계 연성포장과 강성포장에 대해서 제1단계의 노상토 재료가 영종도 해상의 준설토(CBR 값:10) 매립에서 오성산 장애구릉절취에서 발생한 산토매립으로 재료원이 변경된 사항과 또한 설계항공기가 B747-400S(총 중량: 492톤)에서 B777-300ER(총 하중:314톤)로 변경에 따른 포장두께의 변화를 산출하여 제1단계에 대한 검토를 거쳐 제2단계의 최적의 포장두께를 설계 한다

#### 2.1. 연성포장설계

##### 1).설계항공기

제1단계 설계항공기 B747-400S(총 하중: 492톤)는 현재 B747-400의 장래 예측항공기이며, 제2단계에서는 현재 개발 예정인 장래대형항공기 A380-800F와 B747-400XQLR이 해당되는데, 이중A380-800F는 포장두께 설계차트가 제시되어 있지 않는 관계로 포장두께 산출시 A380-800F를 제외 할 경우 B777-300ER이 가장 두꺼운 포장두께를 요구하며, 또한 ACN(Aircraft Classification Number)검토에서도 B777-300ER이 연성 및 강성포장 모두에 대해 큰 값을 나타내므로 설계항공기로 선정은 타당하다고 판단된다.

표1.설계항공기 비교

구 분	B747-400S	A380-800F	B747-400XQLR	B777-300ER	B747-400
총 하중	492 톤	592 톤	419 톤	341 톤	398 톤
기어 배치	4각16륜	4각20륜	4각16륜	2각12륜	4각16륜
바퀴당 하중	29.2 톤	28.1 톤	24.9 톤	27.0 톤	23.6 톤
ACN(연성포장)	84	73	68	69	64
ACN(강성포장)	82	72	68	82	62
포장 두께	74cm	-	69cm	85cm	75cm
비고	제1단계,F급	장래,F급	장래,E급	현재,E급(2단계)	현재,E급

주:ACN은 노상등급 B(CBR=12)기준



2). 노상 CBR

노상CBR값이 포장두께에 큰 영향을 미치고 있는데 산출기준이 일부 상이 한 점이 나타나고 있다

(1).한국도로공사의 도로설계요령 기준

- CBR값들을 작은 값으로부터 큰 값 순서로 모두 나열한 후, 누적빈도와 백분을 곡선을 그리고 90%에 대응하는 값으로 정의
- 일본 도로공단제정 설계요령에서 설계 CBR값
  - CBR시험결과 가운데서 최대값이 극단적으로 큰 경우와 최소값이 극단적으로 작은 경우를 각각판정
  - 설계 CBR=각 지점의 CBR의 평균- [(CBR 최대값- CBR 최소값)/계수]

표2. 설계 CBR값과 계산 CBR의 관계

설계 CBR	계산 CBR
8	8 ≤ CBR < 12
12	12 ≤ CBR < 20
20	CBR < 20

(2).미국의 연방항공청(FAA, AC/5320-6D, Airport Pavement Design and Evaluation)기준

CBR값들을 작은 값으로부터 큰 값 순서로 모두 나열한 후, 누적빈도와 백분을 곡선을 그리고 85%에 대응하는 CBR값으로 정의

(3).노상 CBR 적용

FAA의 공항포장설계(AC150/5320-6D, Airport Pavement Design and Evaluation)에서 연성포장 설계도표(Design Curve)는 항공기 바퀴형태 또는 항공기 기종별로 작성되어 있으며 그림1.의 설계도표의 경우 노상 CBR값에 변화에 따라 전체 연성포장두께도 크게 변화가 미치는 관계를 알 수 있으며, 계산된 CBR값을 설계 CBR값으로 적용 한다

3).보조기층 CBR

FAA의 공항포장설계에서 설계도표(Design Curve)인 그림1.에서 보조기층 CBR값에 의해 보조기층 상부의 표층 및 기층의 두께를 산정하게 되는데 일반적인 보조기층의 CBR값은 20~50범위이며, 포장의 장기 공용성을 감안하여 20을 적용 한다

4).연간등가이륙회수: 설계항공기에 대한 등가연간(Equivalent Annual)이륙회수의 절반인 100,000회를 적용

5).포장 구조계산

- 그림1.의 설계도표에서 노상CBR값 12에 해당하는 연성포장 총 두께는 84cm 인데, 이는 연간이륙회수 25,000회일 경우이므로 연간이륙회수 100,000회를 고려할 때 산출된 두께의 8%를 증가하면 91cm가 산출된다
- 보조기층 상부의 두께는 보조기층 CBR값 20을 대입하면 56cm 가 산출되며 운항회수를 고려하여 8%를 증가 할 경우 61cm가 된다
- 표층의 두께는 5인치(12.7cm)가 기준이나 연간이륙회수25,000회 이상시 1인치 증가로 6인치(15.2cm)가 된다
- 기층의 두께는 보조기층 상부의 두께 61cm에서 표층두께 15cm를 뺀 46cm로 이는 최소기층두께20cm를 만족하게 된다
- 보조기층 두께는 총 포장두께 91cm에서 보조기층 상부두께 61cm를 빼면 30cm가 산출된다
- 상기의 과정을 거쳐 산출된 포장두께와 기층재료를 아스팔트 안정처리층으로 선정하고, 환산계수를 적용한 포장두께는 표3.과 같다

표3. 환산계수를 적용한 포장두께 및 제1단계와의 비교

구 분	포장 두께	환산한 포장두께	제1단계 포장두께
표층	15cm	15cm	15cm
안정처리층	-	15cm	20cm
쇄석기층	46cm	30cm	35cm
보조기층	30cm	30cm	35cm
계	91cm	90cm	105cm



6).아스팔트콘크리트 포장 재료

· 아스팔트혼합물의 배합설계는 AI(Asphalt Institute)규정 MS-2(Manual Series No.2,1988년)를 따랐으며, 이는 최대안정도, 최대 혼합물 밀도, 그리고 공극율의 중간값(4%)에 해당하는 아스팔트 함량을 구하고 3개의 산술평균값을 최적 아스팔트량 으로 결정하는 것이다

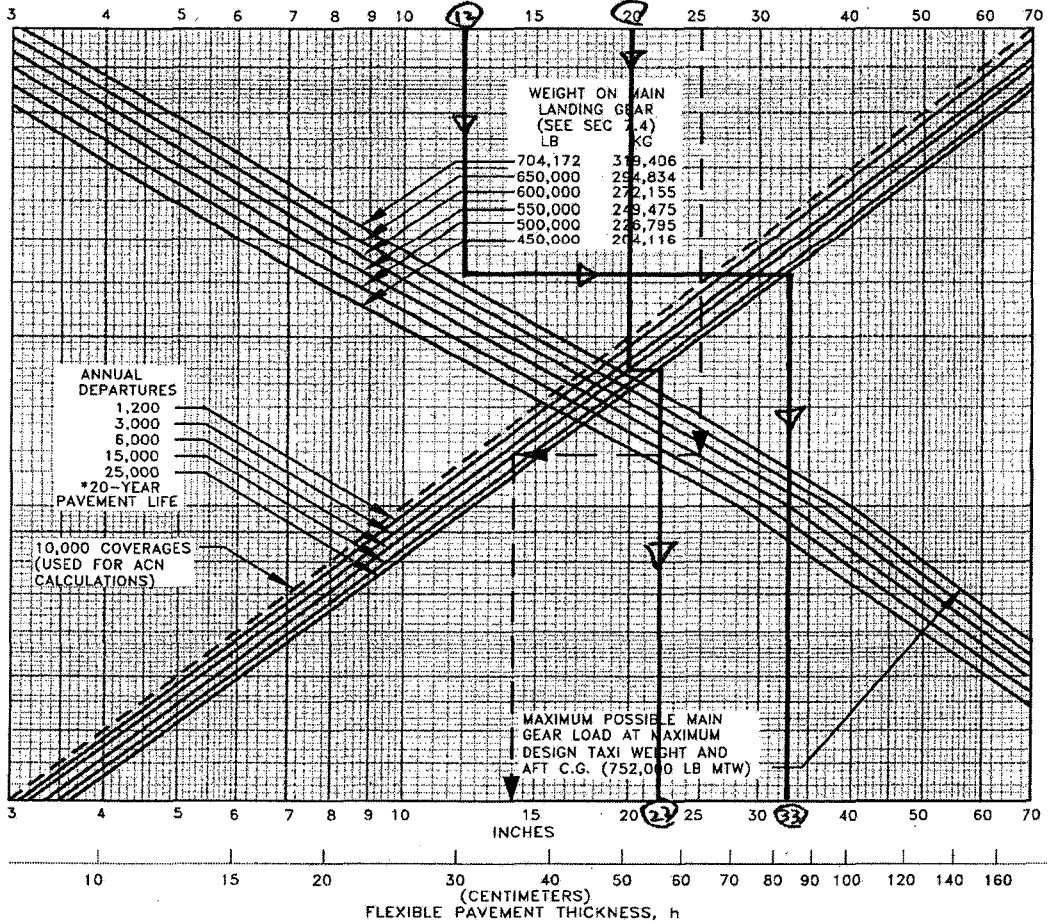
· 표층15cm 중 상부6cm는 마모층 개념으로 FAA입도(최대 골재직경 :19mm)의 배합설계를 사용하여 골재의 부분 탈리를 최소화하며, 하부 9cm는 중간층개념으로 혼합물의 강도가 증진되는 Superpave 입도에 다가 아스팔트혼합물 결합제도 AP-3(침입도:80~100)에서 AP-5(침입도:60~80)로 소성변형을 최소화 하였다

## PRELIMINARY INFORMATION

THIS CHART IS AN ESTIMATE OF PAVEMENT REQUIREMENTS BASED ON THE S77-1 METHOD. THICKNESSES DETERMINED HEREIN ARE NOT APPROVED BY THE FAA FOR PAVEMENT DESIGN.

NOTE: TIRES - 52 x 21 R22, 36PR AT 218 PSI (15.33 KG/CM SQ)

CALIFORNIA BEARING RATIO, CBR



7.5.2 FLEXIBLE PAVEMENT REQUIREMENTS - U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS DESIGN METHOD (S-77-1) MODEL 777-300ER

그림1.B777-300ER 연성포장 두께 산출



- 보조기층 및 쇄석기층은 인장변형률, 잔존수명측면에 유리한 시멘트안정처리로 하였다
- 국내의 개질아스팔트(SBS, SBR, Gilsonite, SMA 등)포장공법은 아직 시험포장 단계로 소성변형방지에는 상당한 효과가 있는 것으로 인정되고 있으나 개별공법의 도입과정에서 시행착오가 예상되고 제1단계 포장시험결과 표층의 소성변형효과를 확인하지 못하였다
- 제1단계와 동일하게 활주로 및 고속탈출유도로의 연성포장구역에 미끄럼방지시설인Grooving 을 설치한다
- 활주로중앙부안쪽과 고속탈출유도로는 기본포장두께의 0.9T, 활주로본포장 외측부는 0.7T를 각각 적용한다

2.2. 강성포장설계

1)노상지지력(K값)

강성포장설계는 노상CBR값 12에 상응하는 노상지지력계수(K값)은 5.8kg/cm<sup>2</sup>(210pci)이다

2).보조기층두께

보조기층두께 변화에 따른 보조기층상부 지지력을 산출하기위해 그림2.에 보조기층두께를 변화시켜가며 보조기층 상부의 지지력을 표4.와 같이 산출 한다

표4.보조기층 두께별 보조기층상부의 K값

안정처리된 보조기층 두께	보조기층 상부의 k(pci)
6"(15cm)	330
8"(20cm)	360
10"(25cm)	390
12"(30cm)	410

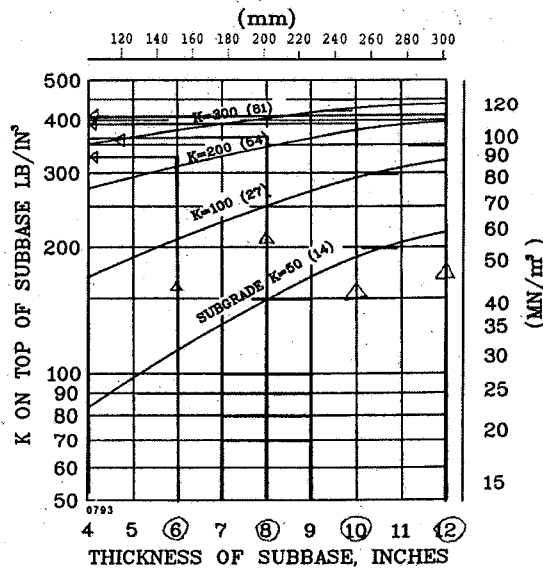


그림2. 보조기층 상부의 K값

3).콘크리트 슬래브두께 산출

· FAA의 공항포장설계 (AC150/5320-6D, Airport Pavement Design and Evaluation)를 기본적으로 따르되 강성포장의 경우 항공기설계 매뉴얼에 제시되어 있는 FAA방법에 의한 B777-300ER 포장설계 차트를 FAA에서 공식적으로 인정하지 않고 있는 상태로 PCA(Portland Cement Association)설계방법을 적용 한다

· PCA설계방법의 개발배경은 FAA와 유사하게 Westergaard 이론을 기본으로 개발되었으며, 설계입력변수는 항공기 총 하중, 콘크리트허용응력, 노상지지력(K)이다



- 여기에서, 허용응력=설계휨강도/안전율, 이 공식에 90일 평균 휨강도(710psi)에서 구해진 설계휨강도640psi (약45kg/cm<sup>2</sup>)에 안전율 2.0을 대입 한 결과 320psi가 산출 된다
- 허용응력 320psi를 적용하여 안정처리층 두께에 따른 슬래브 하부 지지력 증가를 고려한 슬래브 두께 산출 결과는 표5.와 같다.

표5. 슬래브 두께

안정처리된 보조기층 두께		슬래브 두께 (cm)	
		계산	선정
1안	6"(15cm)	18.6"(47cm)	50cm
2안	8"(20cm)	18.2"(46cm)	50cm
3안	10"(25cm)	17.8"(45cm)	45cm
4안	12"(30cm)	17.4"(44cm)	45cm

- 안정처리된 보조기층두께 중 5cm는 아스팔트 안정처리기층을 적용하였으며 이는 제1단계 포장시험시공 결과를 반영한 것으로 분리층 으로서의 목적 외에 공용성 및 안정성측면에서 부가적인 장점을 얻을 수 있으며, 특히 항공등화시설 설치와 관련하여 수밀성 측면에서 우수하다

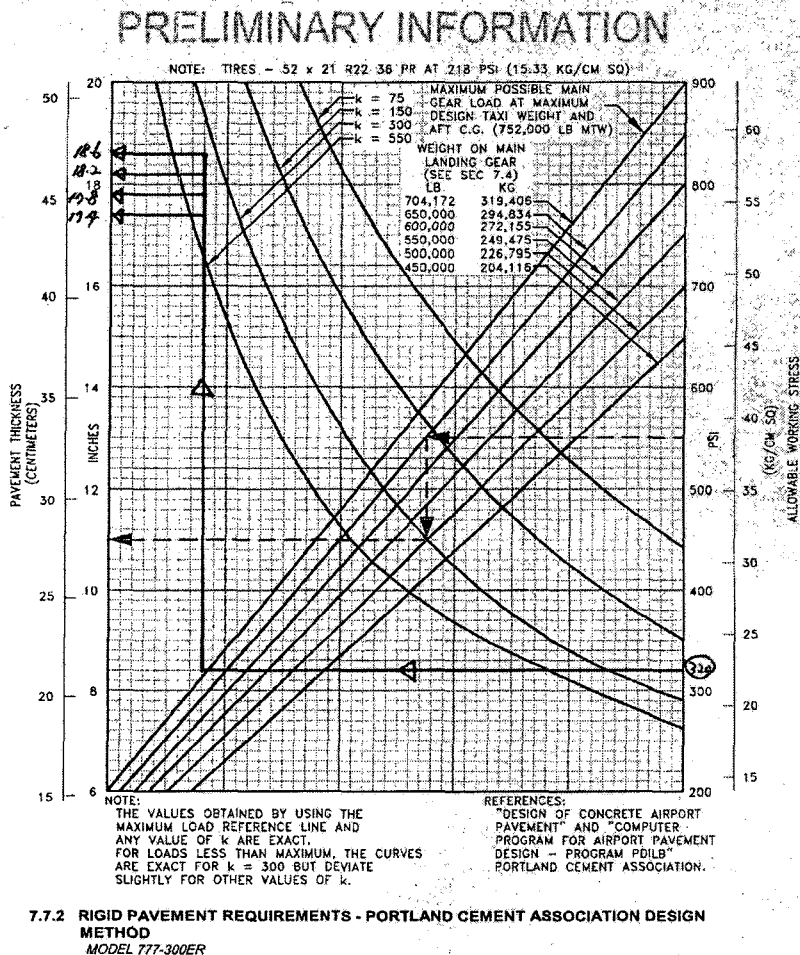


그림3. B777-300ER 강성포장 두께 산출



- 경제성 비교결과 전체안정처리기층의 두께가 15cm 인(1안)일 때이나, 미공군 매뉴얼인 AFJMAN 32-1014 (Pavement Design for Airfields)에서는 시멘트 안정처리층이 구조적인 기능을 수행하여 슬래브 두께를 감소시킬 수 있는 두께를 최소 15cm(6인치)로 규정함에 따라 1안은 린콘크리트층이 10cm 여서 부적절하므로 경제성측면에서 유리하며 제1단계 시험시공을 거쳐 린콘크리트 두께(20cm )적정성이 확인된 3안을 기본포장단면으로 선정 한다
- 강성포장의 기본포장두께 (1.0T)는 표6.과 같이 콘크리트 슬래브 45cm와 안정처리기층 5cm, Lean콘크리트층20cm를 포함하여 총 70cm이다

표6. 강성포장의 기본포장두께 (1.0T)

구분	기본포장두께(제2단계)	기본포장두께(제1단계)
콘크리트Slab	45cm	50cm
안정처리기층	5cm	5cm
Lean 콘크리트층	20cm	20cm
계	70cm	75cm

주:여객계류장지역은 콘크리트슬래브를 50cm로 증가 시킨 반면에 Lean콘크리트층을 15cm로 감소

- 산출단면의 적정성을 검토하기위해 FAA에서 공인한 LED(Layered Elastic Design)FAA소프트웨어를 이용하였다
- 강성포장의 경우 동결심도가 85cm로 산정되어 15cm의 동상방지층을 두도록 하였다

3. 결론

인천국제공항 제2단계건설지역의 연성포장 및 강성포장에 대한 설계를 검토결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 장래의 대형기 취항이 예상되는 공항포장에서 설계항공기 선정은 포장두께결정에서 큰 비중을 차지하게 되는데, 항공기가 대형화 되더라도 국·내외의 기존공항의 포장에도 취항이 가능하기 위해서는 항공기 바퀴갯수 및 바퀴배열을 변화시켜 두꺼운 포장두께를 요구하는 즉, ACN값이 큰 항공기를 생산하지 않는 것이 항공시장의 추세라고 볼 수 있다. 제1단계에서 선정한 설계항공기 B747-400S( 총 중량: 492톤)를 제2단계에서 검토한 결과 현재 운영중인 B777-300ER(총 중량314톤)항공기로 설계항공기로 변경하였으며, 노상지지력 CBR값 10에서 12로 재료원 변경으로 인한 연성포장두께는 105cm에서 90cm로 감소되었다.

또한 강성포장의 경우도 75cm에서 70cm로 감소하는 결과를 가져와 연성포장면적 580천㎡와 강성포장면적2,185천㎡에 각각 공사비 절감효과를 가져왔다. 그 밖에 강성포장의 경우는 동상방지층 두께만큼 노상층의 두께를 줄였다

연성포장의 품질관리는 AI규정 MS-2의 배합설계를 따르면서 표층15cm 중 상부6cm는 마모층 개념으로 FAA입도(골재최대직경 :19mm)를 하부 9cm는 중간층개념으로 혼합물의 강도가 증진되는 Superpave 입도(예,19mm의 경우 2.36~0.3mm 규격의 통과율 에서 상·하선으로 제한구역을 설정함)에 다가 아스팔트 혼합물 결합제도 AP-5로 소성변형을 최소화 하였고,강성포장의 품질관리는 린콘리트 20cm와 아스콘안정처리층 5cm에 위에 콘크리트 슬래브를 설치함으로 포장의 공용성 및 안정성측면에 부가적인 장점이 되도록 함으로 각각의 포장공법에서 최적의 포장설계임을 알 수 있었다

제1단계에 건설된 포장은 상기조건에 의한 포장두께 감소를 제외하고는 포장 각층의 재료선정, 연성포장의 소성(Rutting)최소화 및 품질관리기준 등 에서 우리 기술이 발전된 신공법·신기술의 설계이었으며, 또한 포장시공기술도 크게 향상 되어 양호한 공항포장에서 오늘도 안전하게 항공기 운항이 이루어지고 있음을 검토를 통해 알 수 있으며,아울러 제2단계 공항포장시공도 제1단계 포장보다 우수하고 경제적인 포장이 될 것이라는 확신을 갖게 되었다

참고문헌

1.인천국제공항 제2단계건설 공항시설공사 기본 및 실시설계 보고서, 인천국제공항공사 2004.07