

공항 콘크리트와 아스팔트 포장 간의 접속 방법 개발

Development of a Junction between Airport Concrete and Asphalt Pavements

박 해 원	Park, Hae Won	학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : czess@naver.com)
김 동 혁	Kim, Dong Hyuk	학생회원 · 인하대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : my91kim@gmail.com)
정 진 훈	Jeong, Jin Hoon	정회원 · 인하대학교 사회인프라공학과 교수 · 교신저자 (E-mail : jhj@inha.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to analyze the magnitude of shoving of asphalt pavement by junction type between airport concrete and asphalt pavements, and to suggest a junction type to reduce shoving.

METHODS : The actual pavement junction of a domestic airport, which is called airport "A" was modified by placing the bottom of the buried slab on the top surface of the subbase. A finite element model was developed that simulated three junction types: a standard section of junction proposed by the FAA (Federal Aviation Administration), an actual section of junction from airport "A" and a modified section of junction from airport "A". The vertical displacement of the asphalt surface caused by the horizontal displacement of the concrete pavement was investigated in the three types of junction.

RESULTS : A vertical displacement of approximately 13 mm occurred for the FAA standard section under horizontal pushing of 100 mm, and a vertical displacement of approximately 55 mm occurred for the actual section of airport "A" under the same level of pushing. On the other hand, for the modified section from airport "A" a vertical displacement of approximately 17 mm occurred under the same level of pushing, which is slightly larger than the vertical displacement of the FAA standard section.

CONCLUSIONS : It was confirmed that shoving of the asphalt pavement at the junction could be reduced by placing the bottom of the buried slab on the top surface of the subbase. It was also determined that the junction type suggested in this study was more advantageous than the FAA standard section because it resists faulting by the buried slab that is connected to the concrete pavement. Faulting of the junctions caused by aircraft loading will be compared by performing finite element analysis in the following study.

Keywords

Airport pavement, Runway pavement, Finite element analysis, Shoving, Pavement junction

Corresponding Author : Jeong, Jin-Hoon, Professor
Department of Civil Engineering, Inha University,
100 Inha-ro, Nam-gu, Incheon, 22212, Korea
Tel : +82.32.860.7574 Fax : +82.32.873.7560
E-mail : jhj@inha.ac.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jun, 20, 2018 Revised Jun, 20, 2018 Accepted Jun, 27, 2018

1. 서론

국내 공항의 활주로는 대부분 아스팔트 포장으로 이루어져 있으며, 항공기가 이착륙하는 일부 구간만 콘크리트

포장으로 이루어진 경우가 일반적이다. 이러한 활주로 포장의 특성상 콘크리트 포장과 아스팔트 포장 사이는 접속부 인근에서 파손이 발생할 우려가 있다. 콘

크리트 포장은 아스팔트 포장보다 강성이 상대적으로 매우 크며, 온도나 재료적 특성에 의한 콘크리트 포장부가 팽창하여 아스팔트 포장부가 밀려가는 쇼빙(shoving)현상이 발생할 수 있으며, 이 경우 아스팔트 표층부가 솟아오르는 현상이 나타나기도 한다. Table 1은 미공병단에서 제시하고 있는 쇼빙의 심각도 구분기준이다. 쇼빙의 심각도를 아스팔트 포장부에서 발생하는 범프(bump) 혹은 높이차이로 구분하고 있으며, 단위 면적당 포장의 솟아오름 정도를 측정하여 판단한다. Fig. 1은 포장 접속부에 발생한 쇼빙의 예시로서, 활주 도로에 이러한 쇼빙이 발생한다면 항공기의 주행 시 치명적인 문제를 일으켜 자칫 대형 사고를 유발할 수 있다.

Table 1. Criteria for Shoving Severity (USACE, 2009)

Severity level	Height differential	Condition
Low	<3/4in (<19mm)	A slight amount of shoving has occurred, with little effect on ride quality and no breakup of the asphalt pavement
Medium	3/4 in. to 1 1/2 in (19mm to 38mm)	A significant amount of shoving has occurred, causing moderate roughness or breakup of the asphalt pavement
High	> 1 1/2 in (> 38mm)	A large amount of shoving has occurred, causing severe roughness or breakup of the asphalt pavement

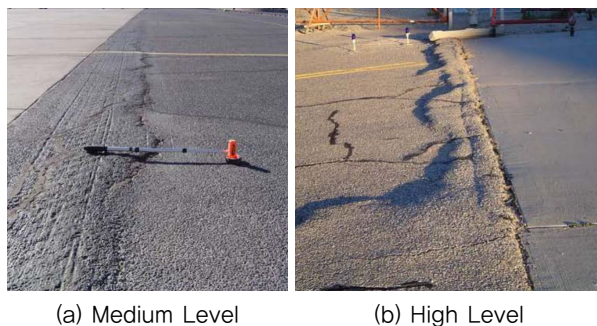


Fig. 1 Asphalt Shoving Occurred at Pavement Junction

국내 민간공항의 포장은 일반적으로 미국 FAA(Federal Aviation Administration)의 설계법에 기반하여 설계되어 왔으며 군공항의 경우 미국 UFC(Unified Facilities Criteria)의 기준에 따라 설계되어 왔다. 이들 설계기준 가운데 UFC의 3-260-02 Pavement Design for Airfields(UFC, 2001)에서 군

공항, 민간공항 그리고 교통량이 적은 공항을 대상으로 총 3가지의 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 접속부 설계단면을 먼저 제시하였다. 이 중 민간공항에 대한 표준단면은 포장접속부에서 buried slab를 아스팔트 표층 하부에 설치하는 형태로서 도로설계편람(MOCT, 2000)과 도로포장통합지침(MOLTMA, 2011)에서 제시하고 있는 국내 도로포장 접속부의 설계단면과 유사한 형태이다. 반면 FAA에서는 2016년에 발표된 최신 설계법인 150/5320-6F(FAA, 2016)에 들어서야 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 접속부 설계단면을 제시하기 시작하였다. FAA에서 제시한 표준단면은 포장 접속부 인근에 buried slab를 설치하는 대신 본포장보다 약 1.25배까지 두꺼워지는 변단면의 슬래브를 설치하는 것을 제안하고 있다. 하지만, FAA의 표준단면에는 buried slab가 없어 콘크리트 포장과 아스팔트 포장이 완전히 분리되는 형태이기 때문에 접속부에 단차발생의 위험이 있어 국내 공항포장에서는 아직 적용된 사례가 없다. 예시로 국내 'B' 공항의 경우 2016년 이후 활주 도로와 유도로의 포장접속부를 재시공 하였으나 FAA의 표준단면이 아닌 UFC에서 제시하고 있는 형태의 단면으로 시공한 것이 확인되었다.

본 연구에서는 콘크리트 포장과 아스팔트 포장 접속부 인근에서 발생가능한 쇼빙을 저감할 수 있는 접속부 단면을 제시하고자 하였다. 쇼빙 저감효과를 비교하기 위해 국내 'A' 공항의 실제 포장 접속부 단면과 포장 접속부 수정제안 단면 그리고 아직 국내 적용 사례가 없는 FAA의 포장 접속부 표준단면에 대해서 콘크리트 포장부 팽창에 따른 아스팔트 포장부의 쇼빙 발생 정도를 유한요소해석으로 비교하였다.

2. 포장 접속부 단면 개발

현재 국내에서 운영 중인 민간공항들의 설계와 시공이 완료된 시점은 FAA의 최신 설계법인 150/5320-6F가 공개되기 이전이므로 Fig. 2(a)와 같은 FAA의 포장 접속부 표준단면이 적용될 수 없는 상황이었으며 Fig. 2(b)와 같은 UFC의 민간공항 포장 접속부 표준단면을 차용한 경우가 있었다.

UFC의 민간공항 포장 접속부 표준단면의 특징은 포장접속부의 아스팔트 포장 하부에 buried slab를 매설하여 콘크리트 포장과 연결한다는 것이다. 이는 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 강성차이로 인해 발생할 수 있는 단차를 완화하기 위한 방법이며 국내 도로포장에

서도 이와 유사하게 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 접속부에 buried slab를 설치하고 있다.

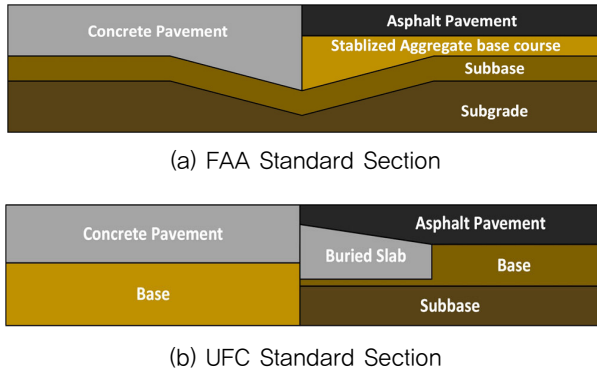


Fig. 2 Cross Sections of Pavement Junction Suggested by FAA and UFC

Fig. 3(a)는 국내 ‘A’ 공항의 활주로 포장 접속부 단면을 단순화하여 나타낸 것이다. ‘A’ 공항은 민간공항으로 FAA의 경험적 설계법인 FAA 150/5320-6D(FAA, 1995)으로 활주로 포장을 설계하였으나 당시 FAA의 설계 기준에는 포장 접속부 설계에 참고할 수 있는 표준단면이 없어 UFC의 민간공항 접속부 포장 표준단면을 참고하여 포장 접속부 단면을 설계한 것으로 추정된다. ‘A’ 공항의 접속부는 아스팔트 표층과 아스팔트 기층, 보조기층 그리고 노상으로 구성되어 있으며, 아스팔트 표층 하부, 보조기층, 그리고 노상의 상부까지 대체할 정도로 두꺼운 buried slab가 깊게 매설된 특징이 있다. 콘크리트 포장부의 팽창에 의해 buried slab가 밀려가는 것을 방지하기 위해 buried slab를 깊게 설치한 것으로 판단되었다. 하지만 ‘A’ 공항의 접속부 단면은 Fig. 2(b)의 기층상부까지만 buried slab가 설치되는 UFC의 표준단면과 다르며, 이로 인해서 ‘A’ 공항의 콘크리트 포장이 팽창하여 쇼빙이 발생하게 되면 아스팔트 포장 하부의 쇄석보조기층과 노상이 교란되면서 표층까지 큰 변형을 발생시킬 가능성이 있다고 판단하였다.

FAA 150/5320-6F는 Fig. 2(a)와 같이 포장접속부의 좌우측 대칭으로 콘크리트 포장과 아스팔트 포장 모두에 변단면을 두도록 표준단면을 제시하고 있으나, 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 급격한 강성차이를 완화할 수 있는 buried slab가 없기 때문에 접속부에 단차가 발생할 가능성이 있다. 따라서 buried slab가 설치되어 단차발생을 줄일 수 있는 UFC의 민간공항 표준단면을 참고하기로 하였다. 하지만 기존 UFC의 민간공항 포장 접속부의 표준단면은 Fig. 2(b)와 같이 buried slab가 보조기층의 일부 깊이까지만 설치되도록 제안하고 있어 시공상 비효율적이기 때문에 본 연구에서는

buried slab의 하단을 쇄석보조기층의 하단에 일치하도록 계획하였다. 그 결과, 포장 접속부에서 아스팔트 포장부가 밀리면서 솟아오르는 쇼빙을 저감할 수 있는 수정단면을 Fig. 3(b)와 같이 제시하였다.

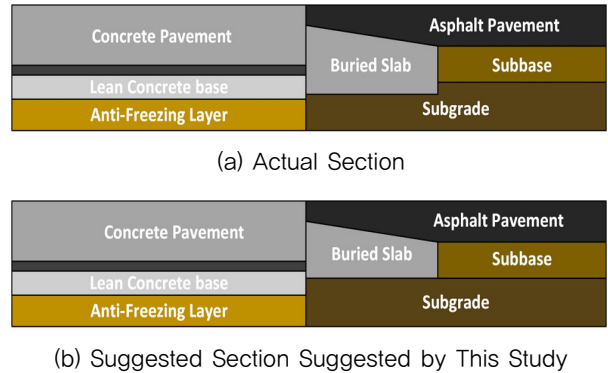


Fig. 3 Cross Sections of Current and Modified Pavement Junction of ‘A’ Airport

3. 포장 접속부 유한요소 모형

콘크리트 포장부의 팽창 때문에 발생한 아스팔트 포장부의 쇼빙 발생 정도를 콘크리트 포장과 아스팔트 포장 접속부의 형상에 따라 비교하기 위하여 유한요소 모형을 제작하였다. 비교대상은 FAA 150/5320-6F에서 제시하고 있는 표준단면, ‘A’ 공항의 현재 포장 접속부 단면, 그리고 본 연구에서 제시하고자 하는 ‘A’ 공항의 수정된 포장 접속부 단면이다.

Fig. 4는 이들 단면을 유한요소 모형으로 모사한 것이다. Fig. 4(a)는 UFC의 표준단면을 기반으로 국내 ‘A’ 공항에서 실제 시공한 단면의 유한요소 모형이며, Fig. 4(b)는 ‘A’ 공항의 단면을 수정하여 본 연구에서 제시한 단면의 유한요소 모형이다. Fig. 4(c)는 FAA-150/5320-6F에서 제시하고 있는 표준단면의 유한요소 모형이다. Fig. 5는 ‘A’ 공항 실제 접속부 단면과 수정하여 제시된 접속부 단면의 차이를 비교할 수 있도록 Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)에서 접속부만 크게 확대하여 나타낸 것이다. Fig. 5(a)의 ‘A’ 공항 실제단면의 유한요소 모형에서는 buried slab가 노상의 상부까지 설치되는 특징을 갖고 있으며, Fig. 5(b)의 ‘A’ 공항 수정단면에서는 buried slab가 노상 위에 놓여 있는 형태를 보이고 있다. 보조기층과 노상층은 3절점 요소인 tri-mesh를 사용하여 buried slab가 밀려오는데 따른 하부층 변위를 잘 모사할 수 있도록 하였다. 이외의 상대적으로 강성이 큰 콘크리트 포장층, buried slab 그리고 아스팔트 포장층은 일반적인 4절점 요소를 적용하였다.

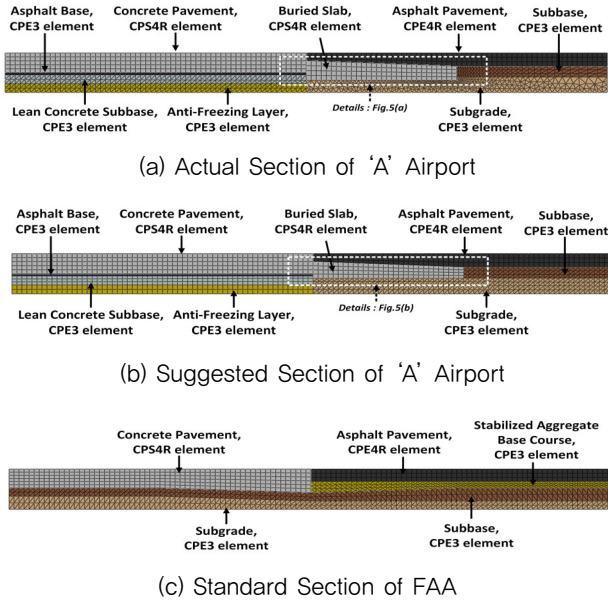


Fig. 4 Finite Element Models of Pavement Junction

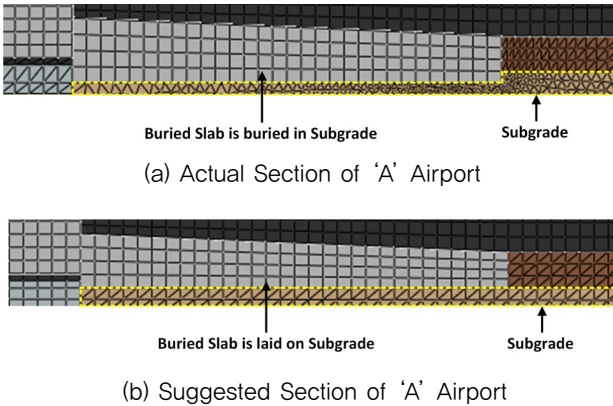


Fig. 5 Details of Finite Element Models

모형에 적용된 포장 각 층의 기본물성은 Table 2와 같다. 아스팔트 표층의 경우 Choi et al.(2009)를 참고하여 50℃의 고온에 해당되는 탄성계수와 크리프 상수 (A: 0.5×10^{-4} , n: 0.8, m: -0.1)를 적용하였다.

각 물성 간의 경계는 Contact와 마찰조건으로 설정하였다. 이때 하부층의 마찰계수는 Zollinger et al.(2012)가 제시하고 있는 범위와 Park(2009)의 연구결과를 참고하였으며, buried slab의 상부면의 경우 표면을 거칠게 마감하므로 Zollinger et al.(2012)에서 제시하고 있는 범위 중 가장 큰 값을 적용하였다. 유한요소모형에 적용된 각 층별 마찰계수는 Table 3과 같다.

Table 2. Physical Material Properties of Pavement Layers

Category	Elastic modulus (MPa)	Poisson's ratio	Unit weight (kN/m ³)	Thermal expansion coefficient
Concrete slab	28,000	0.18	24.0	1.0×10^{-5}
Asphalt surface	121*	0.3	23.0	2.0×10^{-5}
Asphalt base	1,500	0.3	23.0	-
LCB ¹⁾	15,000	0.2	23.0	-
SAB ²⁾	3,000	0.35	18.0	-
AF layer ³⁾	200	0.35	18.0	-
Subbase	300	0.3	18.0	-
Subgrade	100	0.35	18.0	-

1) LCB : lean concrete base

2) SAB : stabilized aggregate base course

3) AF layer : anti-freezing layer

*at temperature 50℃, Choi et al.(2009)

Table 3. Frictional Coefficient by Underlayer Type

Layer type	Frictional coefficient
Asphalt base	4.8
Lean concrete subbase	6.6
Stabilized aggregate base course	8.9
Subbase	2.5
Subgrade	1.1
Top of buried slab	23.0

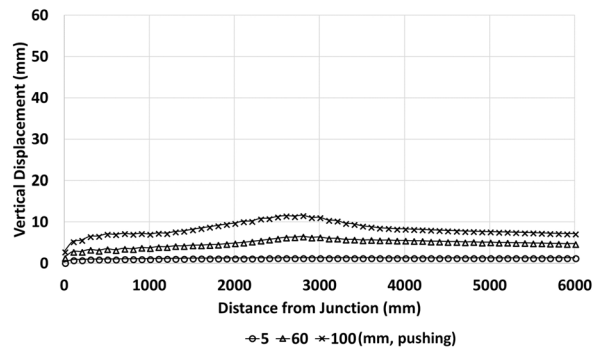
4. 유한요소 해석 결과

콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 접속부 형식에 따라 아스팔트 포장에 발생한 쇼빙의 정도를 해석하였다. 동일한 조건에서 쇼빙의 발생 정도를 확인하기 위해 다음과 같이 3단계로 나누어 해석모형에 하중을 적용하였다.

- 1) 자중 적용 단계 : 중력가속도 9.8m/s² 작용
- 2) 아스팔트 포장부 온도 상승단계 : 50℃의 온도상승 작용(고속도로 아스팔트 포장의 여름철 포장온도, Choi et al.(2009))
- 3) 콘크리트 포장부의 수평변위 작용 : 콘크리트 포장부에서 아스팔트 포장부로 최대 100mm의 수평변위 작용

Fig. 6은 'A' 공항 실제단면, 'A' 공항 수정단면 그리

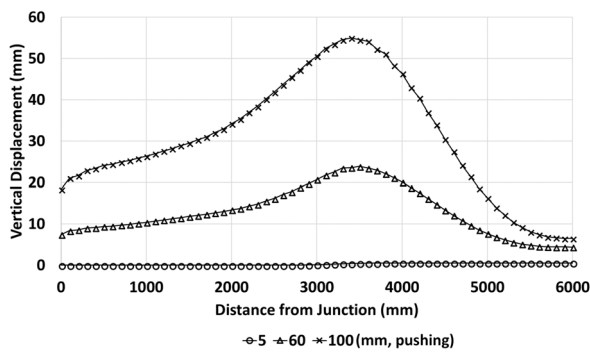
고 FAA 표준단면 3가지 형식의 포장접속부에 대해서 콘크리트 포장에 수평방향의 변위가 발생하는 경우 아스팔트 포장부가 밀리면서 표층에 발생하는 수직변위의 정도를 나타낸 것이다. 해석결과, 콘크리트 포장의 수평변위가 작용되기 전 아스팔트 포장부의 온도상승과 열팽창에 의한 수직변위는 모든 모형에서 0.3mm 이하로 작은 수준에 그쳤다. 국내 'A' 공항 포장 접속부의 실제단면을 해석한 결과, Fig. 6(a)와 같이 콘크리트 포장에 60mm의 수평변위가 발생하였을 때 buried slab 끝단부인 3,000mm 위치에서 아스팔트 표층에 약 24mm의 최대 수직변위가 발생하였고, 100mm의 수평변위가 발생하였을 때 약 55mm의 수직변위가 발생하였다. 그림에서 x축은 접속부로부터의 거리를 나타낸다. Fig. 6(b)는 'A' 공항의 포장 접속부를 수정한 단면에 대하여 해석한 결과이며, 아스팔트 포장의 수직변위는 buried slab를 벗어난 3,000m 이후 구간에서 주로 발생하였다. 콘크리트 포장에 100mm의 수평변위가 발생하였을 때 약 17mm의 최대 수직변위가 발생하였다. FAA에서 제시하고 있는 표준단면에서 콘크리트 포장에 100mm의 수평변위가 발생된 경우 Fig. 6(c)와 같이 아스팔트 포장의 변단면이 거의 끝나는 위치(3,000mm 위치)에서 12.5mm의 수직변위가 발생한 것을 확인하였다.



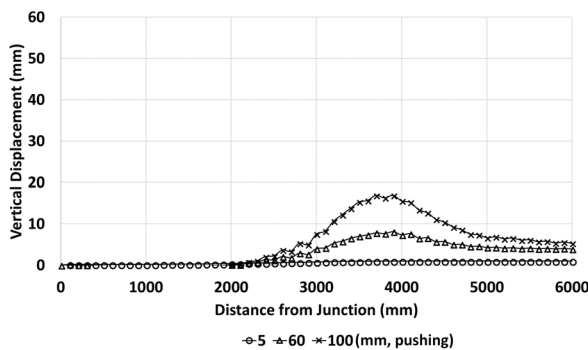
(b) Standard Section of FAA

Fig. 6 Vertical Displacement of Asphalt Pavement Caused by Pushing of Concrete Pavement

Fig. 7은 3가지 형태의 포장 접속부에 대해서 동일한 크기의 콘크리트 포장의 수평변위가 발생하였을 때의 아스팔트 포장의 최대 수직변위를 비교한 것이다. 본 연구에서 제시된 포장 접속부의 형태는 FAA에서 제시한 포장 접속부와 유사하게 쇼빙의 크기가 작았고 쇼빙이 발생한 구간의 길이는 더 짧은 것으로 나타났다. 하지만 FAA 표준단면에 buried slab가 없어 단차에 취약한 점을 고려할 때 본 연구에서 제시한 포장 접속부의 형태는 쇼빙과 단차 모두에서 유리하다고 판단되었다.



(a) Actual Section 'A' Airport



(b) Suggested Section 'A' Airport

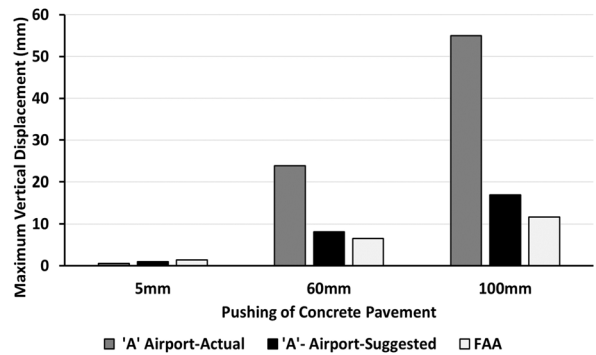


Fig. 7 Maximum Vertical Displacement by Junction Type

3가지 형식의 포장 접속부에서 콘크리트 포장의 팽창에 의한 아스팔트 포장 표층의 쇼빙 발생의 경향을 분석한 결과, 현재 'A' 공항에서 사용되고 있는 포장 접속부는 쇼빙의 발생에 취약한 것으로 판단되었다. 'A' 공항의 접속부에서 buried slab의 하부가 노상 상부의 일부분까지 깊게 설치되기 있기 때문에 콘크리트 포장부의 팽창에 의해 buried slab가 밀려 들어오면서 노상부터 쇄석보조기층까지 한꺼번에 밀어 올려 수직변위가 크게 발생한 것으로 판단되었다. 'A' 공항의 포장 접속부를 수정하여 본 연구에서 제안한 단면에서는 buried slab

의 하단이 쇄석보조기층의 하단과 나란하도록 설치하여 콘크리트 포장부가 팽창할 때 buried slab가 쇄석보조기층만을 압축시키며 밀고 들어오게 되어 아스팔트 포장에 발생하는 수직변위의 크기가 상대적으로 작게 나타난 것으로 판단되었다.

5. 결론

1. FAA는 포장접속부의 좌우측 대칭으로 콘크리트 포장과 아스팔트 포장 모두 변단면을 두도록 표준단면을 제시하고 있으나, 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 급격한 강성차이를 완화할 수 있는 buried slab가 없어 접속부에 단차가 발생할 가능성이 있다. 따라서 buried slab가 설치되어 단차발생을 줄일 수 있는 UFC의 민간공항 표준단면을 참고하기로 하였다. 하지만 UFC의 표준단면은 buried slab가 기층의 일부 깊이까지만 설치되도록 제안하고 있어 시공상 비효율적이기 때문에 본 연구에서는 buried slab의 하단을 쇄석기층의 하단에 일치하도록 'A' 공항의 실제 포장 접속부를 수정한 단면을 제시하였다.
2. FAA 표준단면, 'A' 공항 실제단면, 그리고 본 연구에서 제시한 'A' 공항 수정단면에 대해서 유한요소 해석을 실시하여 콘크리트 포장이 팽창할 때 아스팔트 포장에 발생하는 쇼빙의 크기와 위치를 비교하였다. 콘크리트 포장에 100mm의 수평변위가 발생할 때, 'A' 공항 포장 접속부 아스팔트 포장의 최대 수직변위는 55mm로 계산되어 FAA 표준단면의 11.7mm보다 약 5배 큰 것으로 나타났다. 또한 'A' 공항 수정단면에 대해서는 동일한 수평변위에 대해서 약 17mm의 최대 수직변위가 발생하였으며, 쇼빙 발생 구간의 길이는 FAA 표준단면의 경우보다 짧은 것으로 나타났다. FAA 표준단면에 buried slab가 없어 단차에 취약한 점을 고려할 때 본 연구에서 제시한 포장 접속부의 형태는 쇼빙과 단차 모두에서 유리하다고 판단되었다.
3. 'A' 공항 포장 접속부에는 buried slab가 아스팔트 포장의 보조기층 상부의 일부분까지 깊게 설치되기 때문에 콘크리트 포장이 팽창할 때 buried slab가 보조기층부터 쇄석기층까지 모두 밀어 올려 큰 수직변위를 발생시킨 것으로 판단되었다. 이와는 대조적으로 본 연구에서 제안한 단면에서는 buried slab의 하단이 쇄석기층의 하단과 나란하게 설치되므로 콘크리트 포장이 팽창할 때 buried slab가 쇄석기층만을 압축시켜 수직변위가 상대적으로 작게 발생한 것으로 판단되었다.

었다. 결과적으로 'A' 공항 포장 접속부의 buried slab의 크기와 설치 깊이를 약간 조절하는 수준으로도 쇼빙을 크게 줄일 수 있다고 판단되었다.

본 연구에서는 공항의 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 접속부에 발생하는 쇼빙을 줄이기 위해서 UFC 표준단면을 차용한 국내 민간공항 'A' 공항의 포장 접속부 설계의 수정방안을 제시하였다. 다만 콘크리트 슬래브가 팽창하여 아스팔트 포장을 밀어낼 때 발생하는 쇼빙의 정도를 포장 접속부 형식에 따라 비교한 결과이므로 추후 항공기 하중에 의한 단차 발생 비교해석을 추가로 실시하여 최적의 포장 접속부 단면을 제시할 것이다.

감사의 글

본 연구는 인천국제공항공사의 지원을 받아 수행된 "공항포장(강성) 장기거동 특성분석을 통한 공항포장설계법 개발 (1) (No. BEX00625)" 자료에 근거하여 수행되었으며 연구 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Choi, J. H., Seo, Y. G., Suh, Y. C. (2009). Validation of Permanent Deformation Model for Flexible Pavement using Accelerated Pavement Testing, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 29(4D), pp.491-497.
- FAA (1995). *AC 150/5320-6D - Airport Pavement Design and Evaluation*, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC, USA.
- FAA (2016). *AC 150/5320-6F - Airport Pavement Design and Evaluation*, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC, USA.
- MOCT (2000). *Hand book of Road Design*, Ministry of Construction and Transportation, Korea.
- MOLTMA (2011). *Road Pavement Integration Guidelines*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea.
- Park, M. G. (2009). *A Study on Friction between Slab and Different Types of Base of Concrete Pavement*, Master Thesis, Inha University, Korea.
- UFC (2001). *UFC 3-260-02 Pavement design for Airfields, Unified Facilities Criteria*, National Institute of Building Sciences, Washington DC, USA.
- USACE (2009). *Paver™ Distress Identification Manual - Asphalt Surfaced Airfields*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington DC, USA.
- Zollinger, D. G., Cho, B. H., Won, M., & Wimsatt, A. J. (2012). *Subbase and Subgrade Performance Investigation and Design Guidelines for Concrete Pavement*, Final Report, No. FHWA/TX-12/0-6037-2, Research and Technology Implementation Office, Texas Department of Transportation, Texas, USA.