

공항포장에서의 윤회중(Moving Wheel Load)에 의한 하부 영향 고찰*



김인태 | 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수

1. 서론

국내 도로 및 공항 포장의 설계에 활용되는 물성 시험은 입상재료의 거동을 분석하기 위해 반복하중에 의한 시험이 주를 이루고 있다. 삼축압축 시험을 이용한 영구변형 시험이나 회복탄성계수를 구하기 위한 시험 등도 모두 반복하중 재하에 의한 입상재료 분석에 사용된다. 하지만, 실제 도로나 공항포장의 입상재료가 경험하는 동적 하중은 단순 반복 재하(Repeated Loading)보다는 윤회중(Moving Wheel Loading)을 고려하는 것이 더욱 현실적이라는 사실은 많은 연구를 통해 알려져 왔다. 특히, 실제 현장에서 입상재료가 경험할 수 있는 인장과 압축 상태를 모사하는 윤회중이 일반 반복 하중 시험에서는 전혀 고려되지 않고 있다. 이에 따라 실제에서 경험하는 주응력 회전이나 인장 상태를 고려한 회복탄성계수나 영구변형 거동을 모사할 수 없는 실정이다. 본 기사에서는 공항포장 하부에 위치한 입상재료의 윤회중에 의한 거동에 대해 알아보고 회복

탄성계수와 영구변형에 대해 미치는 영향에 대해 간단히 소개하고자 한다.

2. 공항포장의 특성

2.1 포장하부에서의 응력 상태

토질역학에서 최근 매우 중요한 발견 중의 하나는 주응력의 회전이 반복 하중 재하시 주응력의 회전을 고려하지 않는 경우에 비하여 전단변형률과 체적변형률을 증가시킨다는 현상을 밝혀낸 것이다(Wong and Arthur, 1986; Sayao and Vaid, 1989). 포장시스템에서의 입상재료는 주응력이 수직방향으로만 존재하는 것이 아니라 그림 1과 같이 회전함을 알 수 있다(Brown, 1996). 일반적으로 교통하중이 수직방향에 존재할 때 최대 응력을 경험하기 때문에 많은 회복탄성계수 시험이나 영구변형 시험이 이런 형태로 이뤄지고 있으나 실제 현상에서 살펴보면 윤회중의 영향으로 주응력의 방향이 회전함에 따라 압축과 인장이 조합되는 응력상태가 더욱 더 입상재료에 영향을 많이 미칠 수 있다.

* 본 기사는 저자의 박사학위 논문에서 발췌하여 정리하였습니다.

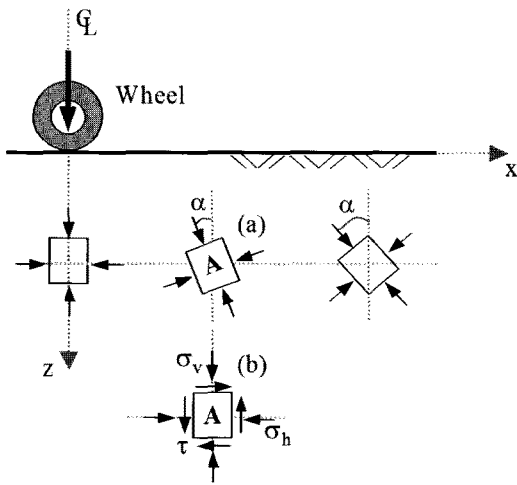


그림 1. 포장 입상재료의 응력 상태: (a) 주응력 - 재료회전, (b) 전단응력 존재 - 회전고려 안함(Brown, 1996)

이러한 윤하중에 의한 주응력 회전뿐만 아니라 공항포장의 경우 다른 어떠한 포장시스템에서 경험하지 않는 매우 큰 응력상태를 보여준다. 그림 2와 같이 미국 FAA의 공항포장 실험시설인 NAPTF에서 운영 중인 섹션의 구조해석 결과 기층에 881kPa 과 보조기층에 453kPa까지의 응력을 확인할 수 있었다.

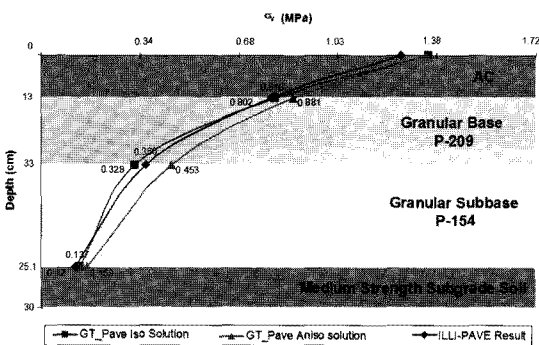


그림 2. NAPTF (National Airport Pavement Test Facility)의 MFC 구간의 응력상태 (보잉 777 기어(20ton) 재하시)

2.2 포장 현장 가속시험기 시험 결과 요약

1970년대 초반 미국 공병단이 수행한 Multiple-

Wheel Heavy Gear Load(MWHGL) 과제에서 이 동기어에 의한 영구변형이 연구되었다. 이 연구에서 아주 재미있는 사실이 발견되었다. 그림 3과 같이 q-p 좌표에서 각 A,B,C와 D를 연결한 각 경로가 윤하중 하에서의 응력 상태라고 보고하였다. 교통하중이 접근하면서 Point B는 수평응력이 수직응력보다 큰 인장상태를 맞이하게 되고 이에 따라 인장상태를 유지하게 되고 Point D는 수직 응력만 존재하는 상태로 윤하중이 입상재료가 바로 위에 위치하여 압축상태를 나타낸다. 이제까지의 모든 입상재료에 대한 반복하중 시험은 압축상태만을 모사하여 실제 하중에 의한 입상재료의 거동 분석에는 부족함이 있다 하겠다.

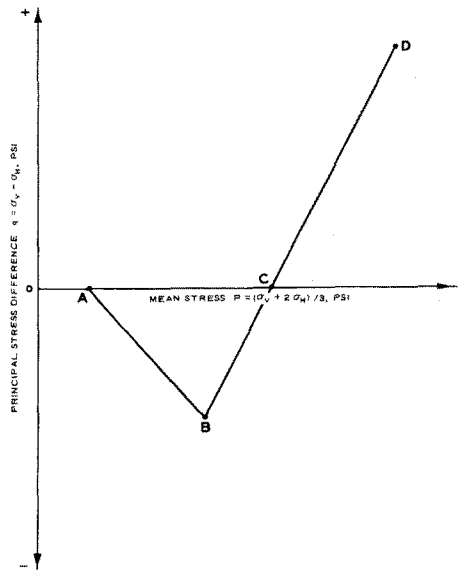


그림 3. Q-P 윤하중 하에서의 응력 상태 모식도 (Ledbetter, 1977)

영국 노팅햄 대학에서의 포장 가속시험이 1974년부터 수행되었는데 테스트 구간의 포장 두께는 표 1과 같다. 테스트 구간의 길이는 4.8m에 폭은 2.4m 이고 다양한 계층기가 시공되었다.

연구결과에 따르면 그림 4와 같이 윤하중에 의해 발생한 연구변형이 반복 plate 재하(repeated plate loading)에 의해 생긴 것보다 매우 심각하였으며 어

던 경우는 3배 정도의 차이가 발생하였고 재하 타이머 혹은 플레이트 주변에 전단변형도 윤택중에 의한 변형이 매우 크게 나타났다(Brown and Brodrick, 1999).

표 1. 노팅햄 대학 연구에 사용된 포장 구조 (Brown and Brodrick, 1999)

Test Section	Asphalt Thickness (mm)	Granular Base Thickness (mm)
(a)	40	120
(b)	50	130
(c)	50	160

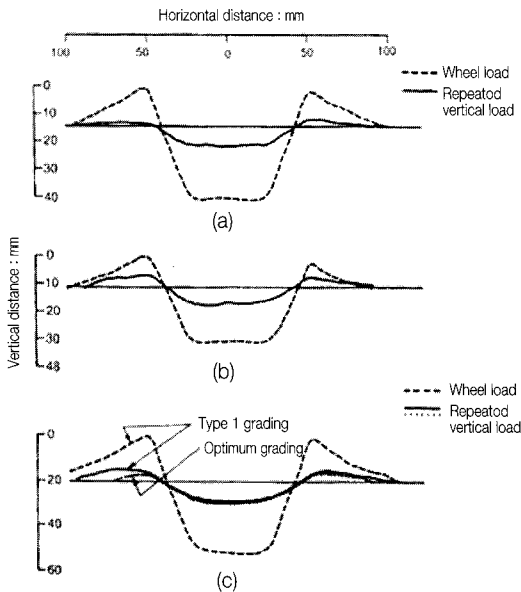


그림 4. 윤택중과 반복 플레이트 재하에 의한 연구변형 발생 비교 (Brown and Brodrick, 1999)

3. 공항포장 하부시스템의 윤택중에 의한 영향

3.1 윤택중 분석

보다 정확하게 입상재료의 거동을 분석하기 위해

서는 현장에서 경험하는 응력 조건을 실내시험에도 적용하여야 한다. 실제 현장에서는 대체로 윤택중에 의한 재하가 이뤄지므로 압축, 인장 및 전단 응력을 입상재료들이 경험하며 이에 따른 주응력 방향의 회전도 이뤄지게 된다. 그림 5에서 윤택중에 의한 응력 상태를 나타내며 수평응력이 수직응력보다 클 경우 인장이 발생하게 되며 입상 재료 바로 위에 윤택중이 위치하게 될 때 최대 수직응력이 발생하게 된다.

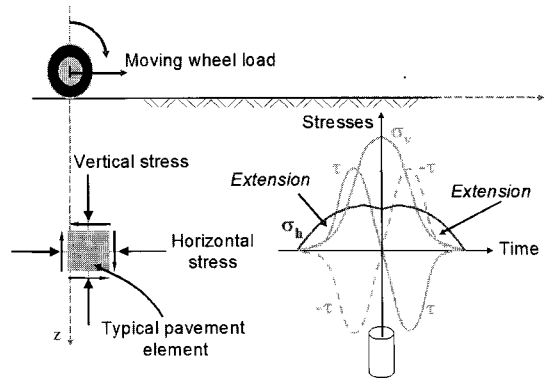


그림 5. 윤택중에 의한 포장체 응력상태

FAA NAPTF에서 수행된 연구에서 그림 6에서 보는 바와 같이 압축과 인장을 포함한 복잡한 응력 상태를 볼 수 있었으며 단순히 하나의 응력경로만을 고려하는 현재의 시험방법으로는 구현하기 힘들다.

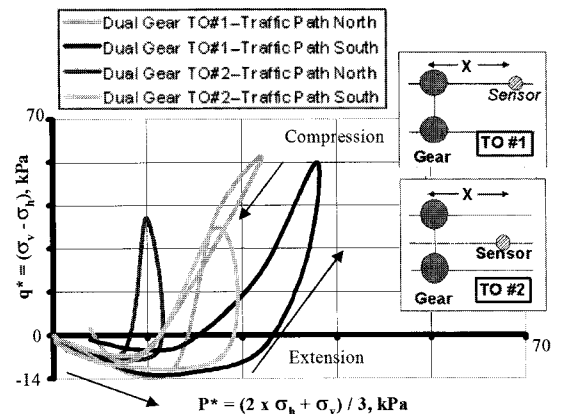


그림 6. NAPTF에서 측정된 윤택중에 의한 실제 응력 상태

3.2 윤하중의 영향

그림 5와 그림 6에서 나타나 바와 같이 윤하중 하에서는 입상재료의 특성을 분석하기 위하여 단순히 한 경로(수직응력 상태)로 재하하는 현재의 AASHTO T307-99 같은 시험방법이 적당하지 않으며 압축과 인장을 고려한 새로운 시험법이 요구되었다. 이에 그림 7과 같은 응력 상태를 재하하여 그에 따른 영구변형을 일반적인 시험법과 비교하여 보았다.

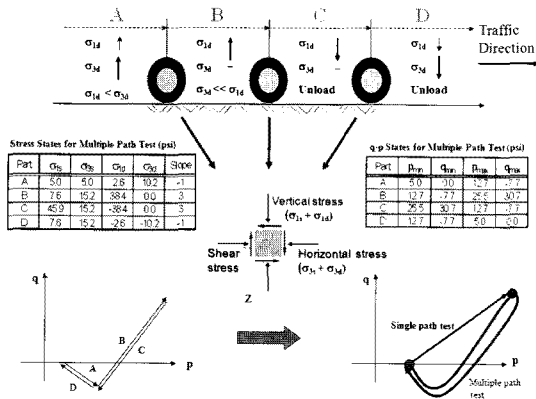
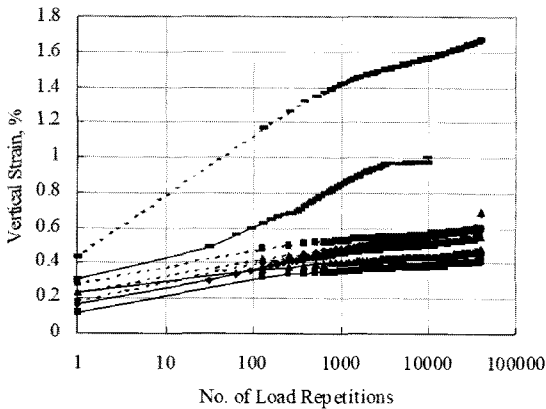
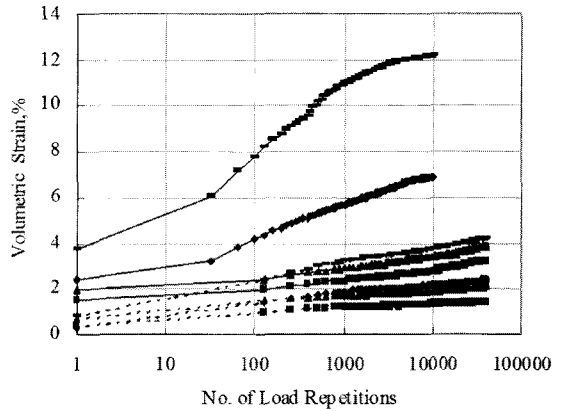


그림 7. 다중 경로 시험 개념도

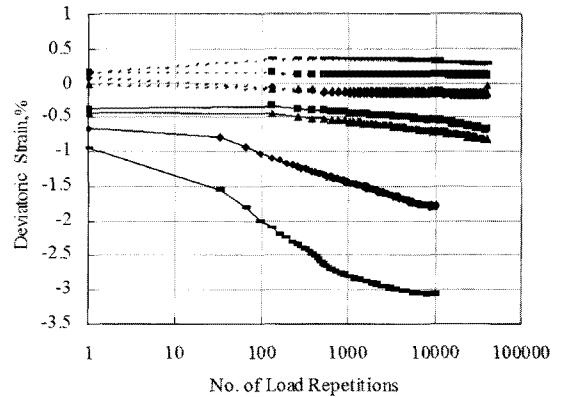
FAA보조기층 재료인 P154에 두 가지 시험방법을 적용한 결과 압축-인장을 주기적으로 반복하는



(a) 수직변형률



(b) 체적변형률



(c) 전단변형률

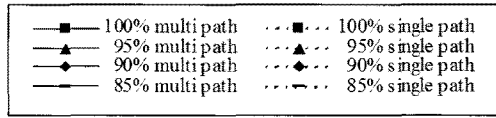


그림 8. 재하방법에 따른 P154 영구변형 결과

다중경로 재하 방법이 일반적인 수직방향 재하시험에 비해 전단변형률 및 체적변형률이 많이 발생하였으며 특히 다짐도가 낮은 경우 더욱 치명적인 결과를 확인할 수 있었다(그림 8).

4. 결론

앞서 살펴본 바와 같이 공항포장의 입상재료는 일

(그림 계속)

반 도로나 기타 SOC와 다른 특성을 볼 수 있었다. 특히, 재하되는 하중의 크기에서 발생하는 응력수준이 매우 높았다. 또한 운하중에 의한 주응력의 회전으로 인해 실제 현장에서는 인장과 압축을 동시에 경험하고 있었으며, 이러한 상태에서 나타나는 입상재료의 거동은 현재 사용되고 있는 시험법으로는 특성을 분석할 수 없다.

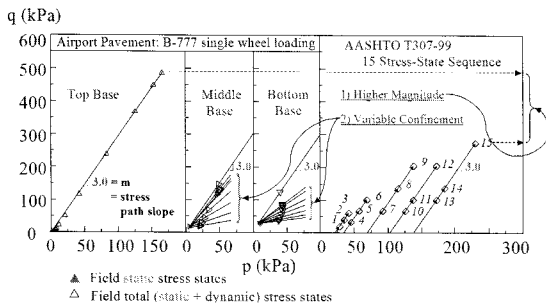


그림 9. 공항 입상재료 특성분석에 대한 현 시험법의 문제

그림 9에서와 같이 입상재료 특성분석의 대표적인 시험법인 AASHTO T307-99와 공항입상재료가 경험하는 응력 상태를 비교하여 보면 응력의 크기나 경로에 대해 많이 차이가 있음을 알 수 있으며 이에 새로운 입상재료 시험법에 대한 고려가 필요하다 하겠다.

참고 문헌

AASHTO T307-99 (2002). "Determining the Resilient

Modulus of Soils and Aggregate Materials." Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, 20th Edition, AASHTO, Washington D.C.

Brown, S. F. and Chan F. W. K. (1996). "Reduced Rutting in Unbound Granular Pavement Layers through Improved Grading Design.", Proc. Inst. of Civil Engineers Transport, Vol. 117, pp40-49.

Brown, S. F. and Brodrick, B. V. (1999) "25 years' experience with the pilot-scale Nottingham Pavement Test Facility.", Proc. Int. Conf. on Accelerated Pavement Testing, Reno, NV.

Ledbetter, R. H. (1977). General deformation (elastic and inelastic) and stress distribution theory in soils. Technical Report S-77-10, Soils and Pavements Laboratory, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 117 pages.

Wong, R.K.S. and J.R.F. Arthur (1986). "Sand Shear by Stresses with Cyclic Variations in Direction. Geotechnique", Vol. 36, No. 2, , pp. 215-226.

Sayao, A.S.F. and Y.P. Vaid. (1989). "Deformations Due to Principal Stress Rotation", In Proceedings of the 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, Rio de Janeiro, Brazil, pp.107-110.

회원의 신상변동사항(이사, 전근, 승진 등)이 있으면 학회 사무국으로 연락주시기 바랍니다.
 현재 반송되는 우편물이 너무 많습니다.
 • 전 화 : (02)3272-1992 • 전 송 : (02)3272-1994
 • E-mail : ksre1999@hanmail.net