

산지도로의 상향침투수압으로 인한 포장파손 방지 배수성 기층재료의 적정입도 연구

A Study on the Optimum Particle Size Distribution of the Drainable Base in Mountain Road for the Prevention of the Pavement Damage by Uplift Seepage Pressure

임 영 규	Lim, Young Kyu	정회원 · (주)동성엔지니어링 도로부 사원 (E-mail : yklim@dse.com)
김 영 규	Kim, Young Kyu	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : kingdom1980@nate.com)
윤 찬 영	Yune, Chan Young	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 (E-mail : yune@gwnu.ac.kr)
이 승 우	Lee, Seung Woo	정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

Recently, typhoons or heavy rainfalls frequently occurred because of the effect of global warming, which caused serious damage such as landslide of mountain road, debris flow and uplift seepage pressure. Uplift seepage pressure induced on the pavement of mountain roads may cause serious pavement damage. It was known that subsurface drainage method is very effective to reduce uplift seepage pressure. Suitable permeability and stiffness of drainable base is very important to have the effectiveness of subsurface drainage. In this study, optimum particle size distribution of drainable base is investigate to meet the required permeability and bearing capacity of drainable base.

KEYWORDS

uplift seepage pressure, drainable base, permeability, subsurface drainage, road

요지

최근 들어 온난화 등의 영향으로 태풍이나 집중호우가 빈번히 발생하고 있으며 이로 인한 산지 도로의 산사태, 토석류, 상향침투수압 등에 의한 인명, 시설물 피해도 극심하게 나타나고 있다. 산지 도로의 상향침투수압은 심각한 포장 파손을 발생시키기도 한다. 산지 축의 높은 지하수위로 인한 상향침투수압을 감소시키기 위해서는 지하배수공법이 매우 효과적 이라고 판단된다. 지하배수 공법을 원활하게 작동하기 위해서는 배수기층이 적합한 투수계수와 지지력을 갖추어야 한다. 따라서 본 연구에서는 적절한 투수성과 지반 지지력을 확보할 수 있는 최적의 배수기층 입도에 대한 연구를 수행하였다.

핵심용어

상향침투수압, 배수기층, 투수성, 지하배수, 도로

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

최근 온난화에 따른 태풍과 집중 호우 시에 발생하는 강우가 침투특성을 상이하게 유발시켜 안정성에 크게 영향을 미

치고 있다. 강우가 지반 속으로 스며들어 암반에 침투하지 못하고 경계면을 따라 흐르면서 산사태를 발생시키거나, 지하수위가 빠르게 상승하여 상향침투수압에 의한 피해를 발생시키고 있다. 그 결과 산지도로에서는 그림 1과 같이 도로 하부

층에서 받는 상향침투수압이 높아져 포장의 들림 현상이 발생하고 이로 인한 피해가 빈번히 발생하여 이에 대한 대책이 시급하다.



그림 1. 상향침투수압에 의한 포장 들림 파손(국토해양부, 2007)

상향침투 시 포장 하부단면에서 발생하는 상향침투수압의 크기를 최소화하기 위해서는 지하 배수공법이 매우 유용하다고 보고된 바 있다(임영규, 2010). 지하 배수공법이 효과적이기 위해서는 배수기층이 적절한 투수성과 지반 지지력을 갖추어야 하며, 이러한 조건을 충족시키기 위해서는 배수기층의 적정입도 분포를 확보해야 한다. 따라서 본 연구에서는 상향침투수압으로 인한 포장파손을 최소화하기 위한 배수층의 최적의 입도기준을 제안하며, 유한요소 해석 프로그램을 사용하여 포장의 안정성을 검토하였다.

1.2. 연구범위 및 방법

본 연구는 기존 상향침투수압의 크기를 바탕으로, 국내·외 기층재료들의 입도 및 투수성을 분석하였다. 이를 토대로 현재 사용중인 국내 기층재료의 문제점을 도출하고 이론적인 접근을 통해 최적의 기층재료의 입도를 산정하고자 한다. 분석에 사용된 시험방법으로는 기층재료별 투수 시험과 지지력 시험을 선정하였으며, 기층의 재료별 투수계수를 비교 분석하고, 하중에 따른 침하량을 측정하여 탄성계수를 도출하였다. 이 실험결과를 유한요소 해석을 통하여 배수기능이 있는 기층별로 적당인지 검토하였으며, 기층별 탄성계수로 하중지능력이 있는지 평가하였다.

2. 상향침투수압의 이론적 배경

산간부를 흐르는 중소하천에 인접하는 유역에서는 도시하천과는 다르게 일반적으로 치수시설의 정비 수준이 낮아 호

우 시에는 하천 범람에 의해 침수라든가 유출피해의 발생 위험성이 높다(강상혁, 2001). 또한 최근 온실효과로 인한 강수의 증가와 극치강우사상의 강도와 지속기간의 변화로 하천홍수의 발생이 잦아지고 있다(김 승, 1999). 따라서 산간부에 인접한 산지도로에서도 빈번한 호우에 의한 물의 침투로 상향침투수압이 나타나게 되고, 포장하부는 침투 수량에 의해 포화상태가 되며, 침투수압이 높아지면서 토립자들과 함께 물의 분사현상이 일어나게 된다. 강우에 의한 포장의 파손을 줄이기 위해서는 포장하부에 배수기층을 두어 원활한 배수가 일어나도록 유도해야하며, 원활한 배수를 유도하기 위해서는 기층재료의 투수계수를 파악하고 설계 되어야 한다. 하지만 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 보조기층 재료인 SB-1, SB-2의 투수계수에 대한 근거있는 자료가 부족하여 피해를 줄이는 방법을 찾기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 국내의 기층재료가 적절한지 고찰하고, 국외의 투수계수 범위를 산정하여 어떠한 입도가 적합한지 검토하였다. 산지도로에서의 상향침투수압은 “수치해석을 활용한 산지도로의 상향침투수압으로 인한 포장파손방지를 위한 포장기층종류 및 배수형태의 고찰”(임영규, 2010)에서 그림 2와 같은 실제사면을 해석하기 위하여 그림 3과 같이 실제사면과 유사한 산지 사면의 단면도를 작성한 후 유한요소 해석 프로그램을 이



그림 2. 한계령 국도

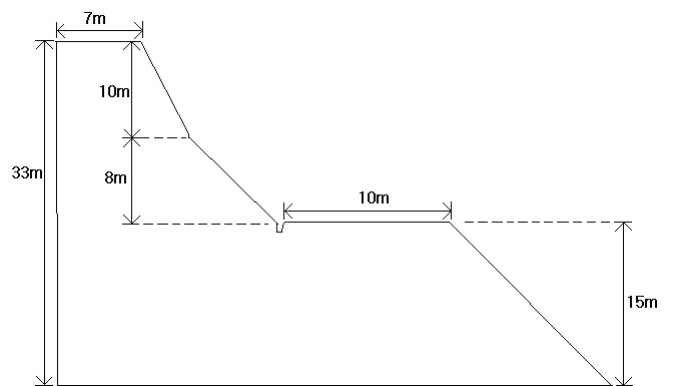


그림 3. 산지 단면도

용하여 산지단면의 종류, 산지 토사층의 깊이, 지중배수관의 설치에 따라 산정되어졌으며 지중배수관 설치와 기층의 배수 능력이 도로하부의 상향침투수압 감소에 중요한 역할을 한다는 것을 확인하였다(임영규, 2010).

3. 국내·외 기층재료의 투수계수 실험

3.1. 실험목적

산지도로에서 빈번히 발생하는 상향침투수압으로 인한 포장파괴를 줄이기 위해서는 지하배수공법이 적절하다. 지하배수공법을 적절히 활용하기 위해서는 기층재료의 입도분포에 따른 투수계수와 지지력계수가 확보되어야 한다. 따라서 본 실험에서는 국내에서 일반적으로 사용되는 기층재료의 배수 기능이 적절한지 고찰하고, 국외의 기층재료의 투수계수 범위를 산정하여 어떠한 입도분포가 배수기층의 입도로 적합한지 검토하였다.

3.2. 실험방법

일반적인 흙의 투수시험 방법은 상향침투수압을 모사할 수 없는 한계가 있으므로, 상향침투수압을 모사할 수 있는 장비를 그림 4와 같이 개발하였다. 한쪽 수조에는 부압라인을 설치하여 물을 충전할 수 있도록 설계하였고, 나머지 한쪽 수조는 셀을 통과한 물의 양을 측정할 수 있도록 눈금을 표시하였다. 물이 충전된 수조에서 셀 하부로 가해진 압력의 세기만큼의 수압이 가해지면, 셀하부에서 물이 상향침투하여 눈금이 있는 수조로 배출되도록 제작하였다. 셀의 지름은 굵은 골재 크기의 5배인 150mm, 길이는 300mm로 제작하였다. 또한 셀의 벽면을 타고 물의 흐름이 발생하지 않게 하기 위하여 벽면에 멤브레인을 설치한 후 실험을 진행하였다. 실험은 일정한 단면과 길이를 가진 시험체 안을 일정한 수위차를 초기 상태로 하여 침투할 때의 수압과 그 경과 시간을 측정하는 변수위 실험방법으로 진행하였으며, 본 장비는 골재의 투수 실험용 투수계수 측정 장비로 최대 350KPa의 수압을 발생시키며 1KPa단위로 수압을 조절할 수 있도록 제작하였다.



그림 4. 상향침투수압 장비

투수실험에 사용된 시료의 입도는 표 1과 같이 국내에서 일반적으로 쓰이는 SB-1, SB-2층과 국외의 Iowa, Wisconsin의 투수보조기층입도를 이용하였다. 사용된 시료의 입도분포곡선은 그림 5와 같다.

표 1. 국내·국외의 입도기준

	국내입도기준		국외입도기준	
	SB-1	SB-2	Iowa	Wisconsin
50.0mm		100		
38.1mm	70-100	80-100		
25.4mm			100	100
19.1mm	50-90	55-100		90-100
12.7mm				
9.50mm				20-55
4.75mm	30-65	30-70		0-10
2.36mm			10-35	0-5
2.00mm	20-55	20-55		
1.18mm				
0.425mm	5-25	5-30		
0.30mm			0-15	
0.075mm	2-10	2-10	0-6	

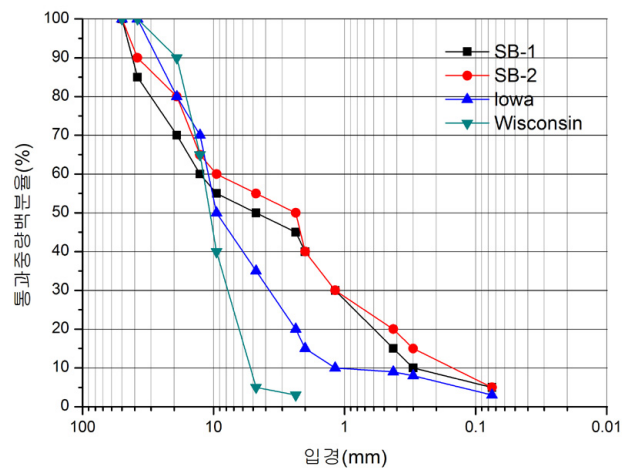


그림 5. 시료의 입도분포곡선

또한, KS F 2502(굵은 골재 및 잔골재의 체가름 시험 방법)에 따라 그림 6~그림 7과 같이 각각의 체 크기별 입도를 나눈 뒤 각 기층재료의 입도기준에 맞게 배합하여 실험을 진행하였다.

시험에 가해진 압력은 Seep/w프로그램을 통한 산지도로의 포장하부에 상향침투수압이 미치는 수압의 크기로 5KPa, 10KPa, 20KPa과 극한의 상황을 가정한 50KPa의 수압을 실험하였다. 시험은 각 쇄석기층에 대해 10분씩 3회 측정하여 평균값으로 투수계수를 산정하였다.



그림 6. 굵은골재 체가름 시험기



그림 7. 굵은골재 및 잔골재 체가름 분류

3.3. 실험결과

본 투수시험 장치로 실험을 진행한 결과 굵은 골재의 입도 분포가 많은 Wisconsin지역의 투수계수가 가장 높았으며, 반대로 잔골재의 입도분포가 많은 SB-2 기층재료의 투수계수가 가장 낮게 나왔다. 실험 결과는 수조안의 물이 시료를 채운 셀을 통과 후 빈 수조로 채워지는 물의 양과 시간으로 투수계수를 산정하였으며, 시험중 약 0~5KPa 정도의 압력차가 발생하여 같은 실험을 3회 이상 반복하여 압력의 범위에 대한 평균값을 투수계수로 선정하였다. 실험에 대한 결과는 그림 8에 나타내었다.

그림 8의 그래프를 보아 초기 12.5KPa의 수압에서는 투수계수의 차이가 많이 나지 않지만 17.5KPa의 수압에서부터 점차 Wisconsin지역 기층재료의 투수계수가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 반면 Iowa, SB-1, SB-2 기층재료는

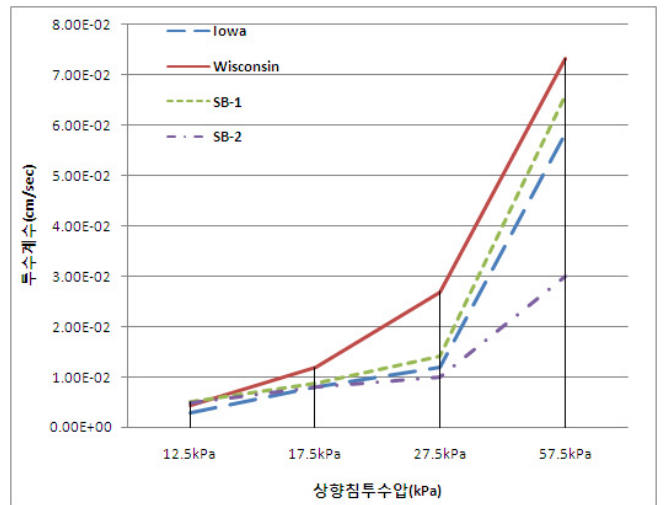


그림 8. 투수시험 결과 그래프

27.5KPa의 수압까지는 투수계수가 비슷하게 상승하나 57.5KPa의 수압에선 SB-2 기층재료의 투수계수가 $2.80 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 로 다른 재료에 비해 낮아지는 것을 확인하였으며, Wisconsin지역의 투수계수에 비해 약 1/2 이상 투수계수가 낮게 나타났다. Iowa와 SB-1 기층재료의 경우에는 두 기층재료의 입도기준이 비슷하여 투수계수도 비슷하게 상승한 것을 알 수 있다. 비교적 다른 기층재료보다 굵은 골재의 함량이 높은 Wisconsin지역 기층입도의 투수계수가 우수하고, 잔골재의 함유량이 높은 SB-2기층은 투수계수가 낮게 나타났다. 하지만 유한요소 해석프로그램결과 그림 9에서 보이는 바와 같이 지중배수관을 보조기층 높이에 매설하였을 때는 Wisconsin지역 기층, SB-2기층 모두 보조기층 위로 지하수위가 상승하지 못하는 같은 결과를 보였다. 지중배수관의 모사는 그림 10과 같은 위치에서 지중배수관의 지점을 투수가 가능한 단면으로 가정하여 해석을 실시하였다.

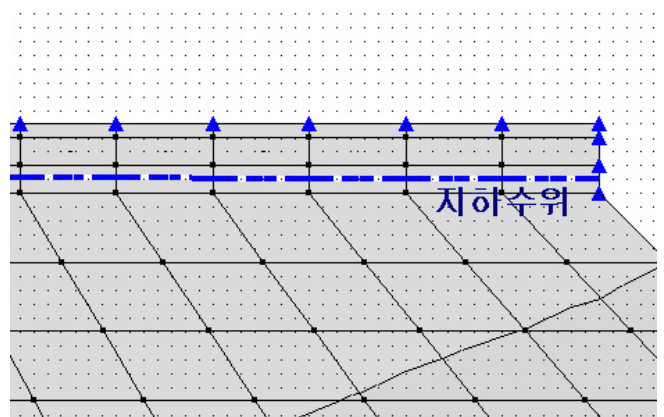


그림 9. SB-2, Wisconsin기층 투수계수의 유한요소 해석 결과

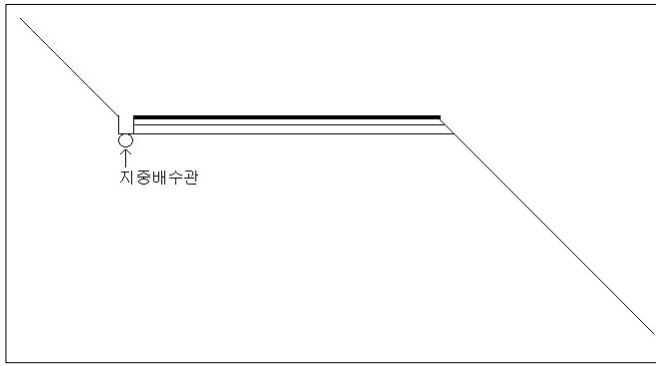


그림 10. 지중배수관의 위치

따라서 지중배수관의 설치가 국내와 국외에서 일반적으로 사용하는 기층재료의 배수기능 역할을 도와 포장하부까지 지하수위가 상승되지 않아, 상향침투수압의 영향이 미치지 않게 하는 것을 확인하였다.

4. 국내·외 기층재료의 지지력 실험 및 탄성계수 평가

4.1. 실험목적

배수성 기층은 배수기능뿐만 아니라 하중에 대한 지지력도 갖추어야 한다. 따라서 국내와 국외의 기층재료에 대하여 지지력을 산정하고, 투수계수실험과 함께 지지력 실험의 결과를 비교·분석하여 배수기층의 최적의 입도를 검토하였다.

4.2. 실험방법

현장 노상이나 기층의 지지력을 평가하기 위한 시험 KS F 2310(도로의 평판 재하 시험 방법)에 의거하여 실험을 진행하였다. 노상 또는 보조기층의 표면에 강체원판을 놓고 여기에 하중을 가하여 하중강도(σ)와 침하량(s)을 구하는 시험이다. 평판재하시험으로부터 획득한 하중강도와 침하량의 관계로부터 지지력계수(K, modulus of subgrade reaction)를 구할 수 있는데, 그림 11에 이와 같은 관계를 나타내었고 식 (1)과 같이 결정할 수 있다.

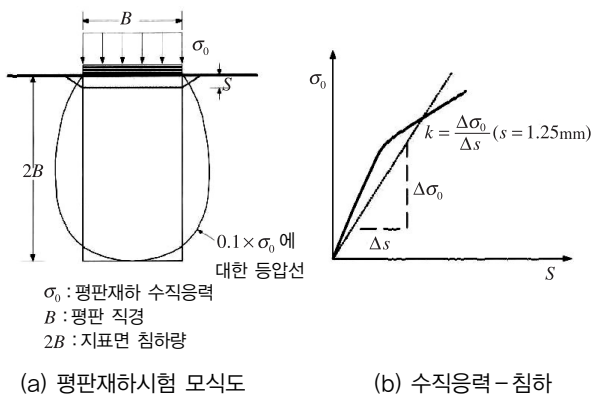


그림 11. 평판재하시험의 개요(김대상 등, 2007)

$$k = \frac{\sigma}{s} \quad (1)$$

본 연구에서 진행된 평판재하시험은 Wheel Load Simulator 장비를 이용하여 시편의 규격을 600×600×250mm으로 정하여 실험하였고 고무층 50mm와 기층재료 200mm을 주어 실제포장단면과 유사하게 실험을 진행하였다. 다짐은 Wheel load simulator의 다짐법에 의거하여 다짐을 실시하였다. 국내 SB-1, SB-2층과 국외의 Iowa, Wisconsin의 기층재료의 하중강도와 침하량을 그림 12와 같이 3회 이상 실험하여 이를 비교·분석하였다.



그림 12. Wheel load simulator 장비를 이용한 평판재하시험

4.3. 모의 평판재하시험을 이용한 지지력계수의 결정

기층재료에 대하여 3회 이상 시험을 실시한 뒤 표 2와 같이 도로의 지반을 산정하는 침하량 1.25mm 지점에서 지지력계수를 산정하였다.

표 2. 지반을 산정하는 침하량(김대상 등, 2007)

구분	도로	철도	공항활주로	탱크기초
침하량	1.25mm	1.25mm	1.25mm	5mm

지지력계수는 그림 13~그림 16의 각 3회의 측정데이터에 1.25mm지점에 대한 하중강도의 기울기로 표 3에 결과를 나타내었다.

미립분이 비교적 많은 SB-2가 K=160kg/cm³ 정도로 가장 높게 나온 반면, 굵은 골재로 이루어진 Wisconsin지역은 지지력계수가 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 골재와 골재사이의 공극에 미립분이 채워져 지지력계수가 높아지는 것으로 판단된다.

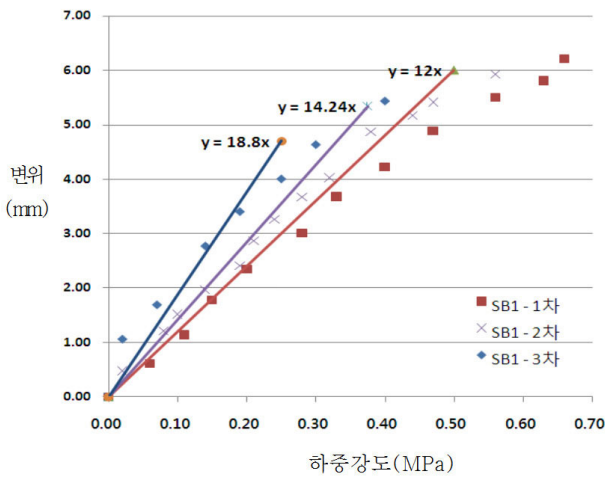


그림 13. SB-1의 하중강도 - 변위곡선

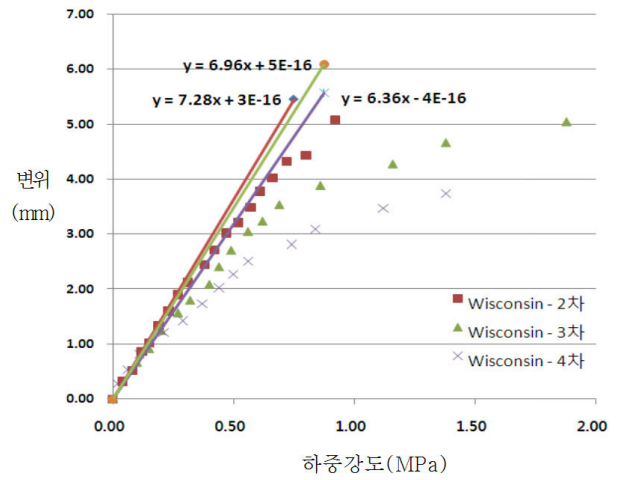


그림 16. Wisconsin의 하중강도 - 변위곡선

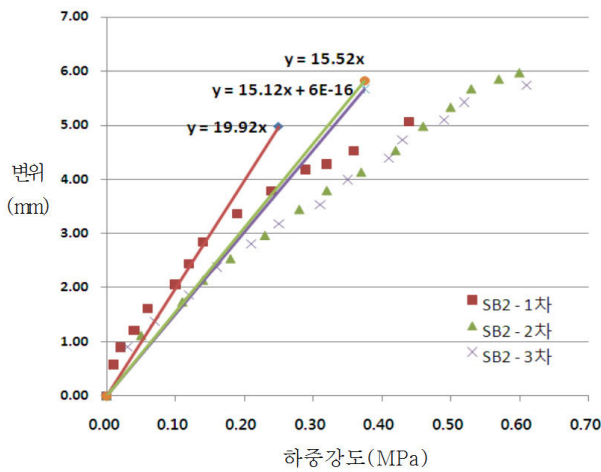


그림 14. SB-2의 하중강도 - 변위곡선

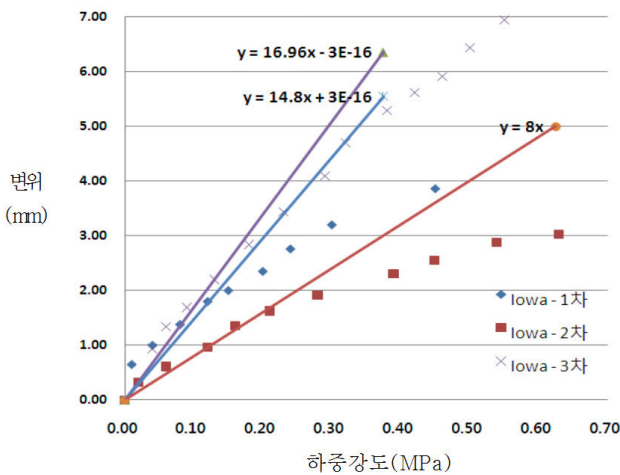


그림 15. Iowa의 하중강도 - 변위곡선

표 3. 기층별 지지력계수

	지지력 계수 K값 (kg/cm ³)			
	SB-1	SB-2	IOWA	WISCONSIN
1회	150.64	179.04	158.88	70.96
2회	139.52	152	146.4	75.52
3회	132.16	153.1	107.81	73.41

4.4. 모의 평판재하시험을 이용한 변형계수(E_s)의 결정

앞 절에서 구한 지지력계수를 식 (2)를 사용하여 지반의 변형계수를 산정하였다.

$$E_s = (1 - \mu^2) B \cdot I \cdot K \quad (2)$$

B = 재하판의 지름

I = 침하 영향 계수

K = 지반 반력 계수

μ = 포아슨 비

침하영향계수는 표 4의 재하판에 따른 침하영향계수를 사용하였고, 포아슨 비는 쇄석골재기층의 0.38을 사용하였다 (임유진 외, 2009).

표 4. 재하판 또는 기초형상과 위치별 침하 영향계수 (I)

원형			정사각형(B×B)		
강성		휨성	강성		휨성
중앙	모서리	전체	중앙	Corner	전체
1	0.636	0.785	1.122	0.561	0.88

식 (2)를 통하여 구한 탄성계수는 SB-2기층이 110MPa로 가장 높았으며 Wisconsin지역의 기층이 70MPa로 가장 적

게 나타났다.

표 5. 각 기층재료의 탄성계수(E)

구분	SB-1	SB-2	IOWA	WISCONSIN
탄성계수(MPa)	101	110	106	70

4.5. 유한요소 역해석을 통한 탄성계수의 산정

모의 평판재하시험을 통해 산정된 기층의 탄성계수값이 다소 차이가 있고, 실내실험상 오차가 존재하므로 신뢰도가 떨어진다고 판단된다. 따라서 실험을 통해 산정된 탄성계수를 유한요소해석 프로그램으로 역해석하여 신뢰도가 높은 탄성계수를 산출하였다. 역해석 방법은 2개 이상의 변수의 값에 대한 함수값을 알고 임의의 함수값을 추정하는 보간법으로 해석하였다. 그림 17과 같이 실험을 통하여 구한 하중과 탄성계수를 물성치로 입력하고 프로그램 해석을 통해 발생한 침하량이 실험을 통한 침하량과 동일할 때까지 물성치를 바꿔가며 반복적으로 해석을 진행하였다.

기층재료별 하중의 범위안에서 하중의 값을 변화하며 탄성계수를 산출하였다. 또한 FEM Solid 기본 모델로 Linear Elastic해석하였다. 해석을 통해 산정된 탄성계수는 표 5에 정리하였다.

유한요소해석 프로그램으로 산정된 기층재료의 탄성계수는 일반적인 쇠석기층의 탄성계수 300MPa(최준성 외, 2003)와 비교하였을때 다소 적은 값을 나타내지만 쇠석기층의 탄성계수 범위 69~690MPa(William, 1999)에 포함되며, 투수계수가 우수한 Wisconsin지역의 탄성계수가 70MPa로 가장 낮게 나타났다.

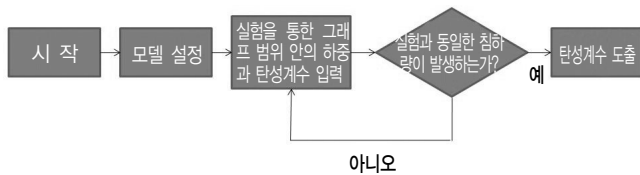


그림 17. 유한요소 해석의 흐름도

4.5.2. 기층재료별 포장수명 예측

일반적으로 아스팔트 포장에 소성변형과 피로균열 등에 의해 수명이 단축되고 침하가 발생한다. 본 연구에서는 다양한 기층의 탄성계수를 모사할 수 있는 유한요소해석을 통하여 기층재료별 포장수명변화를 예측하였다. 프로그램 해석에 사용된 아스팔트 포장층의 단면 및 물성은 표 6과 같고, 보조기층의 탄성계수는 실험을 통하여 도출된 4개의 탄성계수를 바꿔가며 해석하였다.

4.5.1. 유한요소 역해석을 통한 탄성계수의 도출

실내실험을 통한 결과의 오차를 줄이고 실제 기층과 가까운 탄성계수를 찾기 위해 유한요소해석 프로그램을 이용하여 검증하였다. 그림 18과 같이 실내실험과 동일한 3D모델을 만들고 실험을 통해 산정된 하중과 탄성계수를 프로그램 입력 물성치로 정한 후에 탄성계수의 범위를 반복적으로 변화하여 1.25mm의 침하량이 발생하는 탄성계수를 산정하였다. 경계조건으로는 측면과 하부면을 고정단으로 하여 실험과 동일한 조건을 주었으며, 하중조건 또한 해석결과로 정해진 각

표 6. AC포장층의 단면과 물성(임유진 외, 2009)

층종류	단면높이(cm)	탄성계수(MPa)	포아송 비
아스팔트표층	5	3,447.5	0.4
기층	10	205.9	0.38
보조기층	25	기층별 탄성계수	0.35
노상층	-	68.9	0.4

본 해석에 사용된 피로균열에 대한 파괴기준식을 식(3)에 나타내었다(Huang, 2004).

$$N_f = f_1(\epsilon_t)^{-f_2}(E_1)^{-f_3} \quad (3)$$

여기서, N_f : 파괴균열에 대한 허용하중 반복횟수

ϵ_t : 아스팔트 표층 하부에 생기는 인장변형률

E_1 : 아스팔트 표층의 탄성계수

f_1, f_2, f_3 : 실험실의 피로시험에 의해 결정되는 상수

해석에서 f_1, f_2, f_3 는 AI(Asphalt Institute)에서 제시한 값인 0.0796, 3.291, 0.85를 사용하였다. 또한, 영구변

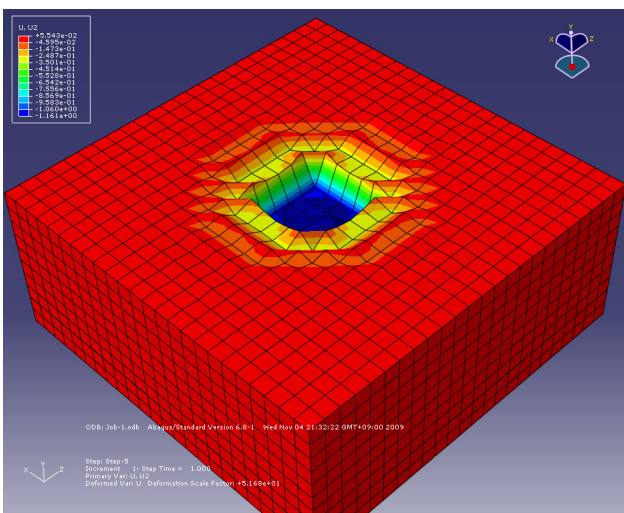


그림 18. 유한요소해석 모델

형의 파괴기준식은 식 (4)에 나타내고 있으며, f_4, f_5 는 AI에서 제시한 값인 1.365×10^{-9} , 4.477을 사용하였다.

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f_5} \quad (4)$$

여기서, N_d : 연구변형에 대한 허용하중 반복횟수
 ϵ_c : 노상층 상부의 압축변형률
 f_4, f_5 : 현장공용성에 의해 결정되는 상수

앞의 식 파괴균열에 대한 허용하중 반복횟수(N_f)의 결과를 표 7에 나타내었다.

표 7. 기층재료별 허용하중 반복횟수

구 분	SB-1	SB-2	Iowa	Wisconsin
연구변형에 대한 허용하중 반복횟수(EASL)	103,951	114,726	109,871	69,293

표 7에서 보여지는 바와 같이 일반적인 허용하중 반복횟수인 367,698회 보다 약 1/3 이상 값이 작게 나타났다. 현장의 다짐방법을 실내실험에 적용하기엔 한계가 있으므로 장비의 다짐방법에 의거하여 다짐을 실시한 결과 다소 값이 적게 난 것으로 판단된다. 하지만 값이 일반적인 횟수와 비교하였을 때 작게 나타났지만 기층재료별 다짐방법을 동일하게 적용하였으므로 상대비교는 가능하다고 판단된다. 기층재료별 허용하중의 반복횟수는 SB-2 기층재료의 반복회수가 114,726회로 가장 많았으며, 반복횟수가 가장 적은 Wisconsin과 비교하였을 때 약 45,400회 정도 차이가 나는 것으로 보아 투수계수 실험과는 반대로 잔골재의 입도비율이 큰 SB-2의 지지력이 우수하다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 산지도로의 상향침투수압현상으로 인한 파괴를 줄이기 위해 기층재료의 투수성과 지지력에 대하여 검토하였다. 사용된 기층재료는 국내 SB-1, SB-2층과 국외의 Iowa, Wisconsin지역으로 선정하여 기층재료별 투수시험과 평판재하시험을 통해 배수성 기층의 최적의 입도분포를 평가하고 각 기층에 대한 실험 결과를 비교·분석하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 굵은 골재의 함량이 높은 Wisconsin지역의 입도가 우수한 투수계수를 보였으며, 잔골재의 함유량이 높은 SB-2기층은 투수계수가 낮은 것을 확인하였다. 하지만 지중배수관을 보조기층 높이에 매설하였을 경우의 유한요소 해석

프로그램 결과, 보조기층 위로 지하수위가 상승하지 못하는 것을 확인하였다. 이를 통해 실험을 통한 4개의 기층재료는 지중배수관의 매설 시에는 모두 사용할 수 있다고 판단된다.

2. 국내 기층재료인 SB-1, SB-2 재료와 Iowa지역의 탄성계수가 상대적으로 높게 나타났다. 이에 반해 Wisconsin지역의 기층재료는 일반적인 기층의 탄성계수 범위에는 포함되나 값이 최저 값과 차이가 크지 않았다. 결과적으로 도로의 수명판단에도 영향을 미쳤지만, 그 범위가 작으므로 도로의 투수기층으로도 적합하다고 판단된다.
3. 위 결론을 종합하였을 때, 산지도로등과 같이 도로의 배수가 요구되는 도로포장은 Wisconsin지역의 입도분포를 기준으로 보조기층의 입도를 선정하거나 국내의 기층재료인 SB-1과 SB-2를 지중배수관과 함께 사용함으로써 지하수위의 상승을 억제시켜 상향침투수압의 발생을 줄이는 방법이 적절할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 # '08지역기술혁신 B-01)에 의해 수행된 연구결과의 일부로, 지원에 감사를 드립니다.

참고 문헌

건설교통부, "1999년 수자원관리기법 개발연구조사 연구보고서", 2000
 건설교통부, "한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구", 2007
 국토해양부, "수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼", 2007
 임영규, 윤찬영, 이승우(2010) "수치해석을 활용한 산지도로의 상향침투수압으로 인한 포장파손방지를 위한 포장기층종류 및 배수형태의 고찰", 한국도로학회 논문집, 제 12권 1호, pp. 1~8
 강상혁(2001) "GIS를 활용한 도시화의 평가 및 수해피해 경감을 위한 정보제공의 필요성에 관한 연구", 한국 GIS학회, 제 9권 (3), pp. pp. 413~423.
 김대상, 박성용, 김수일(2008) "평판재하시험을 이용한 지반반력계수와 변형률계수의 상관관계 평가", 한국지반공학회논문집, 제 24권 6호, pp. 57~67
 김동수, 서원석, 권기철(2005) "반복식 평판재하시험을 이용한 노상도의 현장 변형률계수 평가", 한국지반공학회논문집, 제 21권 6호, pp. 67~79
 김 승(1999) "이상기후에 따른 홍수관리대책", 자연과 문명의 조화, pp. 16~20
 김영목, "토질 및 기초", 성안당, 2002
 오세봉, 문종호, 김태경, 김윤기(2008) "불포화 지반특성 영향에 대한 강우시 사면붕괴의 사례 연구", 대한토목학회논문집, 제

28권 제3C호, pp. 167~178

임유진, 뉴엔티엔휴, 박재학(2009) "아스팔트 포장 하부구조가 경험하는 응력조건", *한국도로학회 학술대회 논문집*, pp. 641~646

이혜지, 이성진, 이승래(2005) "흙의 구조적 특성을 고려한 화강풍화토의 함수특성곡선 산정에 관한 연구", *대한토목학회논문집*, 제 25권 제 4C호, pp. 249~258

최준성, 조성호, 김수일(2003) "아스팔트포장의 경계층 영향에 대한 해석적 기초연구", *한국도로학회 학술발표회 논문집*, 제 5권, pp. 319~325

한국토지개발공사, "화강암질 풍화토의 기층 및 보조기층 이용방안 연구", 1991

Arpad Kezdi(1979) "*STABILIZED EARTH ROADS*", elsevier scientific publishing company

GEO-SLOPE(2001) "*SEEP/W for finite element seepage analysis*"

Yang H.Huang(2002) "*Pavement Analysis and Design*", Prentice Hall

William, G.W.(1999) "Backcalculation of pavement layers moduli using 3D nonlinear explicit finite element analysis", *M.Sc. Thesis*, West Virginia University, West Virginia, USA.

접 수 일 : 2010. 8. 16
 심 사 일 : 2010. 8. 24
 심사완료일 : 2011. 4. 7