

수치해석을 활용한 산지도로의 상향침투수압으로 인한 포장파손방지를 위한 포장기층종류 및 배수형태의 고찰

A Study on the Type of Pavement Base and Drainage in Mountain Road for the Prevention of the Pavement Damage by Uplift Water Pressure

임 영 규 Lim, Young Kyu
 윤 찬 영 Yune, Chan Young
 이 승 우 Lee, Seung Woo

정회원 · (주)동성엔지니어링 도로부 사원과정 (E-mail : zhwodd109@naver.com)
 비회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 (E-mail : yune@gwnu.ac.kr)
 정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

Construction of road closed to mountains is inevitable in Korea because the mountainous region in Korea is more than 70% in area. Recently, due to global warming, typhoons or heavy rainfalls frequently occur, and accordingly, mountain roads are seriously damaged by landslides, debris flows, and uplift pressure below pavement. In this study, damage on pavement by uplift pressure was investigated. Various influencing factors such as slope angle, reinforcement of slope surface, thickness of soil cover underlain by rock, and types of drainage system were considered to evaluate uplift pressure acting on the bottom of pavement. Raising of water table up to the surface of slope may depend on the duration and intensity of rainfall. It shows that the installation of subdrain can reduce the uplift water pressure. Therefore, It is concluded that the use of subdrain system is effective to decrease uplift pressure and cement treated base is more durable than typical crushed-stone base.

KEYWORDS

mountain road, uplift water pressure, ground water level, coefficient of permeability, drainpipe, cement treated base, rainfall intensity

요지

국토의 70% 이상이 산악지인 우리나라 지형적 특성 때문에 도로가 산지를 인접해서 건설되는 것이 불가피하다. 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. 본 연구에서는 이러한 산지 도로의 피해 중 상향침투수압에 의해 발생하는 포장의 들림 현상에 대하여 고찰하였다. 산지도로 주변의 다양한 특성을 고려하기 위하여 상향침투수압에 의해 포장파손이 발생한 지역특성에 대하여 사면의 경사각, 산지표면의 보강유무, 산지 경사면 토사층의 두께, 지중 배수관의 설치 유무에 따라 상향침투수압을 산정하였다. 분석 결과 상향침투수압은 현재 일반적으로 사용되고 있는 쇄석기층 위의 아스팔트포장 및 표면배수형식조건에서 5~10kPa 범위에서 발생하며, 사면경사각이 커짐에 따라 상향침투수압도 비례하여 커지는 것을 확인하였고, 사면의 표면을 보강 처리하지 않았을 경우의 상향침투수압은 작게 나타났다. 산지 경사면의 토사층의 두께는 지하수위가 산지표면까지 상승한 조건에서는 상향침투수압에 큰 영향은 없었으나, 지하수위가 산지표면까지 상승하는 것은 강우지속시간에 따라서 영향을 받는 점을 고려하면, 지중배수관의 설치는 도로 표층에 가해지는 상향침투수압을 효율적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 기층형식에 따른 상향침투수압에 대한 저항성 측면에서는 비 부착성인 쇄석기층보다 부착성인 안정처리기층이 지중이 증가하여 포장의 들림 현상을 방지하는데 유리하다고 판단되지만, 안정처리기층만으로는 상향침투수압에 견딜 수 없으므로 지중배수관 및 사면배수공법을 적용하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

핵심용어

산지도로, 상향침투수압, 지하수위, 투수계수, 지중배수관, 안정처리기층, 강우강도

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

국내산지는 일반적으로 암반위에 1~3m 이내의 얇은 토사층이 놓여있는 지질구조로 되어 있으며 토사층은 국내 지반에서 2/3 정도를 점하고 있는 화강풍화토로 구성되어 있다(한국토지개발공사, 1991). 화강풍화토는 세립분(75 μ m 이하)이 60% 이하이고 입도분포가 양호한 흙으로 자연 상태에서 대부분이 지하수위 이상에서 불포화 상태로 존재하고 있다(이혜지 등, 2005).

불포화 사면의 안정성은 강우와 지반조건에 크게 영향을 받는다. 즉, 지반특성과 강우조건에 따라 사면 내로의 강우침투특성이 상이하게 유발되며 포화도와 간극수압 분포에 영향을 끼치게 된다(오세봉 등, 2008). 최근 온난화에 따른 태풍과 집중 호우 시에 발생하는 강우가 침투특성을 상이하게 유발시켜 안정성에 크게 영향을 미치고 있으며, 강우가 지반속으로 스며들어 암반에 침투하지 못하고 경계면을 따라 흐르면서 산사태를 발생시키거나, 지하수위가 빠르게 상승하여 상향침투수압에 의한 피해를 발생시키고 있다. 그 결과 산지 도로에서는 그림 1과 같이 도로 하부층에서 받는 상향침투수압이 높아져 포장의 들림 현상이 발생하고 이로 인한 피해가 빈번히 발생하고 있다.



그림 1. 상향침투수압에 의한 포장들림파손(국토해양부, 2007)

따라서, 본 연구에서는 상향침투 시 포장 하부단면에서 발생하는 순수 상향침투수압의 크기를 산정하고, 상향침투수압으로 인한 포장파손을 최소화하기 위한 기층형태 및 배수 방법을 제안하며, 유한요소 해석 프로그램을 사용하여 포장의 안정성을 검토해 보는 데 중점을 두었다.

2. 산지도로의 상향침투수압 해석

2.1. 도로주변 산지사면 형상의 일반화

산지도로의 상향침투수압을 분석하기 위하여 그림 2의 사진과 같이 포장들림파손이 일어난 한계령 국도를 모델로 하여 그림 3처럼 총 높이 33m, 사면의 높이 18m, 도로의 폭 10m로 산지사면을 한계령 국도의 사면과 유사하게 가정하였으며, 본 연구에서는 절토사면에 대해서만 수치해석을 수행하였다.



그림 2. 한계령 국도

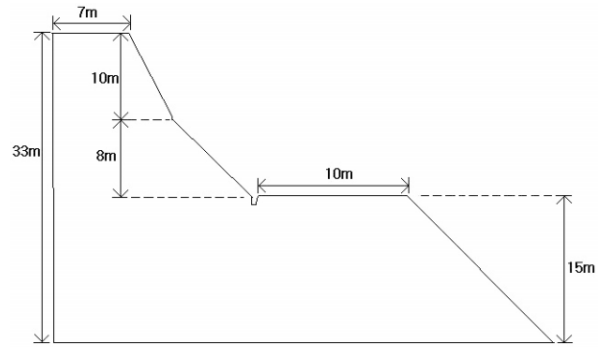
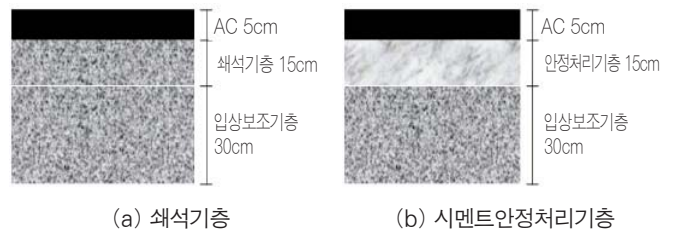


그림 3. 산지 단면도

포장단면은 그림 4와 같이 표층 5cm, 기층 15cm, 보조기층 30cm로 설정하였으며(한국형 포장설계법, 2007) 기층의 조건은 쇄석기층과 시멘트안정처리기층의 두 가지 경우로 가정하였다. 또한, 도로배수는 국내의 일반적인 표면배수의 경우를 기준으로 하였다.



(a) 쇄석기층

(b) 시멘트안정처리기층

그림 4. 포장단면

2.2. 상향침투수압의 산정방법

상향침투수압의 산정을 위해 사용한 프로그램인

SEEP/W(GEO-SLOPE, 2001)는 지하수의 흐름이나 간극수압의 소산을 계산하는 유한요소 해석 프로그램이며, 단순한 포화-정상류부터 복잡한 포화/불포화-시간변화흐름까지 해석이 가능하다.

본 연구에서는 순수 상향침투수압만을 계산하였으며, 경우에 의한 간극수압의 변화가 포장하부의 상향침투수압에 미치는 영향을 분석하기 위하여 지반의 물성치로써 화강풍화토에 대한 투수계수는 $1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 로 가정하였으며(김영목, 2002) 쇄석기층과 투수계수는 $1.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$, 입상보조기층의 투수계수는 $1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$, 암반층과 표층은 불투수층으로 가정하였다.

2.3. 사면 경사 및 사면 표면처리 방안에 따른 상향침투수압 해석 및 안정성 검토

2.3.1. 해석단면 가정

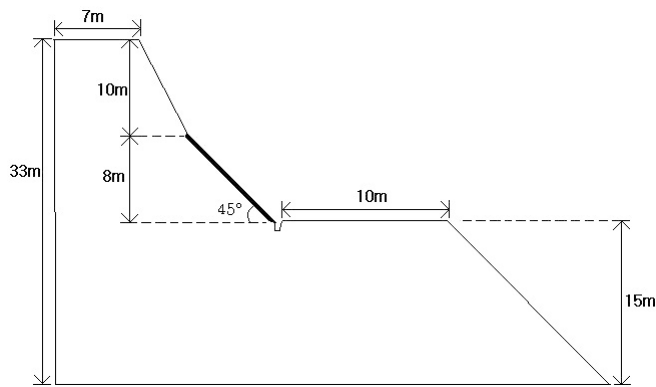
현재 국내에서는 다양한 비탈면 보강공법이 시공되고 있다. 본 연구에서는 앞서 가정된 그림 3과 같은 화강풍화토 지반의 동일조건하에서 그림 5(a)와 같이 사면을 불투수 표면처리한 경우를 가정하여 사면의 투수, 불투수 여부가 상향침투수압에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 그림 5(b)와

같이 사면 경사도를 90° 로 변화시켜 도로 옆 사면의 경사도가 상향침투수압에 미치는 영향도 함께 분석하였다. 이에 더하여 그림 5(c), (d)와 같이 불투수 표면처리면에 배수파이프를 설치하여 배수를 허용하였을 때의 분석도 추가로 수행하였다. 이때의 해석은 정류해석으로 토사층이 완전히 포화된 상태로 가정하였으며, 지하수위의 위치는 토사층의 상부이다.

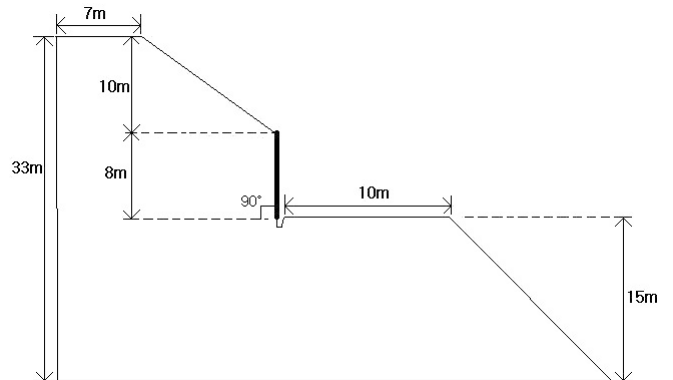
전체 해석 격자망은 그림 6과 같이 설정하였으며 포장기층은 일반적인 형태로 아스팔트 5cm, 쇄석기층 15cm, 쇄석보조기층 30cm 그리고 그 하부에서 부터 암반층까지 화강풍화토의 노상이 있는 것으로 가정하여 해석을 수행하였다.

2.3.2. 사면 경사 및 사면 표면처리에 따른 상향침투수압 해석 및 안정성 검토

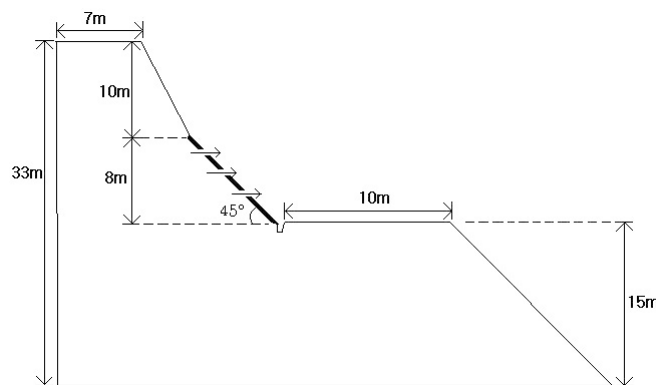
경사면 45° 조건에서 사면 표면의 투수 및 불투수 조건에 따른 포장표층에 가해지는 상향침투수압의 해석에 대한 결과는 그림 7과 같은 그래프로 나타내어진다. 횡방향축은 도로의 폭을 나타내었으며, 횡방향축의 원점은 도로와 경사면이 접하는 도로부를 의미한다. 그림 8에서 보여지는 바와 같이 배수가 원활하게 이루어지는 사면은 상향침투수압이 발생하



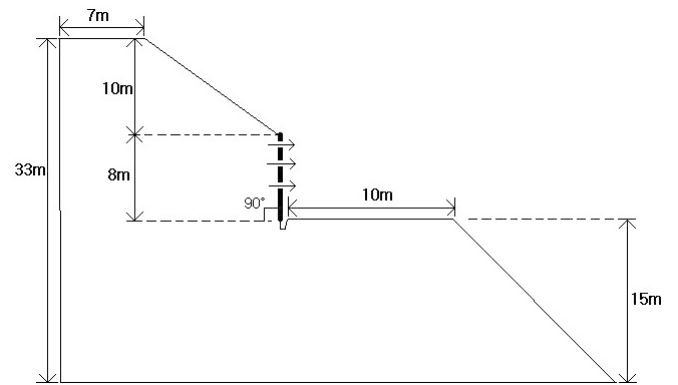
(a) 45° 경사면이 각각 투수층과 불투수층인 경우



(b) 90° 경사면이 불투수층인 경우



(c) 45° 경사면에 배수파이프를 삽입한 경우



(d) 90° 경사면에 배수파이프를 삽입한 경우

그림 5. 비탈면 보강공법 및 형상조건

지 않지만, 불투수성의 사면인 경우에는 상향침투수압이 발생하고 비탈면에 가까워질수록 증가하여 45°경사에서 최대 10kPa, 90°경사에서 최대 23kPa까지 증가한다. 또한 불투수성의 사면 비탈면에서 떨어진 도로 오른쪽 단부방향으로 점차적으로 상향침투수압이 감소한다. 이러한 해석결과로부터 도로 인접사면의 배수여부가 도로하부의 상향침투수압을 유발시키는 주된 원인이라는 것을 확인할 수 있다.

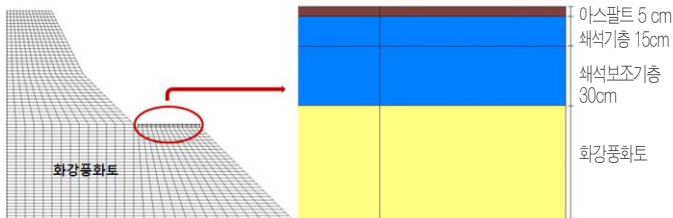


그림 6. 전체적인 해석 격자망

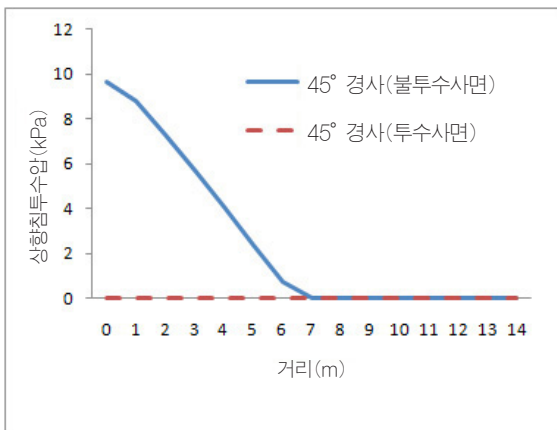


그림 7. 사면표면처리에 따른 비교

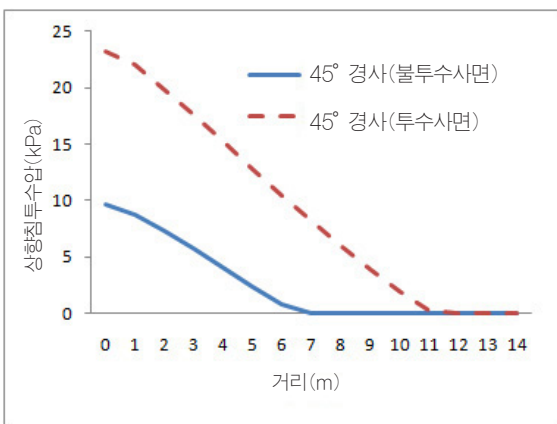
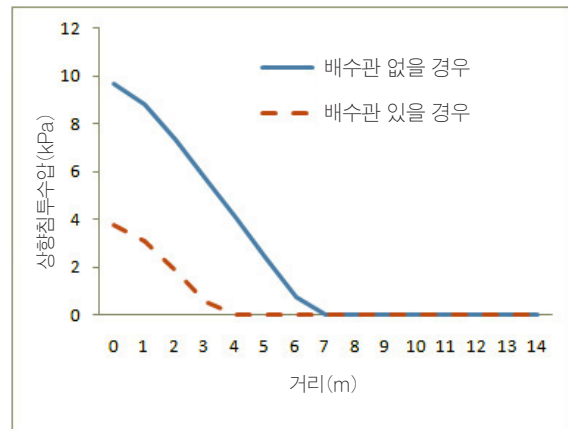


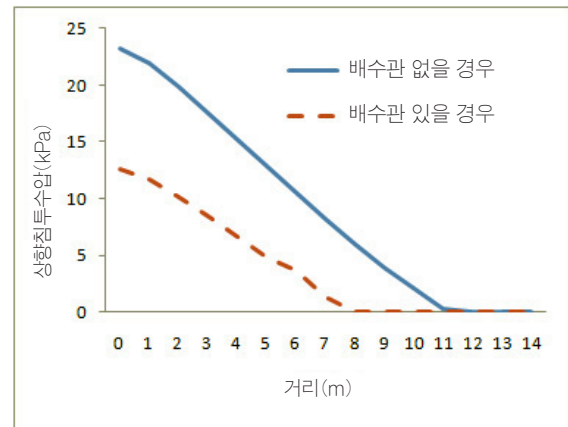
그림 8. 사면 경사에 따른 비교

불투수층사면 표면에 배수파이프를 삽입하였을 경우에는 그림 9와 같이 도로하부에서의 상향침투수압이 감소한다. 이 때 상향침투수압의 감소는 6~10kPa 정도였으며 감소율은 약 50% 정도로 나타나 도로 옆 사면의 비탈면 옹벽설치와 같

이 불투수성의 보강이 이루어질 때 배수파이프의 삽입과 같은 사면배수 대책의 수립이 매우 중요한 것으로 판단된다.



(a) 45° 사면의 배수파이프 설치에 따른 비교



(b) 90° 사면의 배수파이프 설치에 따른 비교

그림 9. 배수파이프 설치시 상향침투수압의 변화

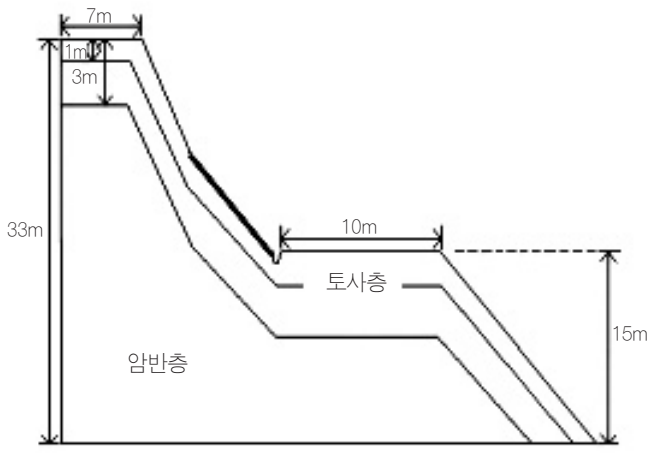
2.4. 산지사면 토사층 깊이가 상향침투수압에 미치는 효과 및 안정성 검토

2.4.1. 산지사면 토사층의 깊이

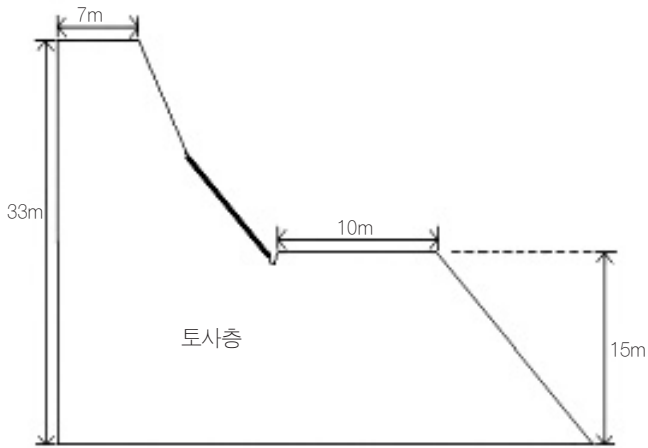
국내의 일반적인 산지의 토사층의 깊이는 지역별로 또한 동일지역에서도 위치별로 각기 다르나 평균적으로 1~3m 깊이로 존재한다. 본 연구에서는 그림 10(a)와 같이 토사층의 깊이가 1m 및 3m인 경우, 그리고 그림 10(b)와 같이 전체 지반이 토사층으로 이루어진 총 3가지 경우에 대한 해석을 통하여 토사층의 두께가 상향침투수압에 미치는 영향을 분석하였다.

2.4.2. 토사층 깊이별 상향침투수압 해석 및 안정성 검토

토사층 깊이에 따른 상향침투수압을 해석한 결과, 그림 11에서 보는 바와 같이 비탈면에 인접한 도로하부에서는 토사층의 두께가 두꺼워질수록 상향침투수압이 크게 나타났지만, 비탈면에서 멀어지면 오히려 반대로 토사층의 두께가 얇아질



(a) 암반층 위에 1~3m의 토사층이 존재



(b) 토사층만 존재

그림 10. 토사층의 깊이별 단면형상

수목 상향침투수압이 크게 나타났다. 비탈면 인접부위에서는 토사층이 두꺼울수록 지반내로 흐르는 침투수량이 많고 침투수압도 커지지만, 반대로 비탈면에서 멀어지면 토사층이 두꺼울수록 배수면이 넓어지므로 배수가 원활히 일어나 침투수압이 작아지는 효과를 발생시킨다. 또한, 세 가지 조건의 상

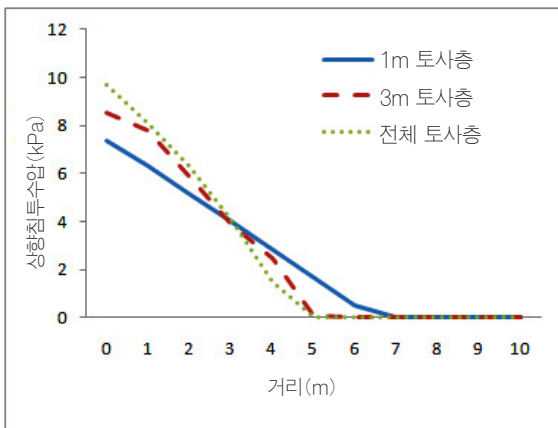


그림 11. 토사층 깊이에 따른 상향침투수압 비교

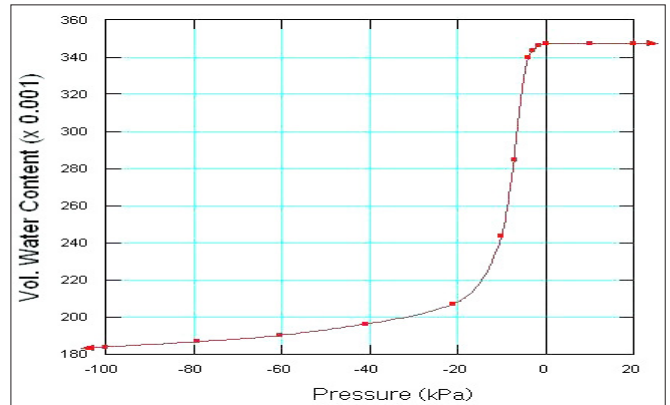
향침투수압의 차이가 크게 나타나지 않는 것으로 보아, 산지 도로의 설계 시 토사층의 깊이가 최대 상향침투수압에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단되지만 강우강도에 따라서 최대 상향침투수압에 도달하는 시간은 달라질 수 있으므로 이에 대한 추가적 분석이 필요하다. 이에 2.4.3절과 같이 시간변화를 고려한 추가 해석을 실시하였다.

2.4.3. 불포화토의 지하수위 상승변화

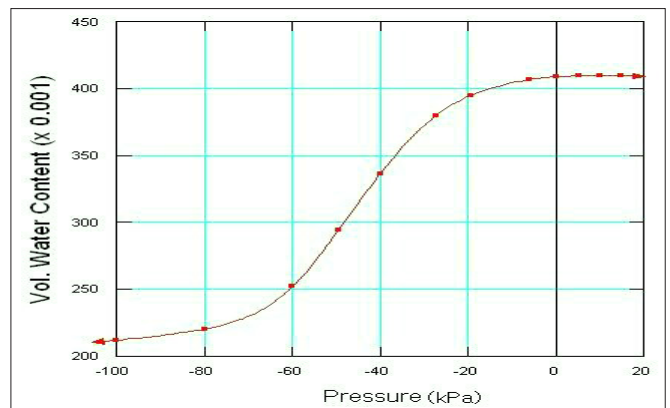
그림 1의 포장들림 파손은 2006년도 7월 집중호우로 인하여 인제군에서 발생한 사례를 예로 보인 것이다. 2006년 7월 15일 집중호우 당시의 기상청자료를 토대로 산정된 인제군의 일 강우량은 202mm였다. 이는 인제군에서 1965년 이후 4번째로 큰 강우였으며, 총 피해액 4,565억원의 큰 손실을 가져왔다. 2007년 7월 집중호우를 모사하기 위하여 당시의 일 강우량 202mm를 기상청 자료를 토대로 부정류(Transient) 해석을 실시하였으며 이때 해석에 적용된 지반의 함수특성곡선은 그림 12와 같다.

해석 시 지하수위는 암반층 위에 위치하며 강우의 입력은 경사면의 상부지역에 위치한다고 가정하였다.

토사층의 깊이가 3m인 경우 포장하부 지반이 완전히 포화되고 최대 상향침투수압이 발현되기까지는 약 4일 정도의 시

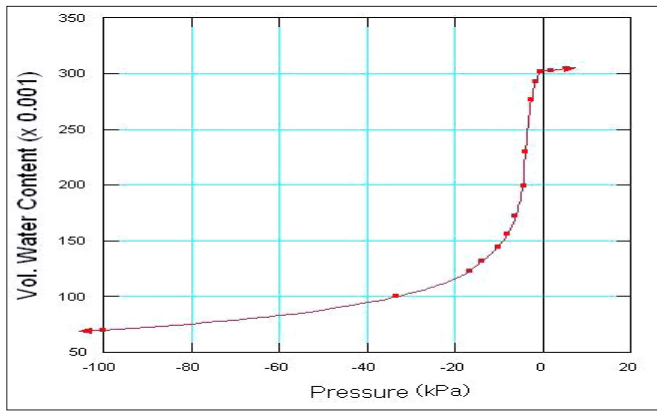


(a) 화강풍화토의 함수특성곡선

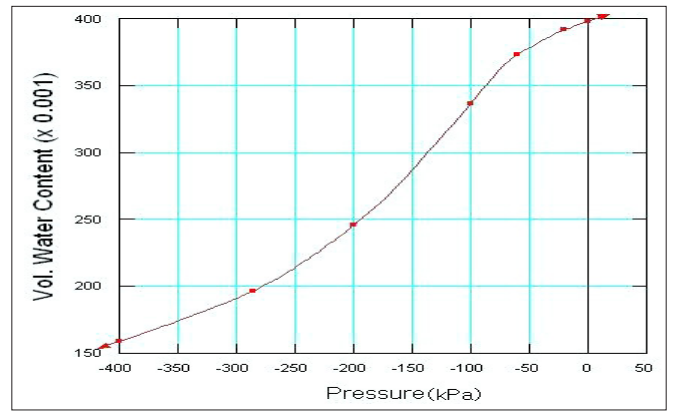


(b) 암반의 함수특성곡선

<그림 계속>

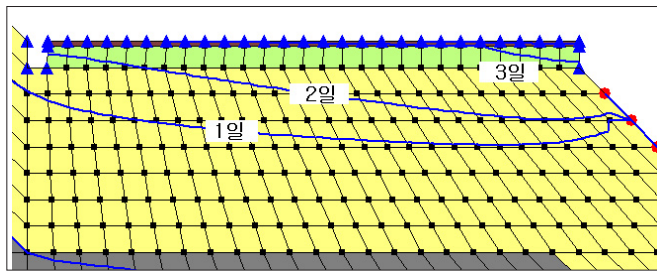


(c) 쇄석의 함수특성곡선

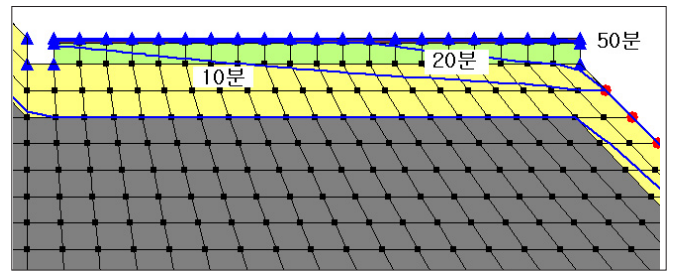


(d) 아스팔트의 함수특성곡선

그림 12. 함수특성곡선(Geo-Slope, 2001)



(a) 토사층 깊이 3m일 경우 포장하부의 지하수위 변화



(b) 토사층 깊이 1m일 경우 포장하부의 지하수위 변화

그림 13. 포장하부의 지하수위 변화

간이 걸리는 것으로 나타났다(그림 13-a). 반면에 토사층의 깊이가 1m인 경우에는 1시간만에 포장하부지반이 포화되고 최대 상향침투수압이 나타난다(그림 13-b). 따라서 토사층의 깊이가 비록 최대 상향침투수압 자체에는 큰 영향을 주지 못하지만 최대 상향침투수압 발현시간에는 큰 영향을 미치므로 도로설계시 토사층의 두께도 중요한 고려요인으로 삼아야 한다. 2002년 루사 당시 일 최고 강우량을 기록한 강릉의 870mm를 고려하였을 경우에는 3m 토사층이 존재하는 사면도 하루이내에 포화되는 것을 확인하였다.

또한 그림 14와 같이 인제군의 확률강우량을 통하여 IDF

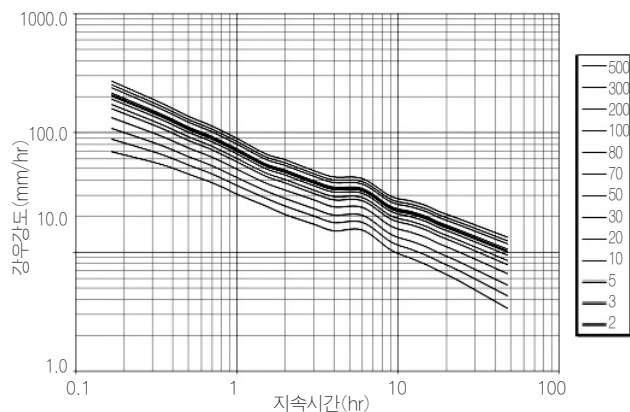


그림 14. 인제군의 IDF곡선(건설교통부, 2000)

곡선을 그려 본 결과 일강우량 202mm는 5년에 한번 일어날 수 있는 확률강우임을 확인하였다. 현재 온난화에 따른 기상이변을 고려한다면 포장설계 시 산지사면의 토층의 깊이에 따라 배수방법의 선택이 신중히 이루어져야 한다고 판단된다.

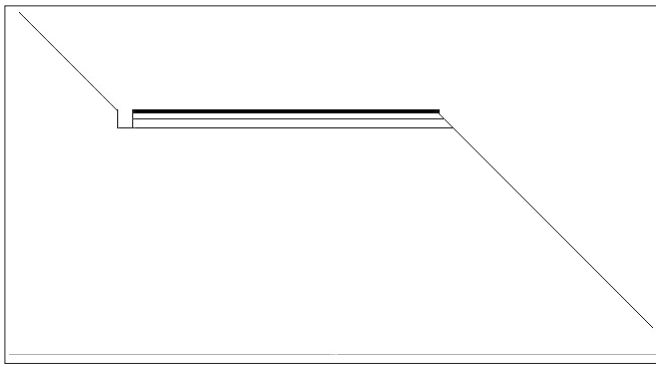
2.5. 지중배수방법에 따른 상향침투수압 해석 및 안정성 검토

2.5.1. 지중배수방법에 따른 분류

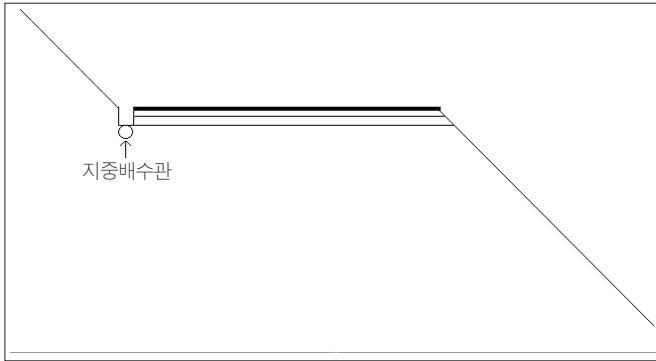
지중배수방법에 따른 상향침투수압의 효과를 확인하기 위하여 지중배수관의 깊이를 변화시켜가면서 해석을 수행하였다. 이 때 지중배수관의 깊이는 그림 15와 같이 쇄석 보조기층 아래로 각각 0m, 0.5m의 두 가지로 결정하였으며, 추가로 지중배수관이 없는 경우에 대해서도 고찰하였다.

2.5.2. 지중배수방법에 따른 상향침투수압 해석 및 안정성 검토

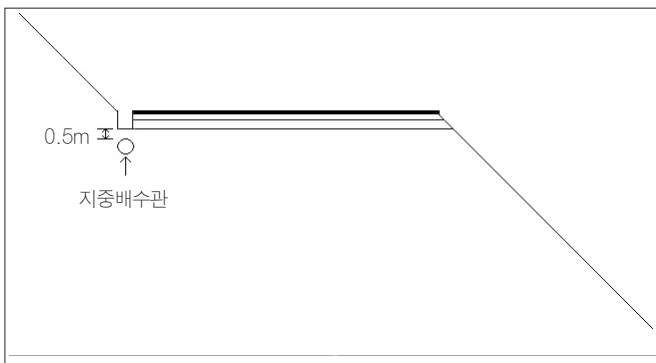
지중배수방법에 따른 상향침투수압을 해석한 결과, 지중배수관의 유·무에 따라 지하수위의 변동도 크게 나타났다. 그림 16에서 보는 것과 같이 지중배수관이 존재하지 않을 경우의 수압은 10kPa정도로 나타났지만 지중배수관의 깊이가 0m일 경우와 0.5m일 경우 수압은 모두 0kPa로 내려갔다. 단,



(a) 지중배수관이 없는 경우



(b) 보조기층 0m 아래 지중배수관 설치



(c) 보조기층 0.5m 아래 지중배수관 설치

그림 15. 유공관 깊이에 따른 배수 단면형상

이 때 지중배수관의 배수용량은 고려되지 않았으므로 실제 발생하는 상향침투수압은 해석결과보다 증가할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 해석결과 지중배수관과 쇄석층에서의 배수로 설치가 매우 효과적이며 도로하부의 상향침투수압 감소에 중요한 역할을 한다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 향후 산지도로 설계 시 사면의 배수공 설치 및 보조기층 하부의 지중배수관의 설치에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

2.6. 쇄석기층과 안정처리기층의 비교

앞서 그림 4에서 나타냈던 것과 같이 기층을 쇄석층과 안정처리기층으로 나누어 두 가지 조건에서 해석을 수행하였다. 이때의 상향침투수압의 계산위치는 쇄석층의 경우 표층의 하단부이며, 안정처리기층의 경우 안정처리기층의 하단부에서 계산하였다. 그림 17의 해석결과에서 볼 수 있는 것과 같이 쇄석기층이 안정처리기층보다 2~3kPa(약 20%)정도 상향침투수압이 적은 것으로 나타났다. 쇄석기층의 두께가 두꺼울수록 배수단면적이 커져 배수가 원활히 일어나 포장하부에 적은 상향침투수압이 작용하지만, 안정처리기층일 경우 포장의 자중에 안정처리기층의 자중이 포함되어 자중이 증가하게 되므로, 실제 포장면의 안정성은 큰 차이가 없을 것으로 판단된다.

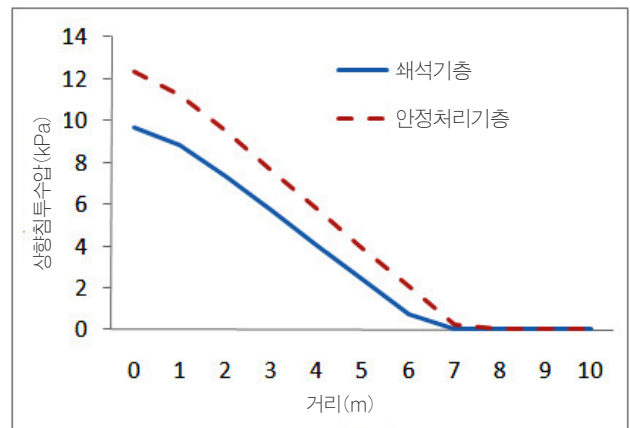


그림 17. 쇄석층과 안정처리기층의 비교

쇄석기층과 안정처리기층의 안정성을 정량적으로 평가하기 위하여 다음 표 1과 같이 안전율을 산정하였다. 이 때 쇄석기층과 안정처리기층의 안전율 산정을 위한 포장면의 자중과 상향침투수압을 함께 정리하였다. 여기서 안전율 산정을 위한 상향침투수압은 사면측의 최대값을 이용하였다.

표 1. 자중 및 최대상향침투수압

자중(kPa)	상향침투수압(kPa)		안전율	
아스팔트	1.157	쇄석기층	9.67	0.12
안정처리기층	3.53	안정처리기층	12.33	0.38

(1kPa = 0.0101976kgf/cm²)

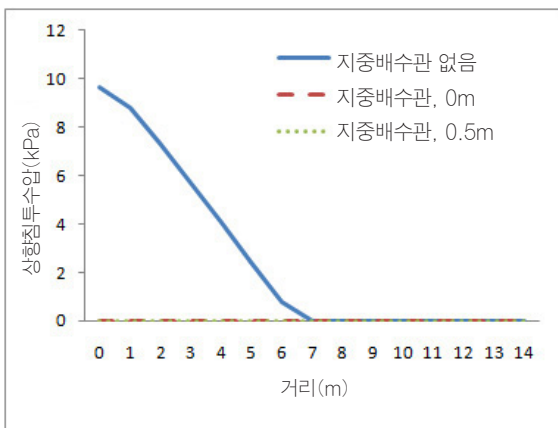


그림 16. 지중배수관 설치에 따른 비교

표 1에서 볼 수 있는 것과 같이 아스팔트와 안정처리기층 모두 안전율이 1 이하로 최대의 상향침투수압이 작용하는 사면 인접부에서는 안전하지 못한 것으로 나타났다. 하지만 상향침투수압이 더 크게 작용하는 안정처리기층의 안전율이 오히려 쇄석기층에 비하여 3배 이상 크게 나타났다. 이러한 분석 결과로부터 안정처리기층이 상향침투수압에 대한 안전율이 높지만 안정처리기층만으로는 상향침투수압에 대한 안정성이 확보되었다고 볼 수 없으므로 지중배수관 및 사면 배수공법 등을 함께 적용하여야 할 것으로 판단된다.

3. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 산지도로에서 많이 발생하는 상향침투수압에 의한 포장 들뜸현상에 대하여 연구하였다. 사면 경사 및 사면표면처리방안에 따른 상향침투수압 해석과 토사층 깊이가 상향침투수압에 미치는 효과, 배수 방법에 따른 상향침투수압의 변화를 분석하고 쇄석기층과 안정처리기층일 경우에 대하여 비교·분석하였다.

본 연구에서는 수치해석상에 지반 물성을 대표값으로 산정하였기 때문에 상승침투수압에 대한 예측결과가 제한적인 면은 있으나, 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 유한요소 해석프로그램을 통하여 상향침투수압을 해석한 결과, 산지 경사면에 인접한 도로에서 최대상향침투수압이 발생하였으나, 도로 단부쪽방향으로 점차 상향침투수압이 감소함을 확인하였다. 따라서 현재 빈번히 발생하는 포장의 들뜸 현상은 최초 비탈면에 가까운 도로 하부층에서부터 발생하며 이후 나머지 포장에서 2차 파손이 발생한 것으로 판단된다.
- (2) 도로 절토부 인접사면의 배수여부가 도로하부의 상향침투수압을 유발시키는 주된 원인인 것으로 나타났다. 또한 불투수성의 사면인 경우 사면 경사가 급할수록 상향침투수압도 증가하는 것으로 나타났다. 사면의 토사층 깊이는 최대 상향침투수압 자체에는 큰 영향을 주지 못하지만 토사층의 깊이가 깊어질 수록 최대 상향침투수압 발현시간이 증가하여 토사층의 깊이가 최대 상향침투수압 발현시간에는 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- (3) 도로포장의 상향침투수압에 대한 대책으로 불투수 사면에 대한 배수공과 사면 인접부 도로하부에 지중배수관을 설치했을 때 상향침투수압이 효과적으로 감소함을 확인하였다. 또한, 쇄석기층보다 안정처리기층의 상향침투수압이 더 크지만 안전율은 안정처리기층이 더 크게 나타난다. 하지만 안전율만으로는 상향침투수압에 대한 안정성을 판단할수 없으므로, 향후 산지도로의 포

장 설계시 안정처리기층과 함께 사면 배수공 및 지중배수관을 설치하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

하지만 본 연구에서는 지중배수관의 배수용량이 무한하고, 배수층의 막힘이 없다고 가정하였으므로 향후 실제 현장적용을 위해서는 심도있는 연구가 추가되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

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

참고 문헌

- 강상혁, 최종인, 박종영, 2007, “산지하천의 집중강우에 따른 유출 특성에 관한 연구”, *한국GIS학회*, Vol. 15, No.2, 159~167
- 건설교통부, 2000, “1999년 수자원관리기법 개발연구조사 연구보고서”
- 건설교통부, 2007, “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”
- 국토해양부, 2007, “수해 예방을 위한 산악지 도로설계 매뉴얼”
- 김영목, 2002, “토질 및 기초”, 성안당
- 김영철, 문승의, 김경식, 김덕완, 박은영, 1999, “우리나라의 도시별 강우강도 변화 특성 분석”, *한국기상학회 가을 학술발표회*, 323~325
- 배선학, 2007, “2006년 인제군 집중호우의 원인 분석”, *한국지역지리학회지*, 제 13권 제4호, 396~408
- 양해근, 박 경, 2008, “2006년 7월 집중호우로 인한 오색천 유역의 토석류 발생과 그 특성”, *한국지형학회지*, 제 15권 제 2호, 25~35
- 오세봉, 문중호, 김태경, 김윤기, 2008, “불포화 지반특성 영향에 대한 강우시 사면붕괴의 사례 연구”, *대한토목학회논문집*, 제 28권 제3호, 167~178
- 이정규, 추현재, 2006, “Huff의 4분위법을 이용한 지속기간별 연최대치 강우의 시간분포 특성연구” *대한토목학회논문집*, 제 26권 제 5B호, 519~528
- 이혜지, 이성진, 이승래, 2005, “흙의 구조적 특성을 고려한 화강풍화토의 함수특성곡선 산정에 관한 연구”, *대한토목학회논문집*, 제 25권 제 4C호, 249~258
- 최영진, 문자연, 2000, “한국의 여름철 일 강우강도 변화 경향”, *한국기상학회 가을 학술발표회*, 339~341
- 한국토지개발공사, 1991, “화강암질 풍화토의 기층 및 보조기층 이용방안 연구”
- 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

접 수 일 : 2009. 5. 25
 심 사 일 : 2009. 5. 27
 심사완료일 : 2010. 2. 25