

혼합비를 고려한 쇄석매트의 수리특성

Hydraulic Characteristics of Crushed Stone Mat Considering Mixed Ratio

이준현¹⁾, Jun-Hun Lee, 채창우¹⁾, Chang-Woo Chae, 이주형¹⁾, Ju-Hyeong Lee, 이명구¹⁾, myung-goo Lee, 임성윤²⁾, Seong-Yoon Lim, 최영철²⁾, Young-Chul Choi, 송창섭³⁾, Chang-Seob Song

¹⁾ 충북대학교 지역건설공학과 석사과정, The master course, Dept. of Rural Engineering, Chungbuk National Univ.

²⁾ 한국도로공사 도로교통연구원, Geotechnical Research Team, Expressway & Transportation Research Institute, Korea Expressway Corporation.

³⁾ 충북대학교 지역건설공학과 교수, Professor, Dept. of Rural Engineering, Chungbuk National Univ.

SYNOPSIS : In this study, in order to examine the hydraulic characteristics for a crushed stone mat. it was accomplished discharge capacity test and soil-water characteristic curve(SWCC) with the object of the research.

From the test result, it produced propriety mixed ratio of the crushed stone which mixes the sand. at the time of crushed stone 100% where it does not mixes the sand it appeared that permeability was biggest. increase of shock and content of the sand showed decrease of air entry value.

Keywords : crushed stone, mixing ratio, discharge capacity

1. 서 론

평지에 비해 산지가 많고 좁은 국토면적과 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 경제성장과 산업의 발전으로 국토확장 및 기간사업 구조물의 부지조성 등에 따른 서·남해안에 준설, 매립사업이 증가되고 실정이다.

국내에서는 연약지반개량공법으로 Sand Drain(SD), Plastic Drain Board(PDB), 천연섬유배수재(FDB)를 가장 많이 사용하고 있다. 이 공법들은 기능적인 면에서 상당한 효과를 보임에도 불구하고 해사의 준설로 인한 환경파괴, 어업권 문제, 등 사회적 저항으로 인한 수급불균형, 모래 단가의 상승, Clogging 현상 및 환경적 제약성 때문에 이를 대신할 수 있는 경제적이고 친환경적인 대체 재료의 필요성이 대두되고 있다.

쇄석골재를 사용함에 있어서 기존 재료(모래 및 해사)의 압밀수의 배수, 지하수 상승 차단 및 시공장비의 주행성 확보를 위한 지지층 역할 등을 대신할 수 있다고 학자들이 연구를 해왔으나, 연약지반 침하 시 나타날 수 있는 포화, 불포화 토질역학적인 접근 및 간극수압 차이에 의한 배수 상태 등에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 연약지반 수평배수재로 사용되고 있는 쇄석골재에 해사를 혼합하여 적정 혼합비를 산출, 쇄석골재와 해사의 물리적 시험, 통수능 시험을 통한 쇄석매트의 입도분포 산정, 투수계수 등을 도출하고 불포화 시험을 통하여 쇄석매트의 수리특성을 분석 하였다.

2. 재료 선정 및 방법

2.1 재료 선정

2.1.1 국내 쇄석매트의 규정

쇄석매트 포설은 주행성 확보 및 간극수의 배수로 유지목적에 적합한 재료를 사용하여야 하며, 배수 거리가 길거나 투수성이 불량한 재료를 사용할 경우에는 지하배수공이나 범면 끝부분에 쇄석 등을 이용한 필터층을 설치하여야 한다. 또한, 비교적 투수성이 좋지 않는 재료일 경우에는 지하배수공의 간격을 좁혀 사용하여야 한다. 표 1.은 국내 현장에서 적요되는 쇄석매트 기준을 나타낸 것이다.

표 1. 국내 쇄석매트의 규정

	최대 치수	D_{15}		D_{85}		0.08 mm 통과량	투수계수 (cm/sec)	비고
A 현장 품질기준	40.0mm 이하	6.0 ~ 16.0 mm		20.0 ~ 37.0 mm		3% 이하	1.0×10^{-3} 이상	
B 현장 품질기준	25.0mm 이하	5.0 ~ 10.0 mm		19.0 ~ 25.0 mm		1.5% 이하	1.0×10^{-3} 이상	마모 : 40 이하
C 현장 품질기준	25.0mm	25.0 mm 통과량(%)	13.0 mm 통과량(%)	4.75 mm 통과량(%)	13.0 mm 통과량(%)		5.0×10^{-2} 이상	
		95 ~ 100	25 ~ 70	0 ~ 10	0 ~ 5			

2.1.2 쇄석 및 모래

쇄석은 경상남도 지역에서 채취한 시료로 굵은골재 최대치수 25mm를 사용하였으며, D_{15} 는 9.5%, D_{85} 는 17.5%으로 쇄석매트용 쇄석 기준을 벗어나지 않지 않는 것으로 나타났다. 두 재료에 대한 물리적 특성은 다음 표 2.1과 같으며 시험에 사용된 쇄석 및 해사는 균등계수와 곡률계수에서 볼 수 있듯이 균 등함을 알 수 있다.(그림. 2.1)

표 2 재료의 물성 값

Material	USCS	Gravity	D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_u
Crushed Stone	GP	2.68	8.57	12.33	15.5	1.81
Sand	SP	2.66	0.27	0.43	0.6	2.33

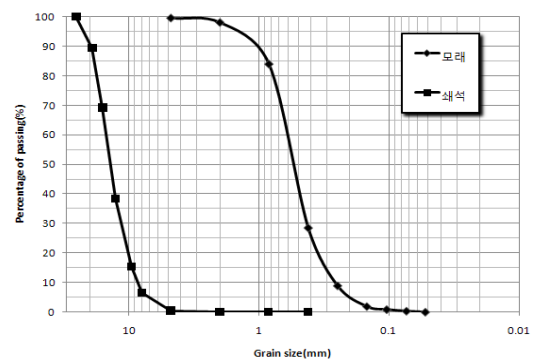


그림 1 재료의 입도분포 곡선

2.2 시험방법

2.2.1 최대 및 최소 밀도시험

현재까지 최대 및 최소 밀도를 산정하는 방법들이 많이 연구되어 실험법이 매우 다양하나 실험방법에

따라 차이가 크며 아직까지 시험방법이 표준화되지 않았다. 국내의 한국공업규격(2004)에 규정된 방법은 ASTM에서 1969년에 정한 방법(ASTM D2049-69)과 거의 유사하다. 최대 밀도를 결정하는 방법은 대표적으로 시료자체에 진동을 가하거나 일정 높이에서 낙하 시키는 방법 등이 있으나, 본 시험에서는 상하진동방식으로 에너지를 가하는 ASTM 방법보다 수평타격으로 에너지를 가하는 Bowles 방법이 더 큰 값을 준다고 하여(권,1986) 수평타격 방식으로 시험을 수행하였다. 최대 밀도를 결정하기 위해서 $\varnothing 150 \times 350\text{mm}$ 의 몰드에 건조시료를 넣고 고무망치(0.62kg) 두 개로 느슨한상태, 보통상태 및 조밀한상태를 모사하기 위해 각각 50회, 250회, 500회 수평 타격을 실시한 후 무게를 측정하였다.

2.2.2 시료의 혼합비

최대 밀도 시험에서 얻은 각각의 무게를 중량비로 나눈 후 쇄석100%, 쇄석90%+모래10%, 쇄석80%+모래20%, 쇄석70%+모래30%, 쇄석60%+모래40%, 쇄석50%+모래50%, 쇄석40%+모래60%, 쇄석30%+모래70%, 쇄석20%+모래80%, 쇄석10%+모래90%, 모래100%의 방식으로 혼합하여 시험을 실시하였다. 또한 혼합되는 두 재료의 비중차이로 인한 분리현상을 최소한으로 줄이기 위하여 쇄석을 먼저 넣고 모래를 넣은 후 수평타격을 하는 방식으로 3층에 걸쳐 실시하였다.

표 3 시료의 중량비에 따른 무게 (단위:kg)

(%)	모래	쇄석	모래	쇄석	모래	쇄석
	느슨한상태	느슨한상태	보통상태	보통상태	조밀한상태	조밀한상태
100	8.67	8.21	9.91	9.24	10.14	9.7
90	7.80	7.39	8.92	8.32	9.13	8.73
80	6.94	6.57	7.93	7.39	8.11	7.76
70	6.07	5.75	6.94	6.47	7.10	6.79
60	5.20	4.93	5.95	5.54	6.08	5.82
50	4.34	4.11	4.96	4.62	5.07	4.85
40	3.47	3.28	3.96	3.70	4.06	3.88
30	2.60	2.46	2.97	2.77	3.04	2.91
20	1.73	1.64	1.98	1.85	2.03	1.94
10	0.87	0.82	0.99	0.92	1.01	0.97

2.2.3 통수능 시험

각각의 상태로 혼합된 시료를 포화시킨 후 0kPa, 150kPa, 300kPa의 압력 주어 통수능력을 평가하였다. 통수능력은 Oostveen 등(1990)이 제안한 식(1)에 의해서 평가될 수 있으며, 배수재의 투수계수 k_w 는 식(2)에 의해서 구하였다.

$$Q_w = \frac{Q}{i} = k \cdot A \quad (1)$$

$$k_w = \frac{Q_w}{A} \quad (2)$$

2.2.4 불포화 시험

공시체를 성형한 후, 셀의 상부에 있는 세라믹 디스크와 잘 접촉되도록 세심한 주의를 기울여 설치하

였다. 이 때 하부의 측정 셀은 사전에 내부에 공기가 없도록 물로 충전 시켰다. 셀과 공시체의 접촉을 확인한 후, 튜브를 통하여 하부로부터 물을 공급하면서 포화시켰다. 이 때 흡의 체적과 함수비는 계산된 결과를 바탕으로 함수비의 변화를 고려하여 공급될 수량을 사전에 계측하여 결정하였다. 뷰렛의 눈금을 통하여 공급된 수량이 충분히 포화된 것으로 나타나면 시험을 시작하였으며, 정해진 흡인력이 되도록 상부에서 공기압을 조절하면서 뷰렛의 눈금변화를 평형상태에 도달할 때까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 쇄석+모래의 입도분포

쇄석과 모래 각각의 상태에 따른 입도분포는 그림2~4와 같다. 모래의 함량이 증가 할수록 균등계수 및 곡률계수에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다짐상태가 느슨한 경우 모래의 혼합비가 적을수록 균등 및 곡률계수에 미치는 영향이 작은 반면, 혼합비가 증가함에 따라 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다짐상태가 보통과 조밀한 경우 모래의 혼합비가 적은 경우에도 균등 및 곡률계수에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

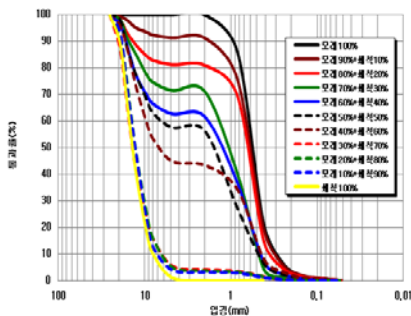


그림 2 느슨한상태

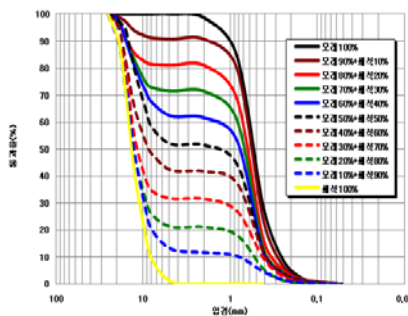


그림 3 보통상태

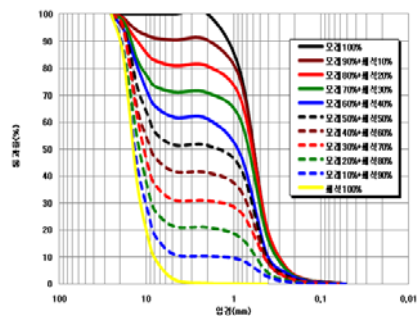


그림 4 조밀한상태

3.2 배수능력 시험

본 시험은 다짐상태를 조절하여 통수압력에 따른 투수계수를 도출하였다. 그림 5 ~그림 7에서 볼 수 있듯이 다짐상태가 조밀할수록 투수계수가 전반적으로 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 다짐상태가 일정할 경우 통수압력이 증가함에 따라 투수계수가 증가하는 것으로 나타났다. 쇄석 100%일 경우가 투수계수가 가장 큰 것으로 나타났다.

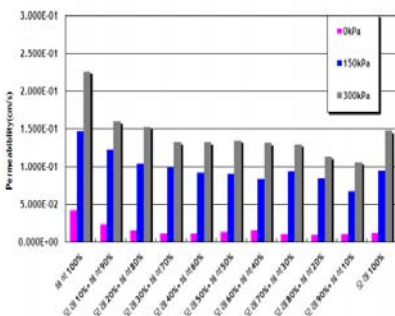


그림 5 느슨한상태

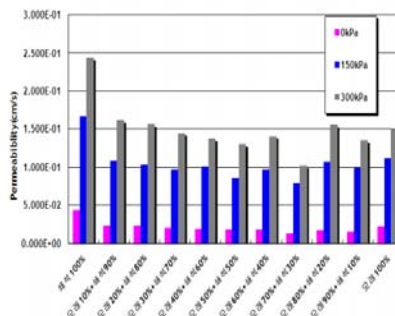


그림 6 보통상태

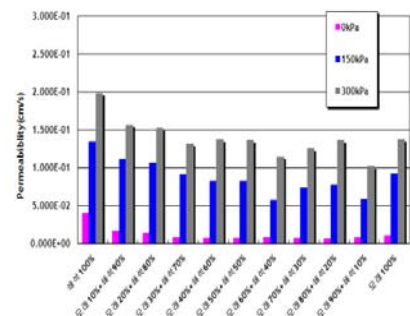


그림 7 조밀한상태

3.3 불포화 시험

선정된 시료중 모래 30%+쇄석 70%, 모래 50%+쇄석 50%, 모래 70%+쇄석 30%에 대하여 흡-수분 특성시험을 실시하였다. 개조된 압력조절장치(Pressure Plate Apparatus)를 사용하여, 10단계로 공기압을 변화시키면서 측정된 수분의 이동량을 바탕으로 각 시료의 체적 함수비를 분석하여 흡-수분 특성곡선을 도출하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

3.3.1 흡인력에 따른 체적함수비의 변화

함수비는 흡의 수분상태를 중량개념으로 표시하고, 포화도는 부피개념으로 나타내기 때문에 흡 속에 함유되는 수분상태를 명확하게 나타내기 위해서는 이러한 양자의 관계를 전부 포함하여야 할 것이다. 따라서, 흡의 수분상태를 무게와 부피의 개념을 동시에 고려하여 나타내기 위하여 체적함수비로 도시하여야 한다.

시료의 흡인력에 따른 체적함수비를 도시하면 그림 8~그림 10과 같다. 함수비로 나타내면 흡인력이 큰 경우에는 구분이 명확하지 못하고, 포화도로 표시하면 포화상태 부근의 차이를 구분하기 어려운 단점을 가지고 있다. 그러나, 체적함수비로 나타내면 이러한 단점을 보완하여 흡인력의 변화에 따른 수분상태를 보다 명확하게 구분할 수 있는 장점이 있다.

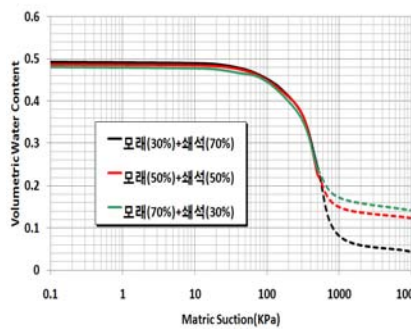


그림 8 느슨한상태

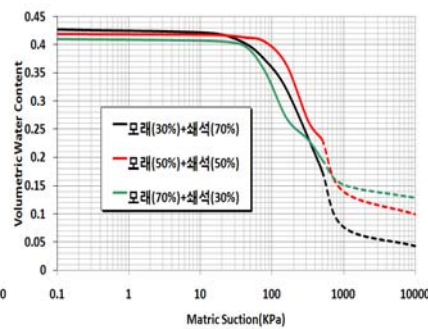


그림 9 보통상태

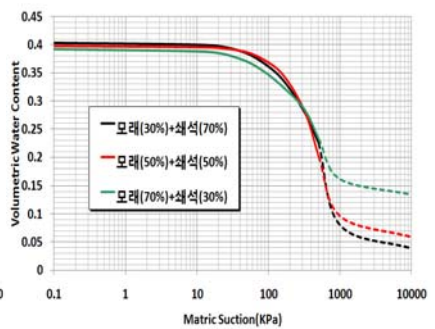


그림 10 조밀한상태

3.3.2 혼합비에 따른 공기함입저항치

포화된 흡은 어떠한 외부 압력 또는 자중에 의해 함수비가 낮아지면서 점차적으로 불포화 상태로 변화해간다. 포화에서 불포화로 진행되는 임계의 압력 값을 공기함입저항치라고 한다. 따라서 공기함입저항치는 불포화토 해석에 있어 가장 중요한 값이라 할 수 있다. 연약지반에서 압밀이 진행되면서 과잉간극수압이 발생하며 이로 인하여 수평배수재를 통하여 물이 배출된다. 하지만 압밀도가 점점 커지면서 간극수압이 작아지게 되면 이로 인하여 수평배수재를 통하여 물이 배수가 되지 않는다. 따라서 간극수압이 작아져도 물이 수평배수재를 통하여 물이 배출될 수 있도록 하여야 한다.

다짐상태에 따른 공기함입저항치는 표 4와 같다. 다짐상태가 조밀할수록 공기함입저항치는 감소하는 경향을 보이고 있었으며, 모래의 함유량이 많을수록 감소하는 것으로 나타났다. 공기함입저항치가 크다는 것은 포화상태에서 불포화 상태로 변화할 때 압력이 크게 작용해야 한다는 것을 의미한다. 불포화 상태에서는 쇄석매트가 수평배수재로서의 물을 배출시킬 수 없다. 공기함입저항치가 낮다는 것은 작은 압력에서도 쉽게 불포화 상태로 진행된다는 것을 알 수 있다. 따라서 공기함입저항치가 큰 입도를 사용하여야 배수재로서의 기능을 충분히 발휘 할 것으로 판단된다. 쇄석 100%의 경우에는 모관현상이 발생되지 않으므로 투수계수가 크다 할지라도 공기함입 저항치가 작을 것으로 예상되어 수평배수재로서의 기능이 다소 약할 것으로 판단된다.

표 4 공기함입저항치 (kPa)

	다짐상태		
	느슨한상태	보통상태	조밀한상태
모래 30%+쇄석 70%	46.79	38.67	32.70
모래 50%+쇄석 50%	42.01	37.95	31.08
모래 70%+쇄석 30%	39.19	33.67	30.44

4. 결론

본 연구에서는 기존에 연약지반 수평배수재로 사용되고 있는 쇄석매트에 대하여 모래를 혼합하여 쇄석과 모래의 적정 혼합비를 산출하고, 쇄석골재와 모사의 물리적 시험, 투수능 시험 및 불포화 시험을 통한 쇄석매트의 입도분포 산정, 투수계수 등을 도출하였으며, 결론은 아래와 같다.

1. 투수시험 결과, 모래를 혼합하지 않은 쇄석 100%일 때의 투수계수가 가장 큰 것으로 나타났다.
2. 불포화시험 결과, 다짐상태가 조밀할수록 공기함입저항치는 감소하는 경향을 보이고 있었으며, 모래의 함량이 많을수록 감소하는 것으로 나타났다.
3. 투수계수의 결과만으로는 쇄석 100%의 경우가 가장 양호한 수평배수재의 역할을 할 수 있을 것이라 나타났지만, 불포화 시험을 쇄석 100%의 경우는 자체적으로 모세관 현상이 적기 때문에 투수계수가 크다 할지라도 공기함입 저항치가 작을 것으로 예상되어 수평배수재로서의 기능이 다소 미약할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 양상호, 2003, 연직배수재의 현장조건을 고려한 투수능력 실험기의 개발과 적용, 한양대학교 석사학위논문
2. 주재우, 광정민, 오병현, 1994, 다중체 낙하법에 의한 상대밀도 재현에 관한 연구, 공업기술연구소논문집, Vol.8, pp.23~36
3. 장연수, 박정순, 박정용, 2003, 수평배수재의 불포화 투수특성 연구, 한국지반공학회논문집 제19권 2호, pp.15~25
4. 임성윤, 2007, 불포화사질토의 전단특성, 한국지반공학회 논문집 Vol 23, No.10, pp.57~64
5. 임성윤, 2007, 간극비를 고려한 흙-수분특성 방정식의 적용성 평가, 한국지반공학회 논문집 Vol 23, No.11, pp.39~48
6. 임성윤, 류태진, 2008, 불포화토의 투수계수분석 및 투수계수 방정식의 적용성 평가, 한국지반공학회 논문집 Vol 24, No.1, pp.5~13
7. 김명환, 2004, 다짐율을 고려한 불포화토의 흙-수분 특성곡선의 비교·분석, 충북대학교 석사학위논문
8. 김성수, 2004, 토목재료학, 구미서관
9. 고속국도 제104호선 남해고속도로(냉정~부산가)확장 공사 공사시방서
10. 장흥-목포 건설사업단 공사 시방서