

골재의 입도변화에 따른 투수 및 동상특성 Characteristics of Frost Heaving to Grain Size and Permeability of Aggregate Materials

채창우¹⁾, Chang-Woo Chae, 이준현¹⁾, Heon-Jun Lee, 이주형¹⁾, Ju-Hyeong Lee, 이명구¹⁾, Myung-Gu Lee, 송창섭²⁾, Chang-Seob Song

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

²⁾ 충북대학교 지역건설공학과 교수, Professor, Dept. of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National Univ.

SYNOPSIS : In this paper in order to analyze the mechanical properties, the permeability and the freezing properties of SB-2 materials which are mainly used with the subbase materials on the road. For this ends, a series of the physical test, the permeability test and the freezing test were carried out the samples mixed the small aggregate and the big aggregate from which was re-classified the SB-2. From the test results, it was analyzed the characteristics of permeability and the characteristics of freezing of the samples.

Key words : subbase materials, freezing

1. 서 론

도로를 건설하면서 조건을 충족시키는 재료인 강자갈 등 천연재료를 주로 사용하여 왔지만 교통량의 급증에 따른 많은 도로건설로 인하여 천연재료의 고갈을 초래하였다. 이로 인하여 도로건설에 있어서 시방규정과 요구조건들을 만족하는 도로포장 재료의 확보에 많은 어려움을 가지게 되었다.

도로건설수요의 급증은 천연재료의 고갈과 환경적 영향을 초래하였고, 소요품질을 만족하는 골재 소요량을 확보하는 것이 어렵게 되었으며 이의 대처방안의 하나로 석산골재를 파쇄 하여 소요품질과 입도 조건을 만족할 수 있도록 입도를 조정하여 보조기층 및 동상방지층재료로 사용하였다. 이 과정에서 표토나 점토 등이 함유될 경우 재료의 역학적 특성, 동상특성에 영향을 미치게 된다.

포장층의 일부인 보조기층 및 동상방지층의 재료로 인위적인 생산재료를 사용할 경우에는 스크리닝스의 함유량에 따라 보조기층이나 동상방지층의 기능성이 달라지게 된다. 즉, 재료의 품질이 저하되고, 포장수명, 성토구간의 침하에도 결정적인 영향을 미치게 된다. 스크리닝스가 과다하게 함유됨으로서 배수 기능이 저하될 뿐만 아니라 동해의 원인을 제공하게 되며, 지지력 저하 및 압밀침하 등이 발생하여 포장구조에 부적합한 재료가 될 수 있다.

본 연구에서는 보조기층재료 주로 사용되는 SB-2의 조골재와 세골재를 분리한 후, 조골재와 세골재의 비율에 따라 시료를 조제하여 다짐시험, 동상시험을 수행하여 재료의 역학적 특성, 동상특성을 규명하여, 동상방지층의 골재 입도 기준 수립을 위한 자료를 제공하는 것이 목적이다.

2. 재료 및 시험방법

2.1 재료

본 연구에서 사용된 시료는 경기도 여주 지역의 석산을 파쇄하여 채취한 것으로 일반적으로 도로 공사에서 사용되는 보조기층 재료인 SB-2를 사용하였다. 이 재료는 현장에서 채가름, 골재의 혼합 및 기타를 처리하여 지방서 규정에 맞게 입도가 맞추어진 재료이다. SB-2에 대한 물리적 특성과 입도분포는 표 1, 그림1 과 같다.

표 1. 사용된 SB-2의 물리적 특성

Gs	2.63
PI(%)	N.P
LL(%)	N.P
Cg	2.19
Cu	30.77
USCS	GW

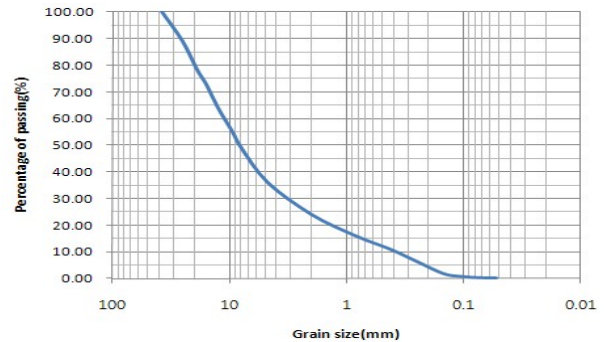


그림 1. 사용된 SB-2의 입도분포

2.2 시험방법

2.2.1 공시체 제작

조골재와 세골재의 혼합비에 따른 공시체를 제작하기 위하여 표 2와 같이 공시체를 제작하였다. 조골재(굵은골재)의 기준은 5mm 이상 골재이고, 세골재(잔골재)는 5mm 이하의 골재이다. 공시체는 E다짐을 실시하여 최대건조단위중량과 최적함수비를 구하였다. 조골재의 함유량이 85%이상일 때에는 다짐시험이 어려워 조골재 함유량을 80%까지로 제안 하였다.

표 2. 공시체 조건

Samples	Mixing ratio		$\gamma_{dmax} (gf/cm^3)$	OMC(%)
	Coarse aggregate(%)	Fine aggregate(%)		
A	80	20	2.261	9.54
B	75	25	2.287	8.30
C	70	30	2.298	6.90
D	65	35	2.320	6.48
E	60	40	2.346	6.16

2.2.2 투수시험 방법

본 시험에서는 내경 15cm, 높이 17.5cm의 몰드를 사용 하였다. 각 입도별 최적함수비를 고려하여 다짐(E다짐)을 하여 공시체를 성형하였다. 최대건조단위중량을 95%이상으로 다짐한 공시체에 정수위 투수시험을 실시하였다. 시험 시작시간부터 시험이 완료된 시간의 일정시간 내 월류하는 수량을 메스실

린더로 측정하고, 시료상면의 수위와 하부에 작용하는 수조의 수위와의 수두차를 측정하고, 수온을 측정한 후 측정값을 정리, 계산하였다.

2.2.3 동상실험

동상실험은 시험은 시료를 직경 15cm, 높이 17.5cm의 수정 CBR몰드 내에 최적함수비의 수량을 혼합하여 다짐방법(E다짐)을 이용, 최대건조단위중량 95%로 다짐한 공시체를 동결융해시험기에 거치시켜 냉동실의 냉각장치에 의하여 대기온도를 영하로 강하시킬 때 자연지반과 같이 토층을 열게 함으로써 수조로부터 모관현상에 의한 상승된 수분의 결빙에 의한 시료의 동상현상을 관찰 및 측정하였다.

공시체의 다짐율은 현장상태를 고려하여 95%로 선정하였으며, 다짐시험의 시험 값을 근거로 공시체를 성형하였다. 95% 다짐으로 공시체를 성형해서 무게, 함수비를 측정한 후 24시간 수침을 한다. 수침시 팽창비를 측정했으며, 수침 후 외부 수분 제거 후 무게를 측정한다. 동결융해 시험기를 이용하여 0℃, -5℃, -10℃, -15℃, -23℃에서의 동상율을 다이얼게이지를 이용하여 측정 한다. 각 온도별로 6시간씩 방치한다. 이때 모관현상이 일어날 수 있도록 하부에 일정 수위가 유지 될 수 있도록 물을 종료할 때 까지 지속적으로 공급해준다. 종료 후에 무게를 측정하고 동결상태를 파악한다. 시험 종료 후 몰드를 제거 한 후 공시체의 동결상태를 조사하였다. 본 시험에서는 SB-2에 대해서 KS F 2312의 규정에 의해 Table 2.1.2의 실내 다짐방법의 종류 중 E다짐방법을 사용하였다. 내경 15cm, 높이 17.5cm의 몰드로 DA-465 진동다짐기를 이용하여 시료를 자연건조 시킨 후 4분법으로 나눈 후 혼합비에 따른다짐 시험을 실시하였다. 92회 3층으로 정확하고 고르게 다짐하고, 몰드와 시료의 무게를 측정한 후 몰드에서 시료를 빼내어 함수비를 측정했으며 함수비를 증가시키면서 다짐곡선을 결정하도록 시험을 반복 하였다.



그림 2. 동결 융해 시험기



그림 3. 동상율 측정

3. 결과 및 고찰

3.1 투수시험

3.1.1 투수계수

조골재와 세골재의 배합비율이 투수특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 각 입도별로 투수시험을 실시하였다. 공시체의 다짐율은 현장상태를 고려하여 95%로 선정하였으며, 다짐시험의 시험 값을 근거로 공시체를 성형하였다. 시험결과를 요약하면 표 3.과 같다. 결과에서 볼 수 있듯이 세골재가 증가 할수록 투수계수가 감소하는 것으로 나타났다. 또한 투수계수는 20%에서 25%, 30%에서 35%의 범위에서 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다. 총 3회의 시험을 통하여 평균값을 가지고 분석을 실시하였다. 입

도가 큰 골재의 비율이 증가 할수록 투수계수가 증가하는 것으로 나타났다.

표 3. 공시체별 투수계수

Coefficient of permeability	A	B	C	D	E
k_s	2.71×10^{-4}	1.85×10^{-4}	1.58×10^{-4}	7.40×10^{-5}	6.36×10^{-5}

3.1.2 조골재 비율에 따른 투수계수 변화

완전 포화된 공시체를 조골재의 함유율에 따라 투수계수의 변화를 측정했다. 조골재의 함유율을 80%에서 5%씩 감소시키면서 60%까지 공시체를 성형하여 투수시험을 실시하였다. 조골재의 함유율에 따라 투수계수의 변화가 나타났다. 투수계수와 혼합비를 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 조골재의 비율에 따른 투수계수의 변화를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 조골재의 비율에 따른 투수계수의 예측방정식은 높은 결정계수 값을 나타내고 있었다. 투수계수는 조골재의 비율이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 결정계수는 0.948로 나타났다. 예측방정식을 바탕으로 차후 별도의 실내 시험 없이 조골재 비율에 따른 투수계수를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

3.1.3 세골재 비율에 따른 투수계수 변화

완전 포화된 공시체를 세골재의 함유율에 따라 투수계수의 변화를 측정했다. 세골재의 함유율을 20%에서 5%씩 증가시키면서 40%까지 공시체를 성형하여 투수시험을 실시하였다. 세골재의 함유율에 따라 투수계수의 변화가 나타났다. 투수계수와 혼합비를 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 세골재의 비율에 따른 투수계수의 변화를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 세골재의 비율에 따른 투수계수의 예측방정식은 높은 결정계수 값을 나타내고 있었다. 투수계수는 세골재의 비율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 결정계수(r^2)는 0.948로 나타났다. 예측방정식을 바탕으로 차후 별도의 실내시험 없이 세골재 비율에 따른 투수계수를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

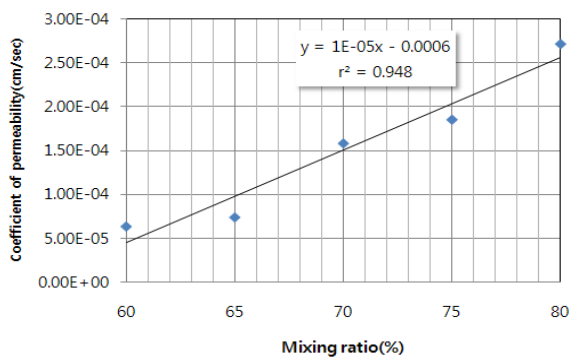


그림 4. 조골재 비율에 따른 투수계수 변화

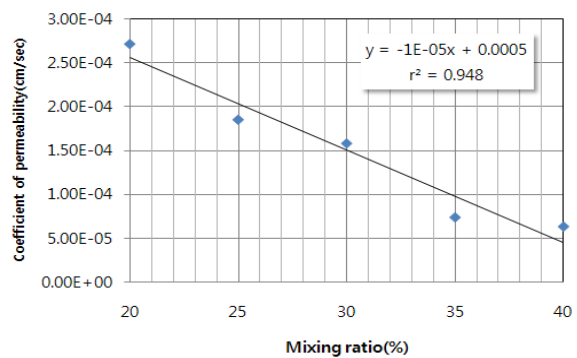


그림 5. 세골재 비율에 따른 투수계수 변화

3.2 동상시험

3.2.1 동상율

조골재와 세골재의 입도 변화와 투수특성이 동상율에 어떤 영향을 분석하기 위해서 동상시험을 실시하였다. 동상시험 종료 후 동결형태를 파악하기 위해서 몰드를 제거한 후 공시체의 단면을 관찰하였다.

미세한 서리를 포함한 콘크리트 형태의 동결을 관찰할 수 있었다. 동상시험의 결과를 요약하면 표 4와 같다. 투수계수가 감소 될수록 동상율은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 세골재가 증가 할수록 동상율도 증가하는 것으로 나타났다. 동상율은 세골재가 25%에서 30%의 범위에서 가장 크게 증가하는 것으로 나타났다. 총 3회의 실험을 통하여 평균값을 가지고 분석을 실시하였다. 0도에서 -5도 사이에서 대부분의 동상율 상승현상을 나타냈고, -5도에서 -15도까지는 약간의 상승현상을 보였다. -15도에서 -23도에서는 동상율의 변화가 일어나지 않았다. 이는 -15도에서 동상율이 모두 발생했다는 것을 알 수 있다.

표 4. 온도에 따른 동상율

Temperature(℃)	Frost heaving rate (%)				
	A	B	C	D	E
0	0	0	0	0	0
-5	0.90	1.04	1.27	1.42	1.50
-10	0.92	1.07	1.35	1.46	1.55
-15	0.93	1.09	1.38	1.48	1.58
-23	0.93	1.09	1.38	1.48	1.58

3.2.2 조골재 비율에 따른 동상율

조골재의 함유율을 80%에서 5%씩 감소시키면서 60%까지 공시체를 성형하여 동상시험을 실시하여, 동상율을 산출하였다. 조골재의 함유율에 따라서 동상율을 측정하였다. 조골재의 각 온도별 동상율과 혼합비를 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 동상율은 0℃, -5℃, -10℃, -15℃, -23℃에서의 각각의 값을 산출하였다. 조골재의 함유율에 따른 동상율은 시험시작 후 약 360분에서 약 720분 사이에 급속한 상승을 보였고, 약 720분에서 약 1080분에서는 미미한 상승을 나타냈다. 그리고 약 1080분에서 시험 종료 시까지는 동상율 상승을 볼 수 없었다. 동상율은 조골재가 80%일 때 0.93%, 75%일 때 1.09%, 70%일 때 1.38%, 65%일 때 1.48, 60%일 때 1.58로 나타났다. 조골재의 비율에 따른 동상율의 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 조골재의 비율에 따른 동상율의 예측방정식은 높은 결정계수 값을 나타내고 있었다. 동상율은 조골재의 비율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 이는 조골재는 동상에 큰 영향을 미치지 않는다는 것으로 판단된다. 결정계수(r^2)는 0.951로 나타났다. 예측방정식을 바탕으로 차후 별도의 실내시험 없이 조골재 비율에 따른 동상율을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

3.2.3 세골재 비율에 따른 동상율

세골재의 함유율을 20%에서 5%씩 증가시키면서 40%까지 공시체를 성형하여 동상시험을 실시하여, 동상율을 산출하였다. 세골재의 함유율에 따라서 동상율을 측정하였다. 세골재의 동상율과 혼합비를 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 동상율은 0℃, -5℃, -10℃, -15℃, -23℃에서의 각각의 값을 산출하였다. 세골재의 함유율에 따른 동상율은 시험시작 후 약 360분에서 약 720분 사이에 급속한 상승을 보였고, 약 720분에서 약 1080분에서는 미미한 상승을 나타냈다. 그리고 약 1080분에서 시험 종료 시까지는 동상율 상승을 볼 수 없었다. 동상율은 세골재가 20%일 때 0.93%, 25%일 때 1.09%, 30%일 때 1.38%, 35%일 때 1.48, 40%일 때 1.58로 나타났다. 세골재의 함유율에 동상율은 증가하며, 이는 세골재가 동상에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 세골재의 비율에 따른 동상율의 변화를 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 세골재의 비율에 따른 동상율의 예측방정식은 높은 결정계수값을 나타내고

있었다. 동상율은 세골재의 비율이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 결정계수(r^2)는 0.951로 나타났다. 예측방정식을 바탕으로 차후 별도의 실내시험 없이 세골재 비율에 따른 동상율을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

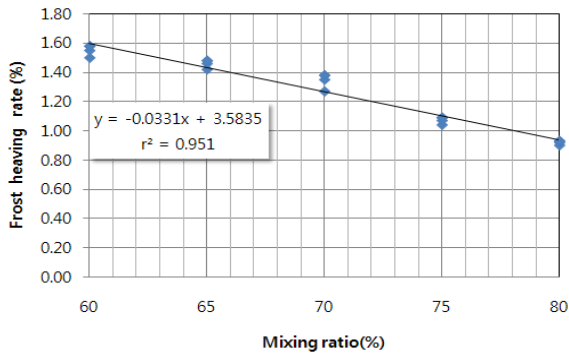


그림 6. 조골재 비율에 따른 동상율

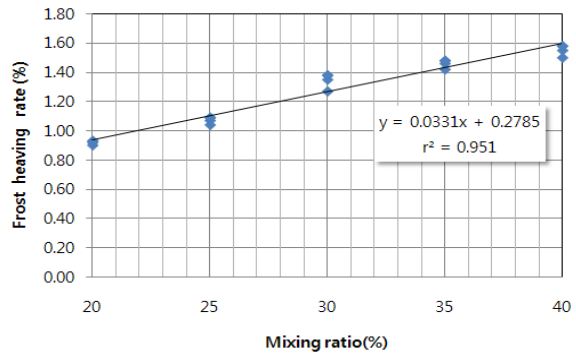


그림 7. 세골재 비율에 따른 동상율

4. 결론

보조기층으로 사용되는 SB-2를 조골재와 세골재로 분류한 후, 조골재와 세골재의 비율에 따라 재료의 역학적 성질, 투수계수 및 동상율을 측정하여 골재 입도 변화 및 투수특성이 동상에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 동상방지층의 골재 입도 기준 수립을 위한 동상특성을 규명하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 배합비율이 투수특성에 미치는 영향을 실내시험을 통해 분석한 결과, 투수계수는 20%에서 25%, 30%에서 35%의 범위에서 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다. 배합비율에 따른 투수계수의 결정계수는 0.948로 나타났다. 비율에 따른 투수계수의 예측방정식은 높은 결정계수 값을 나타내고 있는 것으로 판단된다.
2. 온도별 동상율을 실내시험을 통해 분석한 결과 0°C에서 -5°C 사이에서 대부분의 동상율이 상승하였고, -5°C에서 -15°C까지는 약간의 상승하였으며, -15°C에서 -23°C에서는 동상율의 변화가 일어나지 않았다. 배합비율에 따른 동상율의 결정계수는 0.951로 나타났다.
3. 세골재의 비율이 증가할수록 동상율은 증가하는 것으로 나타났고, 투수계수가 감소될수록 동상율은 증가하는 것으로 나타났다. 세골재의 배합비율이 투수계수와 동상율에 영향을 주는 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 신은철·강신재·박정준·강현희(2009), “실내 동결 시험 시스템을 활용한 도로 노상토의 동결특성 분석”, **한국도로학회 학술대회논문집**, 제11권, 603 ~ 608.
2. 이송·김태훈·이재현(2002), **토질시험법**, 구미서관.
3. 진정훈·남영국(2006), “친환경적인 배수시스템 도입을 통한 동상방지층 개선”, **한국도로학회**, 8(2), 35 ~ 44.
4. 한국도로공사(1998), “PI 변화에 따른 보조기층 및 동상방지층 재료의 특성 연구”.
5. 한국도로공사(2009), **고속도로공사 전문시방서**.
6. 국토해양부(2008), 2008 골재자원조사 보고서(어청도 서부 EEZ 해역).

7. 과학기술처(1992), 동토지역 시초구조물의 최적설계, 시공기법개발연구.
8. 김범철(2008), “세립분 함유율이 성토재의 다짐특성에 미치는 영향”, 전북대학교 석사학위 논문.
9. 권무남 · 김재영 · 장병욱(1992), **토질역학**, 건국대학교 출판부.
10. 김상호(1997), “도로포장에서 동결심도 실측치와 포장재료의 열적정수를 고려한 심도비교”, 석사학위논문, 중앙대학교, 5.
11. 김종민 · 최준성 · 한진석 · 문성호(2008), “노상 및 보조기층의 평판재하시험 대체를 위한 소형충격재하시험 활용방안 연구”, **한국도로학회 학술대회 논문집**, 599~605.
12. 김철문 · 이호상 · 이경하 · 진정훈(2007), “동상방지층 설계기준 개선”, **한국도로학회**, 9(1), 23 ~ 30.