



보조기층재의 입도에 따른 물리적 특성 및 동상 특성

Physical Properties and Characteristics of Freezing of the Sub-base Materials with a Grain Size Distribution

채창우* · 송창섭**†

Chae, Chang Woo · Song, Chang Seob

ABSTRACT

In this paper it was analyzed that the mechanical properties, the permeability and the freezing properties of SB-2 materials which are mainly used with the subbase materials. To 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. And it was reviewed for SB-2 materials that the use of possibility for the freezing prevention layer material.

Keywords: SB-2 materials; permeability test; freezing; aggregate; freezing prevention layer

1. 서 론

급속한 경제발전과 인구증가에 따라 국내 건설 산업은 1970년대부터 계속적으로 증가하기 시작하였으며, 특히 1980년대에는 건설경기의 호황으로 인한 필요한 골재 수요 역시 급증하였다. 1998년도 IMF 경제위기로 인하여 한동안 건설경기가 침체되어 골재 수요가 감소하기도 하였으나, 위기를 극복하면서 다시 골재의 수요가 증가하였다. 주요 건설자재로 이용되는 모래와 자갈 등 골재자원은 천연자원의 일종으로 그 부존량이 한정되어 있는 한계재화이다 (MLTM, 2008).

증가하는 교통량의 원활한 소통과 체계적인 물류수송을 위하여 많은 도로를 건설하면서 양질의 천연골재는 고갈되었다. 즉, 도로건설에 필요한 시방서 규정과 요구조건을 충족시키는 도로 포장용 골재의 확보에 많은 어려움을 초래하게 되었으며 특히, 동상방지층 재료의 구득이 어려운 실정이 되면서 대체재료 개발의 필요성이 대두하게 되었다. 대체방안의 하나로 석산골재를 파쇄하여 소요품질과 입도조건을 만족시킬 수 있도록 골재의 입도를 조정하여 보조기층 및 동상방지층 재료로 사용하고 있다. 그러나 대체골재의 조제하는 과정에 표토나 점토 등이 함유될 경

우 재료의 역학적 특성, 투수특성 및 동상특성에 많은 영향을 미치게 된다 (Hivon et al., 1995).

특히, 보조기층 및 동상방지층의 재료로 인위적인 생산재료 (석산개발, 유용암석재료 등)를 사용할 경우에는 스크리닝스 (Screenings)의 함유량에 따라 보조기층이나 동상방지층의 기능성이 달라지게 되며, 재료의 품질이 저하되고, 포장수명, 성토구간의 침하에도 결정적인 영향을 미치게 된다 (Lee, 1997; Yoon et al., 2003).

또한, 스크리닝스가 과다하게 함유됨으로서 배수기능이 저하될 뿐만 아니라 동해의 원인을 제공하게 되며, 지지력 저하 및 압밀침하 등이 발생하여 포장구조의 안전성에 영향을 미치게 된다 (Kim et al., 2002).

따라서 도로건설에 필요한 재료의 품질기준을 만족하고 동상방지층으로 사용이 가능한 대체재료의 개발에 대한 연구가 필요하게 되었다. 특히 최근 동결기의 혹한에 의한 포장의 파손이나 결괴현상이 자주 발생하면서 동상방지층의 중요성을 인식하게 되었다 (Kim, 1996; Nixon, 1992).

본 연구에서는 보조기층재로 주로 사용되는 SB-2를 이용하여 동상방지층 재료로 사용이 가능한 지를 검토하기 위하여 일련의 시험을 통하여 재료특성을 분석하고자 한다. 먼저 SB-2에 포함된 조골재와 세골재를 분리한 후, 조골재와 세골재의 비율에 따라 5종의 시료를 조제하였다. 조제된 시료는 다짐시험, 투수시험, 동결시험을 수행하여 재료의 물리적 특성, 투수특성 및 동상특성을 규명하고 동상방지층 재료의 입도기준 수립을 위한 자료로 제공하고자 한다.

* 충북대학교 대학원

** 충북대학교 지역건설공학과

† Corresponding author Tel.: +82-43-261-2578

Fax: +82-43-272-5922

E-mail: cssong@cbnu.ac.kr

2012년 7월 23일 투고

2012년 9월 27일 심사완료

2012년 9월 27일 게재확정

Table 1 Physical properties of SB-2

Gs	PI (%)	LL (%)	Cg	Cu	USCS
2.63	N.P	N.P	2.2	30.8	GW

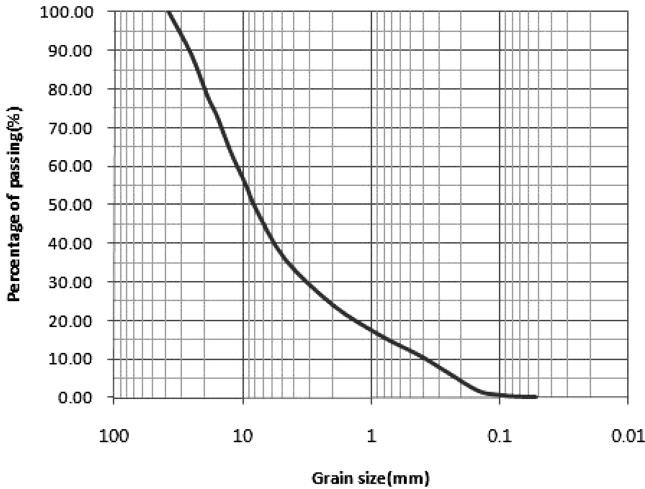


Fig. 1 Grain size distribution curve of SB-2

II. 재료 및 방법

1. 재료

재료는 보조기층재로 사용되는 SB-2 (Subbase type-2)를 선정하였다. 사용된 SB-2 재료는 여주의 석산에서 파쇄, 체가름, 골재의 혼합 등의 처리과정을 거쳐 시방서 규정에 맞도록 조제된 재료이다. 사용된 SB-2 재료의 비중은 2.63, 균등계수는 30.8, 곡률계수는 2.2인 재료로 비교적 균질하며 통일분류상 GW에 속하는 재료이다. 재료의 물리적 특성은 Table 1에 나타나 있고 입도곡선은 Fig. 1과 같다.

2. 시료의 조제

조골재 및 세골재의 입도 변화에 따른 재료특성을 분석하기 위해서 Table 2와 같이 시료를 조제하였다. 시료의 조제를 위하여 선행시험 (E다짐)을 실시하여 최대건조단위중량과 최적함수비를 구하였다. 또한, 시료를 사용하여 공시체를 만드는 과정에서 조골재의 함유량이 85 % 이상일 경우에는 다짐이 어려워 공시체의 조제가 불가능하여 시료의 조제는 조골재 함유범위를 80%까지로 제한하였다. Table 2는 조제된 시료의 종류에 따른 조골재 및 세골재의 함유량을 나타내고 있다.

3. 시험방법

가. 투수시험

투수시험은 골재의 배합비율에 따른 투수특성을 규명하기 위

Table 2 The kinds of sample and mixing ratio

Samples	Mixing ratio of aggregate	
	Coarse (%)	Fine (%)
A	80	20
B	75	25
C	70	30
D	65	35
E	60	40



Fig. 2 Permeability test equipment

하여 실시하였다. 내경 15 cm, 높이 17.5 cm의 몰드를 사용하였으며, 선행한 다짐시험 (E다짐)의 결과를 바탕으로 최적함수비를 고려하여 공시체를 성형하였다. 공시체는 최대건조단위중량의 95 %가 되도록 다짐하여 조제하였으며, 개량된 투수시험기를 사용하여 정수위 투수시험을 실시하였다. 시험은 측정시작부터 종료될 때까지 일정하게 물이 월류하도록 정상상태를 유지한 채 월류하는 수량을 메스실린더로 측정하였다. 이 때 시료상면의 수위와 하부에 작용하는 수조 수위와의 수두차를 측정하고, 그 때의 수온도 측정하여 보정에 사용하였다. 시험은 각각의 시료에 대하여 3회 실시하여 측정값을 평균하여 투수계수를 계산하였다. 사용된 투수시험기는 Fig. 2와 같다.

나. 동결시험

동결시험은 골재의 구성에 따른 동상현상을 규명하기 위하여 실시하였다. 개량된 실내시험장치에서 인위적으로 동결을 발생시켜 동상율을 정량적으로 측정하여 동상방지층의 재료로서의 가능성을 검토한다 (Song et al., 1999). 세립토나 세립질 조립토는 동결기에 토층내의 수분에 기인하여 동상현상을 일으키며, 동상은 토질조건, 수분조건, 온도조건이 교집합으로 성립할 때 발생한다 (Williams, 1977).

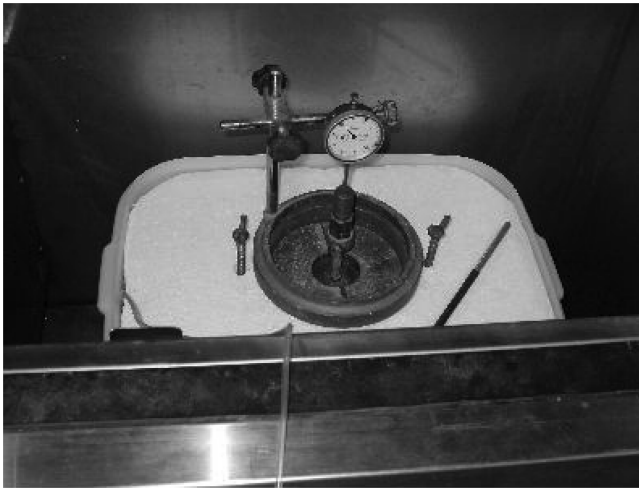


Fig. 3 Measurement of freezing rate

시험은 직경 15 cm, 높이 17.5 cm의 CBR몰드를 사용하여 수행되었다. 공시체는 시료를 최적함수비 상태로 혼합하여 현장상태를 고려하여 최대건조단위중량의 95 %로 다짐하여 성형하였다. 성형한 공시체는 무게, 함수비를 측정후 24시간 수침하였다. 수침이 진행되는 동안 팽창비를 측정하였으며, 수침 후 외부수분 제거 후 무게를 측정하였다. 외부의 수분이 제거된 공시체는 동결용해시험기 안에 설치하여 냉각장치에 의하여 내부온도를 영하로 강하시켜 토층을 얼린다. 동결시험은 0 °C, -5 °C, -10 °C, -15 °C, -23 °C에서의 동상율을 다이얼게이지를 이용하여 측정하고, 각각의 온도별로 6시간씩 지속하면서 시료의 동상현상을 관찰, 측정하였다. 이 때 모관현상이 계속 발생할 수 있도록 하부수조의 수위를 일정하게 유지시키면서 계속하여 시험이 종료될 때까지 수조에 지속적으로 물을 공급해준다.

동결시험 종료 후에 무게를 측정하고 몰드를 제거 한 후 공시체의 동결상태를 조사하였다. Fig. 3은 동결시험기 내부에 설치된 공시체의 동상율을 측정하는 장면을 보여주고 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 보조기층재의 입도에 따른 투수특성

가. 투수계수

조골재와 세골재의 배합비율이 투수특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 각 입도별로 투수시험을 실시하였다. 시험결과를 요약하면 Table 3과 같다. 결과에서 볼 수 있듯이 세골재가 증가할수록 투수계수가 감소하는 것으로 나타났는데, 투수계수는 세골재의 비율이 20 %에서 25 % 및 30 %에서 35 %의 범위에서 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 세골재의 비율을 조정함으로써 투수계수를 조절할 수 있으며 이를 이용하여 동상방

Table 3 The coefficient of permeability of the samples

Coefficient of permeability	A	B	C	D	E
ks (cm/s)	2.71×10^{-4}	1.85×10^{-4}	1.58×10^{-4}	7.40×10^{-5}	6.36×10^{-5}

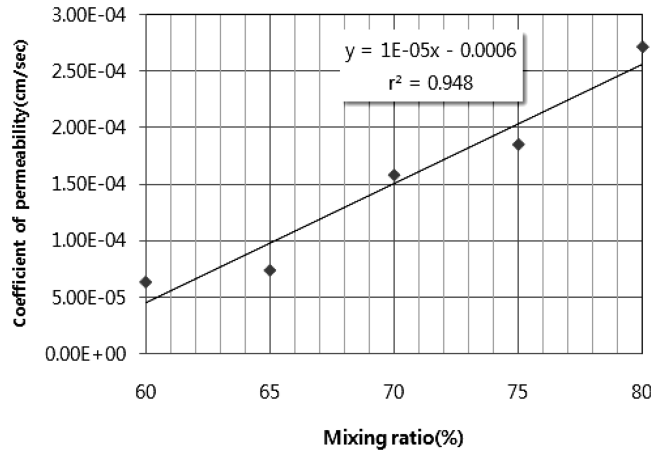


Fig. 4 Coefficient of permeability with coarse aggregate mixing ratio

지층의 동결심도 및 동결상태를 조절할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 보조기층의 입도를 조절하면 동상방지층의 재료로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

나. 조골재 비율에 따른 투수계수 변화

골재의 혼합비율에 따른 투수계수의 변화를 검토하기 위하여 조골재의 함유율에 따라 투수계수의 변화를 분석하였다. 투수계수와 조골재의 혼합비 관계를 도시하면 Fig. 4와 같다. 조골재의 함유율이 증가함에 따라 투수계수는 증가하며, 투수계수는 조골재의 함유율과 상관관계를 보이고 있다. 이용하여 회귀분석을 실시하면 조골재 비율에 따른 투수계수의 예측방정식은 높은 결정계수 값을 나타내며, 결정계수는 0.948로 나타났다.

예측방정식을 바탕으로 차후 별도의 실내시험 없이 조골재 비율에 따른 투수계수를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

다. 세골재 비율에 따른 투수계수 변화

세골재의 함유율에 따라 투수계수의 변화를 검토하기 위하여 세골재의 함유율과 투수계수를 Fig. 5에 도시하였다. 예상된 결과로 세골재의 함유율에 따라 투수계수는 감소하는 것으로 나타났다. 세골재의 함유율과 투수계수의 상관관계를 검토하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 분석결과 예측방정식은 높은 결정계수 값을 나타내고 있으며, 결정계수 (r^2)는 0.948로 나타났다. 이는 조골재의 상관계수와 동일하지만, 세골재의 함유율이 낮기 때문에 세골재의 영향이 큰 것으로 판단된다. 따라서 보조기층재

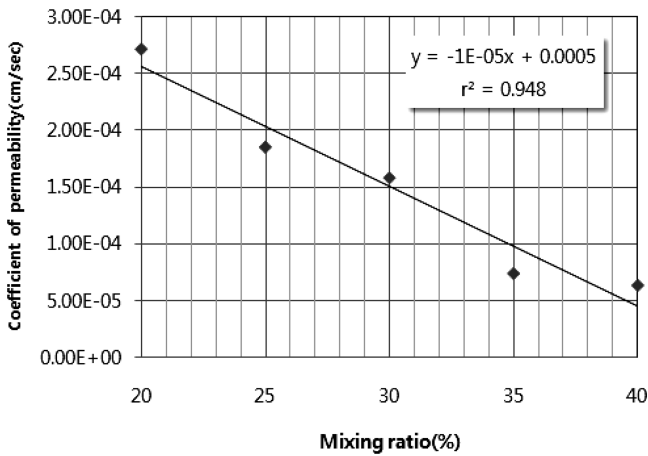


Fig. 5 Coefficient of permeability with fine aggregate mixing ratio

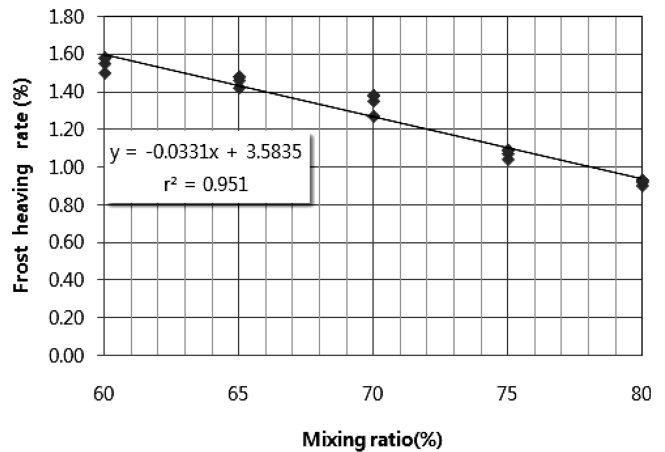


Fig. 6 Frost heaving rate with coarse aggregate mixing ratio

Table 4 Result of frost heaving test

Temperature (°C)	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

의 조골재와 세골재를 함유율을 조절하여 동상방지층 또는 차단층 재료를 조제하는 경우에는 조골재 및 세골재의 함유량을 모두 검토하여야 함을 의미한다.

또한 유도된 예측방정식을 이용하면 추후에는 별도의 실내시험없이 세골재 비율에 따른 투수계수를 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 보조기층재의 입도에 따른 동상특성

조골재와 세골재의 입도 변화에 따른 동상특성을 분석하기 위하여 동결시험을 실시하고 각각의 온도별 동상율을 측정하였다. 각 온도별 동결시험이 종료된 후 동결상태를 파악하기 위해서 공시체 몰드를 제거한 후 공시체의 단면을 관찰하였다. 미세한 서리를 포함한 콘크리트 형태의 동결을 관찰할 수 있었다.

동결시험의 결과를 요약하면 Table 4와 같다. 투수계수가 감소 될수록 동상율은 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 세골재의 함유율이 증가할수록 동상율도 증가하는 것을 의미한다. 동상율은 세골재의 함유율이 25%에서 30%의 범위에서 가장 크게 증가하는 것으로 나타났다. 동상현상은 0도에서 -5도 사이에서 대부분의 동상율이 증가하는 것으로 나타났고, -5도에서 -15

도까지는 약간 증가하였다. -15도에서 -23도에서는 동상율의 변화가 일어나지 않았는데, 이는 -15도에서 동상이 거의 종료되는 것으로 나타났다.

또한 동결시간에 따른 동상현상은 시험시작 후 약 360분에서 약 720분 사이에 급속한 상승을 보였고, 약 720분에서 약 1080분에서는 미미한 상승을 나타냈다. 그리고 약 1080분에서 시험종료 시까지는 동상율의 상승을 볼 수 없었다.

가. 조골재 비율에 따른 동상율

조골재의 함유율에 따라서 동상현상을 검토하기 위하여 조골재의 함유율과 동상율을 비교하였다. 동상율은 0 °C, -5 °C, -10 °C, -15 °C, -23 °C에서의 각각의 값을 산출하였는데, 동상율은 조골재의 함유율이 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. 또한, 조골재의 함유율과 동상율의 상관관계를 분석하기 위하여 조골재의 함유율과 동상율의 변화를 Fig. 6에 도시하고 상관분석을 실시하였다. 분석한 결과, 조골재의 함유율에 따른 동상율의 예측방정식은 높은 결정계수 값 ($r^2=0.951$)을 나타내었다. 즉, 동상율은 조골재의 비율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 조골재의 함유율은 동상에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

나. 세골재 비율에 따른 동상율

세골재의 함유율에 따라서 동상현상을 검토하기 위하여 세골재의 함유율과 동상율을 같은 방법으로 비교하였다. 동상율은 0 °C, -5 °C, -10 °C, -15 °C, -23 °C에서의 각각의 값을 산출하였는데, 세골재의 함유율이 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.

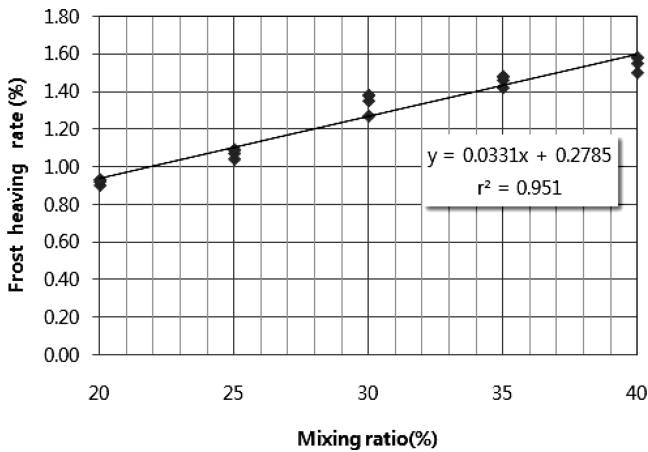


Fig. 7 Frost heaving rate with fine aggregate mixing ratio

세골재의 함유율은 투수계수와 밀접한 상관관계를 보이고 있고, 이는 곧 동상에 영향을 미칠 것으로 판단하여 세골재의 함유율과 동상율을 비교분석하였다. 이를 위하여 세골재의 함유율과 동상율의 관계를 Fig. 7에 도시하고, 상관분석을 실시하였다. 분석 결과, 세골재의 함유율은 동상율과 높은 결정계수값 ($r^2 = 0.951$)을 나타내고 있으나, 조골재와 동일한 수준이었다. 이는 보조기층재를 활용한 동상방지층의 동상율은 세골재뿐만 아니라 조골재도 영향을 미치는 것을 의미하나 함유율이 세골재가 적기 때문에 세골재의 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 따라서, 동상방지층 또는 차단층의 재료조제나 결정에는 세골재와 조골재를 동시에 고려하여 선정하여야 할 것이다.

IV. 요약 및 결론

도로건설 시 부족한 동상방지층 또는 차단층의 대체재료 개발을 위하여 보조기층재 (SB-2)를 활용하여 동상방지층 재료로서의 사용가능성을 분석하였다. 먼저 보조기층재의 조골재와 세골재로 분류한 후, 조골재와 세골재의 함유율에 따른 일련의 시험을 수행하여 재료의 물리적 특성, 투수계수 및 동상율을 측정하고 골재 입도 변화 및 투수특성이 동상에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 보조기층재의 조골재 및 세골재의 배합비율이 투수특성에 미치는 영향을 분석하였다. 투수계수는 조골재의 함유율에 따라 증가하고, 세골재의 함유율에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 투수계수는 세골재의 함유율에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 함유율이 20 %에서 25 %, 30 %에서 35 %의 범위에서 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다.

2. 보조기층재의 조골재 및 세골재의 함유율에 따른 동상특성을 분석하였다. 동상율은 조골재의 함유율에 따라 감소하고 세골재의 함유율에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 세골재의 함

유율에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

3. 동결시간에 따른 동상현상은 시험시작 후 약 360분에서 약 720분 사이에 급속한 상승을 보였고, 약 720분에서 약 1080분에서는 미미한 상승을 나타냈다. 그리고 약 1080분에서 시험 종료 시까지는 동상율의 상승을 볼 수 없었다. 또한, 온도별 동상율은 0 °C에서 -5 °C 사이에서 대부분의 동상율이 상승하였고, -5 °C에서 -15 °C까지는 약간의 상승하였으며, -15 °C에서 -23 °C에서는 동상율의 변화가 일어나지 않았다. 이는 보조기층재를 활용하여 동상방지층으로 사용하는 경우 동결시간 및 동결온도를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에 나타난 시험결과는 쇄석골재의 동상방지층 재료로서의 사용가능성을 검토하기 위한 전단계로 골재의 입도에 따른 투수특성 및 동상특성을 규명하였다. 이를 바탕으로 골재의 입도 기준에 따른 동상방지층 또는 차단층 재료의 사용기준 등에 활용될 수 있을 것으로 사료 된다.

이 논문은 2010년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2010).

REFERENCES

1. AASHTO, 1992. Resilient Modulus of Unbounded Granular Base/Subbase Materials and Subgrade Soils-SHRP Protocol P-46 AASHTO, T-294-92I, AASHTO, Washington D.C..
2. Guthrie, W. S., 2003. Frost Heave and Water Uptake Relations in Variably Saturated Aggregate Base Materials., Paper No. 03-4391, TRB, National Research Council, Washington.
3. Hivon, E. G. and D. C. Sego, 1995. Strength of frozen saline soils. *Canadian Geotechnical Journal* 32(1): 336-354.
4. Kim, D. S., and K. K. C., 1996. A Reliable Resilient Modulus Testing Technique on Subgrade Soils. *Journal of the Korean Society of civil Engineers* 16(1): 81-91.
5. Kim, Y. C., J. H. Bae and W. K. Song., 2002. An experimental study on the unfrozen water contents and ultrasonic wave velocity on frozen soil. *Journal of KSCE* 22(3): 207-217.

6. Kim, Y. J., 1999. A Study on the Frost Penetration Depth and Insulation Methods in Pavement. Korea Institute of Construction Technology.
7. Lee, K. H., 1997. Development of Alternative MR Testing Methods for Subgrade and Sub-base Materials, Korea expressway corporation, Seoul, Korea.
8. Lee, G. H., 1997. A Study on the Characteristics of Subbase and Non-Frost susceptible base Material with the Various Plastic Index(PI) (I). Korea Expressway Corporation.
9. MLTM, 2008. Report of aggregate resources. Seoul, Korea.
10. MST, 1992. Optimum design of foundations at frozen area-Construction technique research, Seoul, Korea.
11. Nixon, J. F., 1992. Discrete ice lens theory for frost heave beneath pipelines. *Canadian Geotechnical Journal* 29(1): 487-497.
12. Song, C. S., C. H. Ban and W. H. Chang, 1999. The freezing-thawing characteristics of soilcrete. *In Proc. of the 1999 KSAE Annual Conference*: 625-631.
13. Williams, P. J., 1977. Specific heat and apparent specific heat of frozen soil. *Geotechnique* 14(1): 132-142.
14. Yoon, Y. W., S. E. Kim, B. H. Kang, and D. S. Kang, 2003. Dynamic behavior of weathered granite soils after freezing-thawing. *Journal of the Korean Geotechnical Society* 19(5): 69-78.