SBR Latex를 이용한 흙 포장의 재료특성 연구

Study on the Effect of SBR Latex on the Properties of Soil Pavement

이 상 욱 Lee, Sang Yum
황 성 도 Hwang, Sung Do
양 성 린 Yang, Sung Lin

정회원 · 서울특별시 품질시험소 도로포장연구센터 센터장 · 공학박사 (E-mail : slee11@seoul.go.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 연구위원 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : sdhwang@kict.re.kr)
정회원 · 한국건설기술연구원 전임연구원 · 공학석사 (E-mail : siyang@kict.re.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : The purpose of this study is to determine the optimum addition rate of SBR latex through the evaluation of durability and strength of SBR latex applied soil pavement. Formerly used materials such as fly ash and cement in soil pavement had resulted in decreased durability due to micro crack by heat of hydration and shrinkage crack in winter. However, that agglutinated polymers help adhesion to aggregate increased comes up with preventing the crack opening when the number of capillary tubes of SBR latex get decreased in the hydration process of cement. Therefore, in this study, it is suggested that the evaluation of the field applicability of soil pavement be conducted through the performance lab test in terms of strength increment, adhesion improvement, and crack resistance based on SBR latex addition rate.

METHODS : In order to evaluate the field applicability of soil pavement, SBR latex was added 0 to 3% by 1% increment, with fixed cement contents of 3% and 5%. The resistance of shear failure and crack of soil pavement were evaluated by performing the uniaxial compressive strength test and indirect tensile strength test at -20 and 20°C, respectively.

RESULTSCONCLUSIONS : It was found out that from both tests, resistance of shear failure and crack were improved with increment of curing time, and especially more than 2% of SBR latex addition rate and 5% cement content gave better results.

Keywords

soil pavement, SBR Latex, cracking resistance, uniaxial compressive strength, TSR

Corresponding Author : Hwang, Sung Do, Researcher Fellow
Korea Institute of Construction Technology, 283, Goyangdae-Ro,
Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-312, Korea
Tel : +82.31.910.0180 Fax : +82.31.910.0161
E-mail : sdhwang@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)

Received Sep. 21, 2014 Revised Oct. 1, 2014 Accepted Oct. 6, 2014

1. 서론

국내 도로 포장은 20세기로 접어들면서 고속도로시대로 발전되어 왔으며 자동차 보급률이 급속도로 확산되면서 교통량이 증가함에 따라 고속도로, 국도 및 지방도로는 물론 자전거 전용도로, 공원, 주차장, 단지내 도로 등 포장 보급률이 크게 증가하고 있는 실정이다. 특히 도시화와 산업화에 따라 소비수준이 향상되고 생활양식의 다양화가 이루어져 도로망 확충에 있어서도 생활주변 모든 장소에서 이용이 편리한 도로 포장이 요구

되고 있다. 또한 최근 친환경 도로포장에 대한 관심이 높아짐에 따라 생활환경과 밀접한 관계를 가지는 도로, 즉 자전거 전용도로, 단지 내 도로 및 주차장 등에 사용되는 포장재료는 친환경적이며 도시경관과 조화를 이룰 수 있는 재료를 선호하고 있으며 점점 증가하는 추세에 있다.

이에 소일시멘트(Soil-cement)는 흙 포장의 한 종류로서 기존 아스팔트 및 시멘트 콘크리트 포장에 비해 자연친화적이며 환경친화적인 재료로서 인식되어 있으며

현재 자전거도로 및 단지내 포장에 사용되는 재료로서 상당히 선호되는 재료이다. 미국의 사우스 캐롤라이나 주에서 최초로 사용되었으며, PCA(Portland Cement Association)의 연구소는 1935년 포틀랜드 시멘트와 함께 다양한 종류의 흙을 균일하고 만족스런 혼합물로 생산하기 위한 과학적 방법에 대해 광범위한 개발을 시작하였다. 이 연구를 통해 소일시멘트 혼합물의 신뢰할 수 있는 실내 시험법과 현장 공사관리방법이 개발되었고, 1944년 ASTM(American Society for Testing Materials)과 1945년 AASHO(American Association of State Highway Officials)에 의해 표준으로 채택되었다. 그 이후 미국과 캐나다를 비롯하여 많은 나라에서 소일시멘트를 이용한 포장공사가 빠르게 확산되었고, 수많은 현장에서 우수한 공용성을 나타내며 소일시멘트의 실내 시험법과 공사규정들의 신뢰성이 증명되었다.

그러나 소일시멘트는 기존의 도로 포장에 비하여 큰 강도를 가지지 못하였기 때문에 소일시멘트의 강도증진을 위하여 특수한 혼화재료를 이용하는 연구도 활발히 진행되었다. 현재 일본에서는 여러 가지 고화제가 개발되어 사용되고 있으며, 최근에는 국내에서도 몇 가지 제품이 개발되어 사용되고 있다.

소일시멘트에서 시멘트가 물과 함께 흙과 혼합되어 다져지면, 흙에서 수화과정과 화학적 변화가 발생하게 된다. 이 혼합물은 내구성과 우수한 하중분산능력을 가지기 위해 수화반응과 함께 견고해지게 되고, 이때 미세 균열을 발생시키는 재료의 수축도 진행이 된다. 이러한 균열들은 혼합물의 건조와 수분손실, 시멘트 수화 반응에 따른 수분감소에 의해 발생한다. 비록 하중재하 전에 발생하는 미세균열이 혼합물의 압축강도에는 큰 영향을 미치지 않지만, 미세균열의 부피 변화에 의한 영향은 인장강도와 마찰력을 감소시키며 장기공용성의 감소를 낳게 한다. 그리고 높은 시멘트 함유량을 첨가하는 것은 비경제적일 뿐 아니라 추가적인 균열을 일으키게 된다.

소일시멘트는 또한 동절기의 지반동상현상(frost heaving)과 봄철 해빙기의 지반연화현상(frost boiling)으로 인해 포장면에 수축균열이 발생하게 된다. 이런 이유로 소일시멘트 포장 시 시공 조인트를 두게 되고 이로 인해 공사의 워커빌리티와 도로 미관의 저하, 그리고 주행성의 감소를 야기한다. 이러한 소일시멘트의 초기공사 시 발생하는 수화열에 의한 균열과 동절기의 수축균열에 대한 대책의 필요성이 제기되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 흙 포장의 균열저항성을 높이기 위하여 LMC(Latex Modified Concrete)용으로 많이 사용되고 있는 SBR Latex(Styrene-Butadiene Rubber Latex)를 첨가한 흙 포장(Soil Pavement, 이하 SP)에 대한 재료특성에 대해 연구하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 흙 포장에 대한 성능평가를 위해 시멘트 함량 및 SBR 라텍스 함량에 따른 실내 공용성 평가를 수행하였으며 모든 실험평가를 ASTM 및 KS 규정에 따른 시험방법을 선정하여 수행하였다.

먼저 흙 포장의 최적함수비(Optimum Moisture Contents, 이하 OMC)를 결정하기 위하여 시멘트 함량 3, 5%에 따른 다짐시험을 수행하였으며 재령 7, 14, 28 일에 따른 압축강도를 측정하였다. 또한 균열에 대한 저항성을 평가하기 위하여 SBR 라텍스의 첨가비율에 따른 간접인장강도 시험을 수행하였으며 압축강도와 동일한 양생조건과 함께 상온(21℃) 및 저온(-20℃)에서 수행되었다. 또한 재료의 안정성과 보존성을 유지하는 능력인 내구성 평가를 하기 위해 동결융해시험(12주기)을 수행하였으며 동결융해 횟수에 따른 수분저항성 평가를 위해 물속에 포화시킨 후 간접인장강도 시험을 수행하였다. Fig. 1은 SBR 라텍스가 첨가된 흙 포장의 역학적 거동특성 및 공용성능을 평가하기 위한 연구 흐름도를 나타낸다.

Fig. 1 Flow Chart for Performance Evaluation of Soil-Pavement Materials

3. 문헌고찰

3.1. 시멘트를 활용한 흙 포장의 특성

흙 포장은 일반 흙에 시멘트, 물 등을 혼합하여 중·저 강도부터 고강도까지 발현 가능한 일종의 콘크리트이며, 기존의 콘크리트와는 달리 상대적으로 높은 탄성률을 갖는 특징이 있다.

시멘트의 C_3S (Tricalcium Silicate)등과 흙의 SiO_2 성분, 물의 화학적 결합(수화작용)에 의해 발생하는 시멘트 페이스트(Cement paste)는 흙 입자간의 부착력을 증진시켜 강도발현, 내구성, 강성, 동상저항 등이 우수한 시멘트 혼합물을 형성한다. 일반적으로 흙 포장에 적합한 토질조건으로는 모래, 점토질 모래, 소성지수가 작은 점토 등이며 소성지수가 큰 점토에서는 다짐이 어렵고 건조수축이 커서 활용하지 못하고 있다.

유기물(organic substances)을 함유한 흙이나 소성이 높은 점토 및 반응성이 약한 사질토를 제외한 모든 종류의 흙에 적용이 가능하다. 일반적으로 #200번체 통과량이 5~35%인 흙이 적합하나 세립분(#200체 통과량)이 많거나 소성이 낮은 흙에서도 적용이 가능하다. 또한 2% 이상의 유기물질을 포함한 흙은 보통 포틀랜드 시멘트만으로 처리하였을 경우 지반안정의 목적으로 부적합하다.

골재의 입도는 콘크리트에서처럼 제약을 받지 않지만 일반적으로 최대골재의 크기는 50mm 정도이다. 흙 포장재료가 최대의 다짐효과를 발현하고 시멘트의 수화를 위해서 적절한 함수비가 필요한데, 흙 포장재료의 함수비는 일반적으로 10~13% 정도이며 생수나 산, 알칼리 또는 유기물이 없는 상대적으로 깨끗한 물이 사용된다. 해수를 사용하기도 하는데 해수에 있는 염화물은 초기강도를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 시멘트는 대부분의 경우에 있어서 1종 또는 2종 포틀랜드 시멘트가 주로 사용되며 혼합비는 개량효과나 흙의 종류에 따라 구분되지만 대부분 4~16%의 범위에 있다. 일반적으로 지반의 점토성분이 증가할수록 시멘트의 양도 증가한다.

시멘트의 효과를 증진하기 위해 플라이애쉬 등이 첨가제로 사용하기도 하는데 실제로 적용되는 시멘트의 종류나 플라이애쉬 그리고 흙의 특성을 고려한 실내시험 결과를 통해 각각의 함량이 결정되어야 한다. 소성이 높은 점토에 대해서는 석회가소성을 감소시키는데 이용되고, 시멘트와 혼합하기 전에 흙을 좀 더 부서지기 쉬운 상태로 만들어 균질한 혼합을 이루기 위해서도 사용된다.

Chiang and Chae(1972)의 연구에 의하면 흙 포장재료는 최적함수비보다 약간 건조측에서 압축강도가 최대로 나타나며 양생기간이 증가함에 따라 시멘트의 고화작용에 의한 압축강도가 증가하고 흙 포장재료의 압축강도에 함수비의 영향이 가장 크다는 실험적인 결과를 보이고 있다. 또한 시멘트를 첨가한 경우 사질토와 실트질 흙에서 최적함수비보다 약간 건조측에서, 점토질 흙에서는 약간 습윤측에서 압축강도가 최대로 발현된다(Davidson, 1972).

흙 포장재료의 효과는 점착성이 있는 흙의 경우 점착력을 영구히 보존케 하고 점착력이 없는 사질토에 있어서는 점착력을 갖게 하는 역할을 하며 이런 연유로 물이나 동결작용 및 교통하중에 대한 안정성이 확보된다.

원래 이 흙 포장재료는 독일에서는 콘크리트 공학적으로 고찰하여 빈배합의 콘크리트로 취급되었고 미국에서는 토질공학적으로 그 이론이 발달되어 왔다. 이것은 흙 포장재료를 강성재료로 생각할 것인가 유연한 연성재료로 생각할 것인가에 달려있다. 초기에는 흙 포장재료를 강성기초로서 포장재료로 사용되었으나 최근에는 오히려 유연한 특성을 기초로 하는 것이 우세하게 되었다. 그 이유로는 대개 초기에는 흙 포장재료의 시멘트량이 높은 부배합으로 사용되었으나 근간에는 빈배합으로 사용되므로 강성은 실제상 낮아졌으며 연성은 증가하였다.

흙 포장재료의 탄성계수는 밀도, 시멘트 량, 수량 및 배합도량에 의해 영향을 받는다. 응력-변형률곡선은 파괴강도의 1/3인 점까지는 거의 직선이며, 이 범위에서는 소성변형은 그렇게 중요하지 않으므로 완전탄성의 재료로 생각해도 좋을 것이다. 탄성계수는 시멘트 량이 높을수록 크고 또한 최대의 값을 나타내는 최적의 배합도량이 있다고 하며 프와송수는 배합도량이 많을수록 크고 시멘트 량과는 일정한 관계를 나타내지 않는다(Kim et al, 2006).

만족스런 특성과 서비스수준을 가지는 흙 포장재료를 생산하기 위한 첫 번째 필요조건은 체가름된 흙과 혼합되는 적절한 양의 시멘트를 결정하는 것이다. 두 번째는 흙 포장재료 혼합물을 균등하게 섞어주는 알맞은 물의 양이고, 세 번째는 시멘트 수화 전에 흙 포장재료 혼합물이 적절한 밀도를 가지도록 다져지는 것이다. 이러한 기초적인 요소들은 실내 시험들을 통해 어떠한 흙에 대해서도 결정될 수 있고, 현장에서도 정확하고 간단하게 조절될 수 있다.

흙 포장 혼합물에서 흙이 차지하는 비율이 굉장히 크

기 때문에 적절한 흙의 정의와 분류, 샘플링이 요구된다. 실내실험과 현장에서 흙 포장재료에 사용되는 흙은 자갈, 모래, 실트와 점토, 부순 재료와 슬래그, 혈암, 염류 피각, 규질암, 화산암 등 여러 가지가 혼합되어 사용될 수 있으며 어떠한 광물재료들도 시험을 통과한다면 흙 포장재료에 이용할 수 있다. 실용적인 이유로 인해 흙 포장재료에 사용되는 흙은 4번체에 남는 양이 45%를 넘어서는 안 되고, 입자가 2in 보다 커서는 안 된다. 부순 돌과 자갈 기층의 재료는 4번체에 남는 양이 45%보다 큰 것이 효과적이지만 굵은 입도 때문에 이러한 재료들은 낮은 입도의 재료에 비해 높은 시멘트 함량이 요구된다. 굵은 입도의 골재를 비롯하여 모든 흙 포장재료에 이용할 때는 ASTM이나 AASHTO의 표준 동결융해 시험과 습윤건조시험을 따라야 한다. 흙 포장재료의 품질과 특성에 영향을 미치는 4가지 주요 인자들은 1) 흙의 성질(점토, 실트, 모래, 굵은골재, 혼합물), 2) 혼합물의 시멘트 함량, 3) 다짐과 양생환경(수분, 온도, 시간)에서의 혼합물의 수분조건, 4) 다짐의 정도이다(Soil-cement Laboratory Handbook, 1992).

3.2. SBR Latex의 형성 및 특성

한 재료가 또 다른 재료에 부착될 때 중요한 요소는 부착되는 재료의 표면처리이다. 따라서 구조물의 보수·보강의 성능은 보수재료의 부착성능에 의해 크게 영향을 받는다. 라텍스 개질 콘크리트는 타설 시 시멘트 입자의 수화작용과 더불어 폴리머 필름막을 형성하고 이러한 폴리머 필름막이 굳은 콘크리트의 인장강도 및 부착성능을 향상시키는 역할을 수행하게 된다.

라텍스 개질 콘크리트의 시멘트 수화반응과 라텍스의 폴리머 과정은 다음과 같이 3단계로 간략하게 나타낼 수 있으며, Fig. 2에 잘 나타나 있다(Ohama, 1987).

Fig. 2 Simplified Model of Polymer-Cement Concrete-matrix Formations (Ohama, 1987)

1단계: 라텍스가 굳지 않은 시멘트 모르타르와 콘크리트에 배합될 때 폴리머 입자는 시멘트 페이스트 사이에 균일하게 분포한다. 폴리머 시멘트 페이스트에서 시멘트 겔은 점차 시멘트 수화반응에 의해 형성되고, 물은 수화반응 동안 형성되는 수산화칼슘에 의해 포화된다. 물 입자에 있는 수산화칼슘은 골재표면의 실리카와 재반응하여 칼슘-실리케이트 층을 형성한다.

2단계: 물이 증발하면서 시멘트 겔 구조가 발달하기 때문에 폴리머 입자는 미세공극에 갇히게 된다. 시멘트 수화반응이 진전됨에 따라 물은 감소하고, 폴리머 입자는 연속적인 필름막을 형성하기 위하여 응집하고, 동시에 혼합물과 골재위의 실리케이트 층에 부착한다. 이 경우에 혼합물에 존재하는 큰 공극은 폴리머 입자의 부착에 의해 채워진다. 그 이유는 시멘트 페이스트의 공극의 크기가 몇 백 picometer에서 몇 백 nanometer인 반면 일반적인 라텍스에서 폴리머 입자의 크기는 50~500nm이기 때문이다.

3단계: 마지막으로 시멘트 수화반응에 의해 물이 감소함으로 인해 시멘트 수화물에 있는 폴리머 입자는 연속적인 필름 또는 막과 합쳐지고, 필름과 막은 폴리머 면이 시멘트 수화면을 통과하여 스며들어 단일체의 조직을 형성함과 동시에 시멘트 수화물을 감싼다.

인장응력 하에서 라텍스는 미세균열 사이에 다리역할을 수행하여 접합력을 높이고 외부하중과 환경의 영향 하에서 미세균열의 전파를 억제한다. 콘크리트 내에서의 이러한 라텍스의 거동으로 인해 콘크리트의 불투수성, 내구성 그리고 강도특성에 있어 상당한 개선을 보인다.

일반적으로 라텍스의 혼입은 압축강도보다는 휨강도의 뛰어난 발현 특성을 보이는 것으로 보고되고 있다(Ohama, 1987). 시멘트 종류에 따라 약간의 차이는 보이지만 라텍스 혼입으로 형성된 충전효과와 더불어 시멘트골과 골재 사이를 더욱 강하게 이어주는 라텍스의 필름막으로 인해 뛰어난 휨강도 결과를 보이게 된다. 이러한 이유로 초속경시멘트에 라텍스를 혼입하여 재령 3시간에 교통개방을 목적으로 한 교량상판 보수재료가 상용화 되어 이용되고 있다.

포장재료의 투수저항성은 가장 중요한 평가항목 중 하나이다. 라텍스 혼입에 따른 콘크리트의 일반적인 투수특성은 Fig. 3과 같다(Chung et al, 2005). 통과전 하량은 라텍스 혼입률이 0%에서 20%로 증가할수록 크게 감소되어 라텍스 혼입이 투수성에 미치는 영향은 크다는 것을 보여준다. 즉, 라텍스 혼입률이 10% 증대되면, 혼입되지 않은 경우에 비해 투수성 감소를 보이며,

라텍스 혼입률이 15%, 20%일 경우 불투수성을 보인다. 따라서 일정량 이상의 라텍스 혼입은 경화 후 콘크리트가 낮은 투수특성을 갖게 한다.

Fig. 3 An Example of Chloride Permeability Reduction because of Latex (Chung et al, 2005)

일반적으로 포트랜드 시멘트를 사용한 시멘트 복합체는 팽창성광물인 다량의 Ettringite 생성으로 초기 균열 및 붕괴 등의 현상이 두드러져 내산성능이 현저히 저하되기 쉽다. 또한 시멘트 수화물은 염산과 반응하여 염화알루미늄, 염화철, 염화칼슘 등의 염화물을 만들며 용해되기 때문에 염산에는 매우 약한 특성을 갖는다. 한편 라텍스 개질 모르타르의 경우 시멘트 경화체 내부에 시멘트 수화가 진행됨에 따라 모세관수가 감소하고 그 자리에 폴리머 입자가 응집할 뿐만 아니라 충전층을 형성하여 골재표면에 잘 부착한다. 이러한 현상으로 시멘트 복합체는 수밀성이 커져 내화학적인 특성을 보이게 된다.

따라서, 본 연구에서는 시멘트 및 SBR Latex 혼입에 따른 흙 포장재료의 특성을 평가하고 경제성을 고려한 최적혼입비율을 선정하고 이에 따른 실내 공용성능에 대한 평가를 수행하여 실질적으로 단지내 포장 및 자전거 도로 포장용으로 활용가능성에 대한 평가를 수행하고자 한다.

4. 실내 공용성능 평가 및 결과 분석

본 연구의 목표는 흙 포장의 균열저항성을 증가시키기 위하여 SBR Latex를 첨가한 흙 포장의 공용성능 평가와 함께 현장 적용가능성에 대한 평가로서 1) 흙 포장재료의 물리적 특성(기본물성), 2) 흙 포장재료의 역학적 특성, 3) 흙 포장재료의 공용성 평가를 수행하였다.

4.1. 사용재료 및 물리적 특성

본 연구에서 사용된 흙의 종류로는 화강암이 풍화되어 생긴 마사토로서 배수성과 통기성이 좋아 조경수식재, 화분, 건설재료 등에 많이 사용되고 있는 재료를 사용하였으며 서울 소재 뉴타운 아파트 공사 현장에서 채취한 A급질 마사토로서 4.75mm 체크기를 통과한 마사토만을 이용하여 실내 실험을 수행하였다. Table 1은 시험에 사용된 흙의 기본물성을 나타낸다.

Table 1. Fundamental Properties of Soil Tested

Contents		Result
Sieve size analysis test	#4 4.75(mm)	0.24
	#8 2.36(mm)	7.22
	#50 1.16(mm)	1.94
	#100 0.075(mm)	2.17
	#200 0.075(mm)	30.11
	#200 passing(%)	0.45
Specific gravity		2.65
Liquid limit		21.28
Plastic limit		NP
Soil classification	unified soil classification	SW
Compaction test	optimum moisture content(%)	8.1
	maximum dry density(g/cm ³)	2.04

SBR 라텍스는 국내 K사에서 개발된 제품으로 스티렌 모노머(Styrene Monomer)와 부타디엔 모노머(Butadiene Monomer)를 유화 중합시킨 것이다. 비율은 스티렌 60~70%/부타디엔 30~40%로 구성되어 있으며 비중은 물과 유사하나 유화제가 포함되어 있어 측정에 어려움이 따른다. 액상의 형태로 이루어져 있고 시멘트와 혼화성이 우수하여 콘크리트에 첨가하여 사용하면 방수성, 내충격성, 강도보강성을 증진시켜 현재 LMC(Latex Modified Concrete)용으로 많이 사용되고 있다. Table 2는 사용된 SBR 라텍스의 기본성질이다.

Table 2. Properties of SBR Latex

Type	pH	Surface tension (dyne/cm)	Viscosity (cPs)	Solid content (%)	Specific gravity
Styrene-Butadiene Copolymer	10.5	30.5	180	47.1	1.017

흙 포장재료의 다짐 특성을 파악하기 위해 한국공업규격에 정해진 절차에 준하여 흙 포장의 함수량과 밀도 관계시험(KS F 2331)을 수행하였다. 시멘트 함량에 따

라 흙 포장재료의 다짐 특성이 다르게 나타나므로 본 연구에 적용된 시멘트 함량인 3%와 5%에 대해 각각 시험을 수행하였으며 시험결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Compaction Result of Soil Pavement by Cement Contents

Cement content(%)	Maximum dry density(g/cm ³)	Optimum moisture content(%)
3	1.92	11.3
5	1.93	10.5

4.2. 흙 포장재료의 역학적 특성평가

흙 포장재료는 다른 포장재료들과 동일하게 혼합물을 구성하는 여러 재료들의 배합비율에 따라 강도가 좌우된다. 본 연구에서는 SBR 라텍스와 시멘트 함량에 따른 혼합물의 거동을 비교하기 위하여 SBR 라텍스 첨가비율과 시멘트 함량을 변수로 선정하였다. 시멘트 함량에 따른 최적함수비는 Table 3에 나타난 결과를 동일하게 적용하였으며 시멘트 함량이 3%일 경우에는 최적함수비 11.3%, 5%는 10.5%의 함수비를 결정하여 적용하였다. SBR 라텍스는 시멘트 함량 3%, 5%에 대해 각각 1%, 2%, 3%를 적용하여 시편을 제작하였다. 일축압축강도(UCS: Uniaxial Compression Strength)용 시편은 지름 100mm, 높이 150mm로 제작하였으며 다짐장비로는 IPC사 Servopac 선회다짐기를 사용하였다. 또한 간접인장강도, 동결융해, 수분저항성 시험용 시편은 상기와 동일한 크기의 시편을 제작하고 재령일(7일, 14일, 28일) 2일 전에 높이 60mm로 절단하여 시편을 제작하였다.

Fig. 4 Specimens for IDT Test

4.2.1. 일축압축시험 결과 및 분석

시멘트 및 SBR 라텍스의 첨가비율에 따른 강도변화를 평가하기 위해 일축압축시험을 수행하였다. 일반적

인 압축강도시험용 공시체는 원주형으로서 높이가 지름의 2배가 되어야 하지만, 본 연구에서 사용한 공시체의 크기는 선회다짐기의 제한사항을 고려하여 직경 100mm, 높이 150mm로 하여 흙의 허용 최대입자 크기를 19mm로 제한하였으며, 최적함수비와 최대건조밀도의 조건으로 공시체를 제작하였다. 본 연구에서는 각각 라텍스 함량에 따른 다짐시험을 하지 않고 원시료(라텍스 0%)의 다짐시험결과에 따라 공시체를 제작하여 시험을 실시하였는데, 이는 Hopkins(1994)의 기존연구를 활용한 것으로 라텍스 함량별로 동일한 수분, 흙, 시멘트 함량에서 비교를 통하여 최적 배합을 선정하며 실험 결과들의 동등한 비교가 가능한 장점이 있다.

다져진 공시체는 Fig. 5와 같이 고무상자에 물을 채운 후 천을 씌워 주기적으로 물을 뿌려주며 최대한 항온/항습조건(21±1℃, 상대습도 93±3%)가 되도록 양생시켜 재령(7, 14, 28일)에 맞춰 압축강도시험을 상온 21℃에서 1mm/min.의 속도로 수행하였다.

Fig. 5 Specimen Curing Process and Compressive Strength Test

Fig. 6에서와 같이 라텍스 함량에 따른 압축강도의 증가는 28일에서 두드러지게 나타났고, 재령 7일과 14일에서는 압축강도의 증가는 크게 나타나지 않았다. 시멘트 3%와 5%에서 유사한 경향이 나타났기 때문에 이를 통해 라텍스에 의한 강도발현의 효과는 양생시간이 약 14일 이후부터 발생하는 것으로 판단된다. 라텍스 0%(시료명 3)와 1%(시료명 3-1)의 경우 7일, 14일, 28일의 압축강도에서 큰 증가가 보이지 않았지만 2%(시료명 3-2)와 3%(시료명 3-3)의 경우 28일 강도가 현저히 증가한 것으로 나타났다. 또한 양생기간이 시간이 지날수록 시료의 압축강도가 증가하였으며, 강도의 증가는 라텍스 함량 2%와 3%의 28일 강도에서 더욱 커졌다. 일반적인 콘크리트의 경우 28일이 지나면서 강도의

증가가 크지 않기 때문에 강도발현의 기준을 28일로 규정하고 있다. 라텍스 함량 0%와 1%에서는 강도발현에서 일반적인 콘크리트와 유사한 경향을 나타냈지만, 라텍스 함량 2%와 3%의 경우 14일에서 28일 사이에서 강도발현 효과가 큰 것으로 나타났다. 콘크리트에 라텍스를 첨가하였을 경우, 압축강도가 증가하는 경향을 찾을 수 없었지만(Ohama, 1987), 흙 포장재료에서는 라텍스 혼입으로 인해 흙 포장재료의 전반적인 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 6 Change of Compressive Strength with Curing Time by Cement and SBR Latex Contents

4.2.2. 간접인장강도 결과 및 분석

간접인장강도시험은 아스팔트 포장재료에서 사용되는 시험방법으로 수행하였으며 50.8mm/min 속도로 상온 21℃ 및 저온 -20℃에서 실험을 수행하였다. 실험의 오차를 줄이기 위하여 동일하게 다짐된 시편 하나에서 절단된 두 개 시편의 평균값을 사용하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 상온 및 저온에서의 시멘트와 라텍스 함량에 따른 양생시간 별 간접인장강도를 나타낸다. 그림에서와 같이 상온에서의 인장강도는 전반적으로 라텍스 함량이 늘어날수록 강도가 증가하는 것으로 나타났으며 7일과 14일보다는 라텍스 첨가에 따른 28일 인장강도의 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 반면, 저온에서의 인장강도는 라텍스가 증가함에 따라 강도가 증가되는 것으로 나타났으며 양생시간에 따른 강도증가는 7일 또는 14일에서 강도가 더 높게 나타나는 경향을 나타냈다. 특히, 시멘트 3%, 5% 함량에서 라텍스 첨가비율이 낮을수록 이러한 경향을 나타냈다. 이는 시멘트와 수분 또는 라텍스와의 수화반응이 발생되어 건조되는 과정이 없어 수분이 공시체 내부에 남겨져 있어 온도가 감소됨에 따라 수분이 얼면서 강도가 증가된 것으로 판단되며 저온에서의 특성 평가를 위해서는 28일 이후, 즉, 시멘트와 수

분 또는 라텍스와의 화학반응이 종료된 이후부터 실험을 수행하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 또한 아스팔트 포장과 같이 겨울철 5℃ 이하에서는 현장 시공을 수행할 수 없도록 흙 포장 역시 대기온도가 물의 어는점인 0℃ 이하에서는 현장 시공을 수행하지 않는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

Fig. 7 Tensile Strength by Cement and SBR Latex Contents (21℃)

Fig. 8 Tensile Strength by Cement and SBR Latex Contents (-20℃)

4.3. 흙 포장재료의 공용성능 평가 및 분석

4.3.1. 동결융해 시험

흙 포장재료의 내구성을 평가하기 위하여 KS F 2332 규정에 따라 동결융해시험을 수행하였다. 본 시험 방법은 다져진 흙 포장재료를 동결 및 융해 시 발생하는 손실량, 함수량의 변화 및 부피의 변화(팽창과 수축)를 측정하는 실험으로 현장의 환경하중을 모사하여 흙 포장의 내구성을 평가하는데 이용된다. KS 규정에는 동결융해시험용 몰드 규격뿐만 아니라 다짐방법 및 공시체의 크기까지 제시되어 있으며 동결융해온도 역시 제시되어 있다. 그러나 본 연구에서는 KS 규정에 제시되어 있는 동결융해시험용 몰드와 다짐 램머를 사용하지

않고 공시체의 편차를 줄이기 위하여 선회다짐기를 이용하여 시편을 제작하였다. 또한 KS 규격에 제시되어 있는 동결온도 -23°C 를 넘지 않는 범위 즉, 20°C 에서 동결을 24시간 동안 수행하고 용해는 21°C 에서 23시간 동안 수행되었으며 총 12주기(12회)의 동결융해 주기를 수행하여 시편의 무게 및 부피변화를 측정하였다. 동결융해의 한 주기가 끝난 공시체에 대해서는 철사 솔을 이용하여 전 표면을 강하게 2회 굽는 작업을 수행하였는데, 이때 일관된 결과를 위해 솔질 작업은 12주기 모두 한 사람이 수행하였고 솔질에 작용하는 힘은 1.4kg 으로 유지하였다.

Fig. 9와 Fig. 10은 동결융해 12회 후 시멘트 및 라텍스 함량에 따른 무게 손실률 및 부피변화율을 나타낸다. 그림에서와 같이 시멘트 5%가 첨가된 흙 포장재료가 3%를 첨가한 재료보다 적은 무게손실을 나타냈으며 두 경우 모두 라텍스 함량이 증가할수록 무게 손실률은 감소하였다. 본 연구에서 사용된 마사토는 SW로서 미국의 PCA 소일시멘트 동결융해시험 기준인 최대허용 무게 손실률이 모든 배합에서 14%보다 적은 수치를 나타낸다. Table 4는 미국의 PCA 동결융해시험 기준을 나

Fig. 9 Weight Loss by Cement and SBR Latex Contents (12cycles)

Fig. 10 Volume Change by Cement and SBR Latex Contents (12cycles)

Table 4. Criteria of PCA Soil Cement Freeze-Thaw Test (PCA, 1992)

AASHTO classification	Unified soil classification	Maximum allowed weight loss(%)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	14
A-1-b	GM, GP, SM, SP	14
A-2	GM, GP, SM, SC	14
A-3	SP	14
A-4	CL, ML	10
A-5	ML, MH, CH	10
A-6	CL, CH	7
A-7	OH, MH, CH	7

타낸다. 또한 동결융해시험 시작 전에 측정한 부피와 12주기의 동결융해과정을 거친 공시체의 부피에 대한 변화율은 시멘트 3%와 5%를 첨가한 혼합물 모두 라텍스가 첨가되지 않은 공시체보다 부피 변화율이 적게 나타났다. 이는 시멘트의 수화작용과 더불어 라텍스가 폴리머 필름막을 형성하고 필름막이 부착성능을 향상시켰기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 11은 동결융해 12주기 후 상온 21°C 에서의 간접 인장강도시험 결과를 나타낸다. 그림에서와 같이 시멘트 함량이 5%인 공시체가 3%보다 높은 인장강도를 나타냈으며 시멘트 3%와 5% 모두 라텍스 함량이 증가함에 따라 인장강도가 증가된 것으로 나타났다. 또한 기존 동결융해를 수행하지 않고 재령별 인장강도 측정결과(28일 재령)와 12주기 후 인장강도 측정결과와 거의 유사한 강도를 나타내었다. 이는 환경하중이 발생하더라도 인장강도를 발현할 수 있는 부착성능을 충분히 확보한 것으로 판단된다.

Fig. 11 Tensile Strength Change by Cement and SBR Latex Contents (12cycles)

4.3.2. 수분저항성시험

수분저항성 시험을 위한 공시체의 제작 역시 간접인

장강도시험 시료와 동일한 과정을 거쳤다. 선화다짐기를 사용하여 직경 100mm, 높이 150mm의 공시체를 제작하고 28일 간의 양생과정을 거친 후 높이 60mm로 절단하여 시료를 준비하였다. 본 연구에서는 수분에 대한 저항성을 평가하기 위하여 공시체포화예비시험을 수행하였다. 그 결과, 양생이 된 공시체를 진공을 시키지 않고 물속에 10분 동안 수침시켰을 때, $60 \pm 5\%$ 의 포화도를 나타내었다. 이 결과를 바탕으로 수분저항성시험에 사용될 모든 28일 재령 공시체를 10분간 수침시키고 꺼낸 다음 곧바로 랩으로 공시체를 감싸 수분의 손실을 막았다. 각 공시체는 물이 담긴 용기에 담아 -20°C 에서 15시간 동안 동결 후 60°C 에서 24시간 동안 용해를 거치는 과정을 1주기 수행하였다.

Fig. 12와 Fig. 13은 수분저항성 공시체의 인장강도 및 인장강도 비(Tensile Strength Ratio, 이하 TSR)를 나타낸 것이다. 시멘트 3%와 5% 모두 원래의 간접인장강도시험 결과와 같이 라텍스가 증가할수록 인장강도가 현저히 증가하는 것으로 나타났지만 TSR에서는 뚜렷한 차이를 나타나지 않았다. TSR 시험 결과에서는 큰 효과를 나타내지 않았지만 인장강도에서는 라텍스

Fig. 12 Tensile Test Results of 1 Cycle Freeze-Thaw Conditioning

Fig. 13 TSR Test Results of 1 Cycle Freeze-Thaw Conditioning

3%에 대해 각각 3.9배와 2.7배의 높은 강도증가가 나타났기 때문에 수분저항에 대한 라텍스의 효과가 만족스러운 것으로 판단된다.

모든 공시체에 대한 TSR시험 결과 값은 아스팔트 혼합물의 기준인 0.8을 만족하지 못한 것으로 나타나 아스팔트 혼합물 기준을 훌 포장의 수분저항성시험을 직접적으로 적용하는 것은 한계가 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 SBR 라텍스가 첨가된 흙 포장재료에 대한 실내 역학적 특성 및 공용성 평가를 수행하고 현장 적용 가능성에 대한 평가를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 역학적 특성평가 결과, 라텍스 함량 및 시멘트 함량, 양생시간이 증가할수록 강도증진 효과가 있는 것으로 나타났으며, 특히 라텍스 2, 3%를 첨가한 시편에 대해서는 28일 이후에도 압축강도가 증가될 것으로 판단된다. 또한 인장강도 역시 상기와 같이 라텍스 및 시멘트, 양생시간이 증가할수록 인장강도가 증가되는 것으로 2% 이상의 SBR 라텍스 첨가는 미세균열의 전파를 억제하고 인장수축 균열을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.
2. 동결융해시험 결과, 12주기를 거친 공시체의 라텍스 함량, 시멘트 함량이 증가할수록 인장강도가 증가되는 것으로 나타났으며 무게손실을 역시 감소되는 것으로 나타났다. 또한 모든 공시체들이 PCA의 무게손실 허용기준을 통과하였으며 특히, 라텍스의 첨가비율이 증가할수록 공시체의 무게 및 부피변화율이 적게 나타나 부착성능 향상에 큰 효과가 있는 것으로 판단된다.
3. 아스팔트 혼합물의 수분저항성 평가방법인 TSR 시험을 적용한 결과 라텍스 및 시멘트 함량에 따른 인장강도 증진에 대한 효과는 나타났지만 TSR 시험 결과를 아스팔트 혼합물의 기준인 0.8을 만족시키기에는 한계가 있는 것으로 나타나 흙 포장의 수분저항성 평가를 위한 새로운 방법의 시험법을 개발해야 될 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 SBR Latex를 활용한 흙 포장재료는 강도증진효과와 더불어 환경하중에 대한 저항성이

높은 것으로 평가되었으나 수분에 대한 저항성은 취약한 것으로 판단된다. 향후에는 흙 포장에 대한 수분저항성을 명확하게 평가할 수 있는 시험방법과 기준을 제시할 수 있는 국가 시방기준을 정립해야 할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 28일 이후 최대강도가 발현되는 것으로 유지보수 또는 긴급보수구간에 적용하기에는 부적합한 것으로 나타났으며 이러한 문제를 해소하기 위해서는 조기강도 발현을 할 수 있는 방법에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- Chiang, L. R and Y. S. Chae(1972), "Dynamic properties of Cement Treated Soils", H. R. R., p.379.
- Dvidson, D. T., G.L Pitre and K. P. George(1972), "Moisture Strength and Compaction Characteristics of Cement Treated Soil Mixtures", H. R. B. Bull, p.353
- S. G. Kim, W. J. Kim, H. B. Kang and J. R. Kim(2006), "A Study of Engineering Characteristics of Soil-cement", the Korean Society of Civil Engineers conference regular 2006, pp.1657-1660.
- Portland Cement Association(PCA)(1992), "Soil-Cement Laboratory Handbook", Skokie, Ill.
- Yoshihiko Ohama(1987), "Concrete Admixtures Handbook", 콘크리트工學, Vol. 25, 1987.
- W. K. Jeong, D. H. Kim and K. K. Yun(2005), "Estimation of Durability in Freezing and Thawing of Concrete for Plane Spacing Factor", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 25, No. 5.