

화산쇄설물을 사용한 소일콘크리트의 물리적 특성과 도로포장의 적용

홍 종 현

탐라대학교 사회환경시스템학과

(2009년 5월 26일 접수; 2009년 6월 11일 수정; 2009년 6월 27일 채택)

Physical Properties of Soil Concrete Using Volcaniclastic and the Application to Roadway

Chong-Hyun Hong

Department of Civil and Environmental System Engineering, Tamna University, Jeju 697-703, Korea

(Manuscript received 26 may, 2009; revised 11 June, 2009; accepted 27 June, 2009)

Abstract

The development of a new type of soil-cement concrete pavement using volcaniclastic is the main purpose of this study. Various mixture ratios, specimens' penetration resistance, time of setting, slump flow of freshly mixed concrete, compressive strength and color characteristics of hardened concrete were studied. It was concluded that the optimum weight ratio of cement:volcaniclastic to produce good properties of soil-cement concrete is 1:3 and the use of volcaniclastic as main aggregate can improve the concrete surface color that is warm earth-tone road color. Therefore, commercial development for soil-cement concrete pavement using volcaniclastic is highly promising.

Key Words : Volcaniclastic, Soil-cement concrete, Earth-tone road color

1. 서 론

최근 콘크리트나 아스팔트에서 벗어나 흙을 이용한 친환경 흙포장 공법을 공원이나 산책로 그리고 유적으로 등에 적용하는 사례가 늘고 있다^{1~3)}. 흙포장 공법의 장점은 원재료인 흙을 현장에서 쉽게 구할 수 있고, 표면마모에 따른 색바래미 없고, 흙이 가지는 고유한 색상과 질감을 가지므로 포장표면이 자연친화적이다. 흙의 기본특성인 원적외선 방출, 통

기성 우수, 열전도율이 낮아 쾌적한 보행조건, 특히, 장기간 시간이 경과하면, 풍화과정을 통해 자연상태로 회귀하는 장점이 있다. 그러나, 흙 속에 함유된 유기물중의 부식산(humic acid) 및 펄빅산(fulvic acid)은 시멘트의 수화반응에 의해 생성되는 수산화칼슘과 반응하여 부식산 칼슘을 생성하고 이와 같은 생성물이 수화되지 않은 시멘트 입자를 파괴시켜 시멘트의 수화반응을 저해하여 소일콘크리트의 강도가 낮은 단점이 있다. 뿐만아니라, 강도, 표면질감, 색상, 투수성, 동결융해정도 등에 대한 흙포장 조성에 필요한 일정한 기준이 없기 때문에 업계에서는 의뢰자와 시공자 간에 불편한 점이 많다. 즉, 흙 고유의 특성을 살리다보면 포장재로서의 강도가

Corresponding Author: Chong-Hyun Hong, Department of Civil and Environmental System Engineering, Tamna University, Jeju 697-703, Korea
Phone: +82-64-735-2115
E-mail: jhhong@tnu.ac.kr

낮아지고, 흙포장 강도에만 치우치다보면 흙포장의 원래 의미가 무색해질 정도로 콘크리트와 동일한 질감을 나타내며, 균일한 품질관리가 어렵다는 점이다. 특히, 고강도화를 위해 쇄석골재와 잔골재를 투입하고 시멘트를 다량 사용하며, 흙을 안료의 개념으로 일부 사용하는 방법들이 제시되고 있으나, 이것은 흙포장이라고 하기에는 문제가 있고, 흙을 안료로 사용한 콘크리트 포장으로 간주해야 한다^{4~7)}.

본 연구에서는 흙포장 조성에 사용되는 소재로서, 화산활동에 의해 천연 소성됨으로써 유기물의 함유량이 적은 화산쇄설물을 사용한다. 화산쇄설물은 화산활동으로 생성된 용암석, 스크리아(scoria), 화산재, 화산탄 등이 혼합되어 암반과 암반사이에 협재되어 있는 퇴적물을 의미하는 것으로 제주도내의 석산에 방대한 량이 발생되나, 주로 복토용 재료나 매립용으로 사용되고 있어 부가가치가 매우 낮다. 따라서 화산쇄설물을 도로포장에 적용하여 고부가가치의 제품제조에 사용하고자 한다. 본 목적을 위해 화산쇄설물, 시멘트, 물의 혼합에 의해 조성되는 화산쇄설물 콘크리트의 압축강도와 슬럼프 같은 물리적 특성이 연구되었고, 자연도로와 같은 색상과 질감에 대한 연구, 기능에 대한 연구, 시공상의 문제점 그리고 내구성에 대한 연구가 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

콘크리트는 골재를 결합재(일반적으로 시멘트)로 일체화 시킨 결합체로서, 일반적인 콘크리트의 구성비율은 대략적으로 골재가 체적의 70%, 물이 15%, 시멘트가 10%, 공기가 5%로 구성된다. 따라서, 체적의 70%를 차지하는 골재의 품질이 콘크리트의 품질에 결정적인 영향을 준다. 본 연구에서는 제주도 서귀포시에 위치한 석산에서 채취된 화산쇄설물을 이용하여 소일콘크리트를 제조하였으며, 소일콘크리트의 노출된 독특한 질감 표출을 주 목적으로 한다. Fig. 1에 화산쇄설물 관련 사진을 나타내었다. Fig. 1에서 (a)는 제주도 서귀포시 안덕면 소재의 석산에 분포된 화산쇄설물을 나타내고 있다. 제주도는 화산섬으로서 석산에 다량의 적색 화산쇄설물이 분포하고 있으며, 주 사용용도는 도로와 매립지의 매립에 사용된다. (b)는 적색의 화산쇄설물을 선별

및 운반 후 적재한 사진을 나타내고 있다. (c)는 소일콘크리트 제조를 위해 화산쇄설물을 파쇄 및 입도조정 후 아적인 사진을 나타내고 있다. 그리고 (d)는 화산쇄설물을 이용하여 소일콘크리트를 제조하는 장비 사진을 나타내고 있다.

Table 1에 소일콘크리트에 사용된 화산쇄설물 골재의 물리적 특성을 나타내었다. 절건밀도, 표건밀도, 흡수율은 KS F 2503, 액성한계, 소성한계, 소성지수는 KS F 2303, 마모율은 KS F 2508, 0.08 mm 통과량은 KS F 2511의 방법으로 시험하였다. 시험결과 화산쇄설물 골재는 일반적으로 사용하는 콘크리트 쇄석골재와 비교하여 밀도가 낮고, 흡수율이 높고, 미립분이 많이 포함된 것으로 나타났다.

Table 2는 화산쇄설물 골재의 화학구성 성분을 분석한 것이다. $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ 성분이 74.3%로 대부분을 차지하고 있고, Fe_2O_3 구성성분이 높아 적색을 띠는 특징이 있다. Table 3은 화산쇄설물 골재를 흙의 개념으로 간주할 때의 입도분석 결과를 나타낸 것이다. 입도시험은 KS F 2302의 방법으로 시험하였고 모래질흙(SM)에 해당되었다. 화산쇄설물 골재는 미립분을 상당량 함유한 콘크리트 골재로서의 개념으로 받아들여 천연칼라의 색상과 질감을 나타내는 디자인 중심의 콘크리트 제조에 주 구성성분으로 사용될 수 있다고 판단된다.

2.2. 배합설계

최적의 배합비를 도출하기 위해 Table 4와 같이 5가지 시리즈로 배합설계를 하였다. W는 단위수량, C는 단위 포트랜드 시멘트량, S는 화산쇄설물 단위 골재, Sr은 단위 석분량 그리고 AE는 AE감수제를 의미한다.

배합설계의 개념은, Series-1에서 Series-3은 물-시멘트비(W/C)가 50%인 경우, 단위 시멘트량이 300 kg/m^3 , 400 kg/m^3 , 500 kg/m^3 으로 변화할 때, 즉, 시멘트와 화산쇄설물 골재의 중량비율이 대략 1 : 5, 1 : 3, 1 : 2인 경우의 압축강도 변화와 슬럼프 변화를 관찰하고자 설정하였다. Series-4와 Series-5는 단위 시멘트량이 400 kg/m^3 인 경우, 화산쇄설물 골재의 20%와 40%에 해당하는 체적을 석분으로 대체 사용한 경우이다. 시멘트 사용량을 증가시키지 않고, 석분을 사용했을 때 소일콘크리트의 압축강도와 유동성의 변화를 관찰하고자, 소일콘크리트의 표면 색

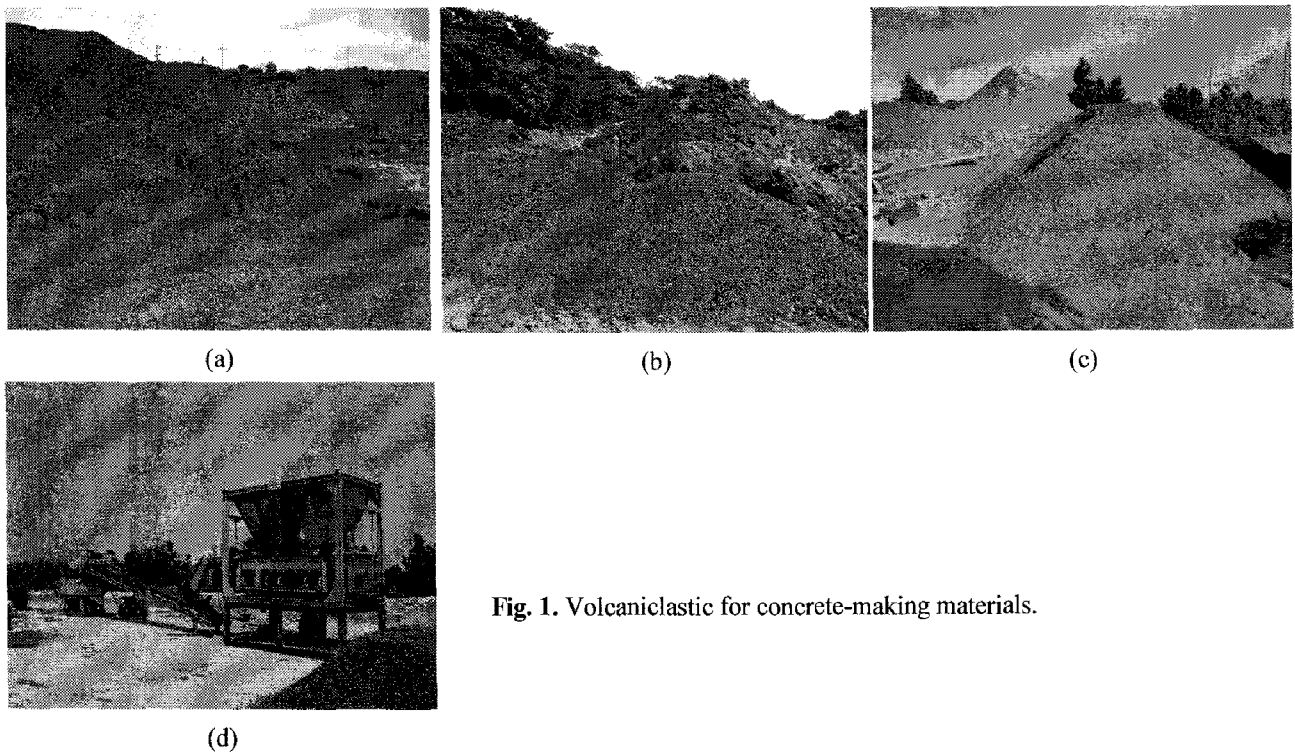


Fig. 1. Volcaniclastic for concrete-making materials.

Table 1. Physical properties of volcaniclastic

Test items	Dry basis density (g/cm ³)	Saturated surface - dry basis density (g/cm ³)	Water absorption (%)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plasticity index	Abrasion (%) (GradingC)	Finer than 0.08 mm (%)
Results	1.73	1.99	14.96	27.6	N.P	N.P	44.8	27.0

N.P is the abbreviation for Non-plastic.

Table 2. Chemical composition(unit: wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Ig.loss
48.1	13.5	12.7	9.05	7.96	1.25	3.37	2.51	0.18	0.79	0.15

Table 3. Soil properties

Soil properties	Results	Soil properties	Results
Coarse gravel(19~75 mm)	0.0%	Maximum particle size	19 mm
Medium gravel(4.75~19 mm)	16.0%	D60	1.6 mm
Fine gravel(2~4.75 mm)	18.0%	D50	0.94 mm
Coarse sand(0.850~2 mm)	18.1%	D30	0.21 mm
Medium sand(0.250~0.850 mm)	16.2%	D10	0.005 mm
Fine sand(0.075~0.250 mm)	9.3%	Uc	320.00
Silt(0.005~0.075 mm)	12.4%	U'c	5.51
Clay(under 0.005 mm)	10.0%	USCS	SM

Table 4. Mixture proportion details(unit : kg/m³)

Series	W*	C*	S*	Sr*	AE*
Series-1	150	300	1413	0	1.5
Series-2	200	400	1250	0	2.0
Series-3	250	500	1086	0	2.5
Series-4	200	400	1000	325	2.0
Series-5	200	400	750	651	2.0

*W(water), C(cement), S(sand), Sr(screenings), AE(air entraining agent)

상에 큰 변화가 없는 범위에서, 석분을 골재 체적의 20%와 40%를 사용하는 것을 변수로 설정하였다. 석분의 비중은 2.59이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 압축강도

Fig. 2에 Table 3의 Series-2로 배합한 소일콘크리트의 3일, 7일, 14일, 28일 압축강도를 나타내고 있다. 압축강도시험은 KS F 2328 기준에 따라 실시하였다. 압축강도가 시간의 경과에 따라 증가하는 것을 관찰하였다. 화산쇄설물의 흡수량이 높아 실제 물의 사용량은 225 kg/m³를 사용하였다. Fig. 3은 W/C=50%인 경우, 28일 양생기준으로 시멘트의 량이 300, 400, 500 kg/m³으로 변화할 때의 압축강도 변화를 관찰한 것이다. 시멘트의 사용량이 증가할수록 압축강도가 높아지는 것을 알 수 있다. 이것은 시멘트의 사용량이 많아질수록 화산쇄설물의 미립분과 반응하는 량이 증가하기 때문이다. Fig. 4는 시

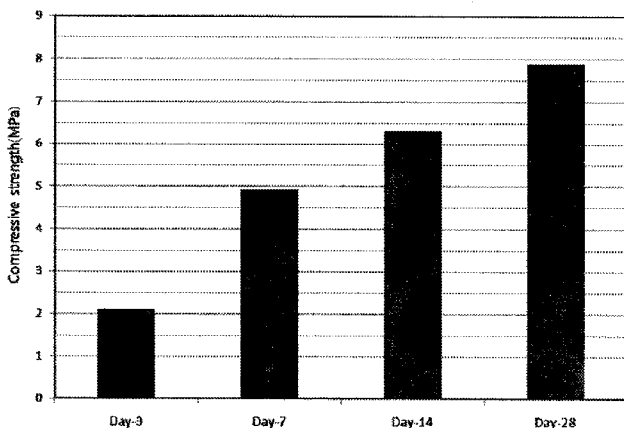


Fig. 2. Curing days versus compressive strength.

멘트의 사용량을 400 kg/m³으로 고정하고, 석분을 골재 체적의 20%와 40% 대체 사용한 배합시리즈 Series-4와 Series-5의 압축강도 증가를 관찰한 것으로, 석분의 량이 40%일 때 압축강도가 대폭 증가한 것을 알 수 있다. 이것은 석분골재 자체의 강도가 화산쇄설물 골재의 강도보다 양호한 조건이기 때문에 석분을 대량 사용한 경우는 강도가 높아진다고 판단된다. 따라서, 화산쇄설물을 사용한 소일콘크리트는 시멘트의 량이 증가할수록 석분의 량이 증가할수록 압축강도가 증가하며, 바닥포장을 위한 최소한의 압축강도가 7 MPa 이상으로 설정할 경우, 배합시리즈 Series-2가 적합하며, 강도증진을 위해 석분을 사용하는 경우는 Series-5가 적합한 배합으로 판단된다.

3.2. 응결시간 및 슬럼프 플로

화산쇄설물을 사용한 소일콘크리트를 시공하기 위해서는 적당한 응결시간과 유동성이 있어야 한

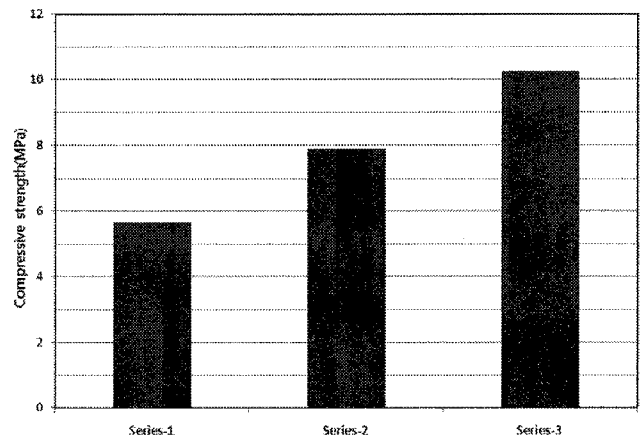


Fig. 3. Mixture series versus compressive strength.

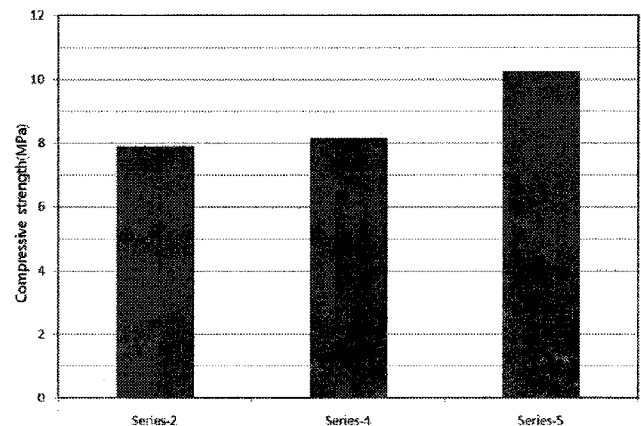


Fig. 4. Mixture series versus compressive strength.

다. Table 3에 나타난 바와 같이 화산쇄설물 골재는 실트와 점토가 22.4% 함유하고 있다. 실트와 점토는 물을 다량 흡수하고 기경성을 나타내기 때문에 물, 시멘트, 실트와 점토가 혼합된 후, 시공을 위해 믹서기에서 토출된 이후, 실트와 점토의 기경성에 따라 조기에 유동성을 잃어버리게 된다. 즉, 콘크리트 미장작업에 필요한 시간 여유가 없는 단점이 발생된다. 이러한 단점을 극복하고자 다량의 물을 사용하면, 압축강도가 낮아지고, 내구성이 나빠지는 문제가 발생된다. 따라서, 콘크리트 미장작업이 가능한 적당량의 물을 사용하여 배합하는 것이 중요한데, 이 때 소일콘크리트의 슬럼프와 유동성 성질을 사전에 파악하고 있어야 한다. 화산쇄설물과 시멘트 그리고 물이 최초 혼합된 후, 시공까지 최대 2시간 이내에 작업이 이루어 져야 하고, 믹서기에서 토출된 이후 30분 이내에 작업이 완료되어 양생이 진행되어야 한다.

Fig. 5에 관입 저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험(KS F 2436) 결과를 배합시리즈 Series-1에서부터 Series-5까지 비교하여 나타내고 있다. Fig. 6은 시멘트의 량이 300, 400, 500 kg/m³ 증가할수록 초결 응결시간과 종결응결시간이 증가하는 알 수 있다. 이것은 시멘트가 많아질수록 시멘트의 수화반응시간에 의해 응결시간이 결정되기 때문이다. Series-1의 초결응결시간은 204분이고 종결응결시간은 567분이다. Series-2의 초결응결시간은 286분이고 종결응결시간은 593분이다. Series-3의 초결응결시간은

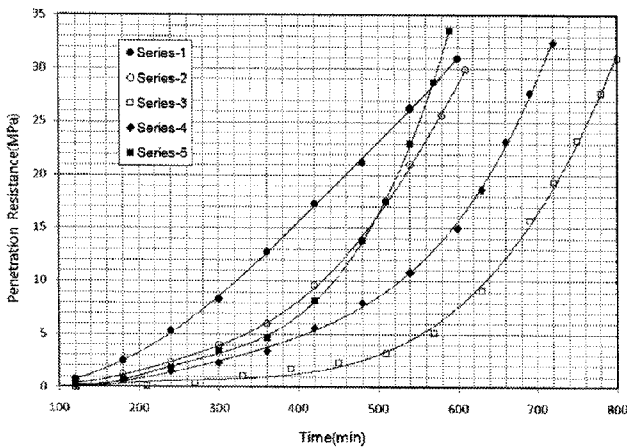


Fig. 5. Elapsed time versus penetration resistance for mortar fractions from five different concrete mixtures.

522분이고 종결응결시간은 782분이다. Series-1과 Series-2와 비교하여 Series-3은 초결응결시간과 종결응결시간이 대폭 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 시멘트의 사용량은 일정하게 유지하고, 석분을 대체 사용한 Series-4와 Series-5의 응결시간을 관찰한 것이다. Series-4의 초결응결시간은 355분이고 종결응결시간은 692분이다. Series-5의 초결응결시간은 320분이고 종결응결시간은 565분이다. 석분을 대체 사용한 경우 초결응결시간이 Series-2와 비교하여 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 석분을 대체 사용한 만큼 화산쇄설물 골재의 실트와 점토 사용량이 낮아지기 때문에 기경성의 성질이 저감되기 때문으로 판단된다. 따라서, 석분을 사용하게 되면 초결응결시간이 증가하게 된다. Fig. 8과 Fig. 9에 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로 시험(KS F 2594) 결과를 나타내고 있다. Fig. 8에서 Series-1은 44.0 cm, Series-2는 60.0 cm, Series-3은 71.0 cm로 나타났

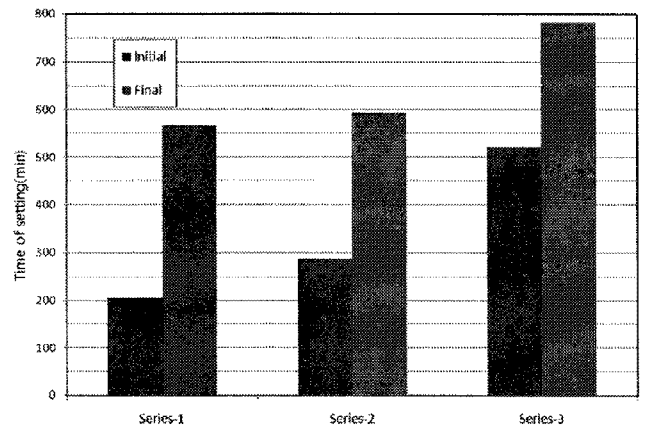


Fig. 6. Mixture series versus time of setting.

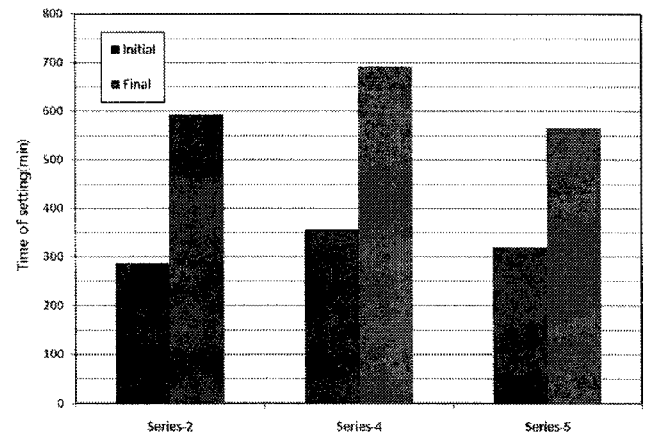


Fig. 7. Mixture series versus time of setting.

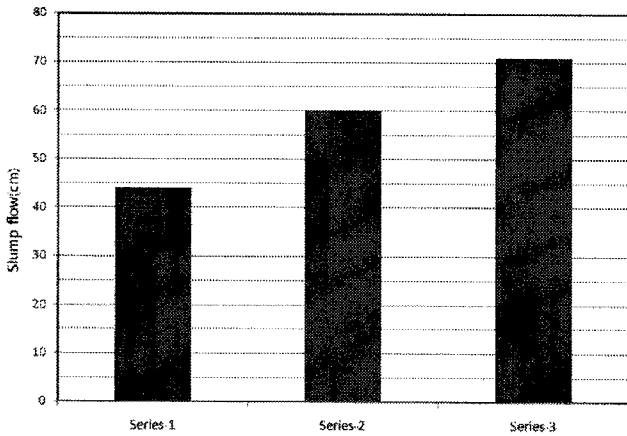


Fig. 8. Mixture series versus slump flow.

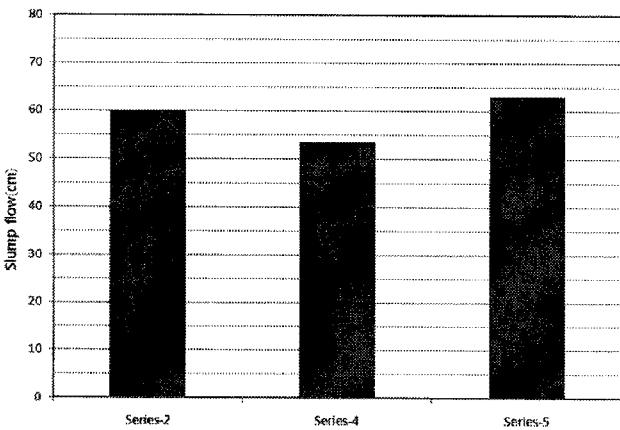


Fig. 9. Mixture series versus slump flow.

다. 시멘트의 사용량이 증가할수록 슬럼프 플로가 큰 폭으로 증가하는 것을 알 수 있다. 즉, 시멘트 사용량이 많아질수록 유동성이 높아 슬럼프 플로우가 높아지는데 이것은 시멘트 입자의 분산성에 기인한

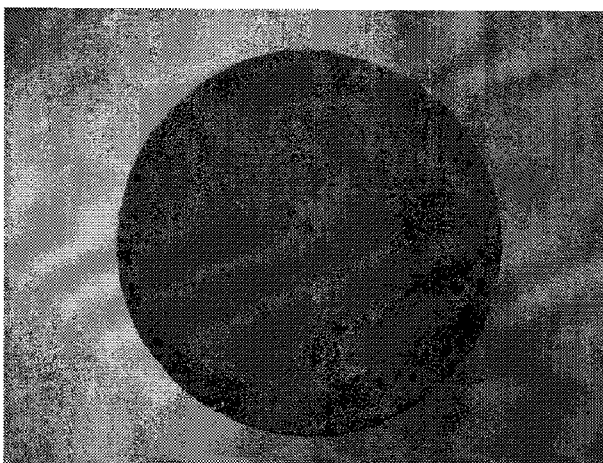
것으로서 시멘트가 실트와 점토의 분산에 기여하는 것으로 판단된다. Fig. 9에서 Series-4는 53.5 cm, Series-5는 63.0 cm로 나타났다. 석분을 대체 사용한 경우는 슬럼프 플로에 큰 영향을 주지는 않는 것으로 나타났다.

3.3. 색상분석

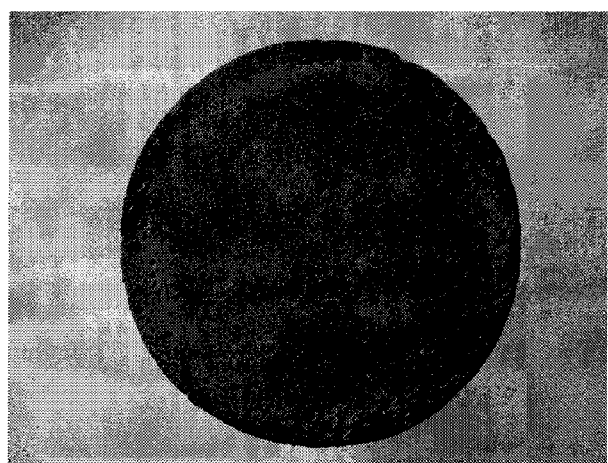
Fig. 10에 Table 3의 Series-2 배합비로 제조된 소일콘크리트 시편(a)과 표면에 표면강화제(Wet Look Lacquer, White Mountain)를 2회 도포한 시편의 사진을 나타내고 있다. 한국표준색표집을 이용하여 색상을 조사한 결과, 시편 (a)의 색상은 6YR, 명도는 6, 채도는 4로 나타났고, 시편 (b)의 색상은 6YR, 명도는 5, 채도는 4로 나타났다. 화산쇄설물을 사용한 소일콘크리트는 색상이 화산섬인 제주지역의 적색의 용암 클링커와 유사한 색상으로 지역의 자연환경과 일치되는 것으로 나타났다.

3.4. 시험시공

2008년 2월 17일 제주시 교래리 휴양림 소재의 전통초가 8채의 바닥을 화산쇄설물을 사용한 소일콘크리트로 시공하였다. 배합설계는 Table 4의 Series-2를 사용하고 초기건조수축 균열을 억제하기 위해 PVA 섬유를 0.9 kg/m³ 추가 사용하였다¹⁾. 바닥포장의 두께는 8 cm로 설정하였다. Fig. 11의 (a)와 같이 레미콘믹서트럭을 이용하여 배합하였고, (b)포크레인 장비와 인력을 이용하여 포설작업을 한 후, (c)표면을 평탄하게 미장한 후, (d)최종 완성된 바닥표면은 비닐과 양생포를 이용하여 양생하였다. Fig. 12에

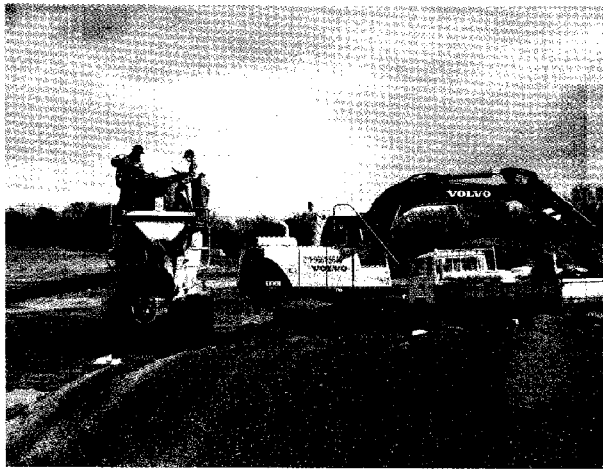


(a)



(b)

Fig. 10. Photographs of soil concrete specimens.



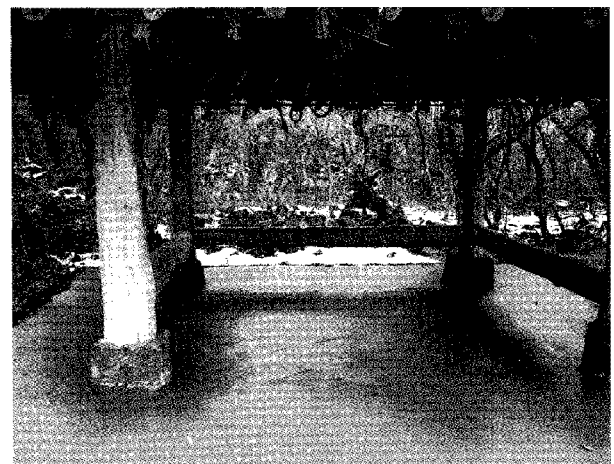
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 11. Photographs of construction process.



(a)



(b)

Fig. 12. Photographs of thatched-roof house.

최종 완성된 전통초가 전경사진을 나타내고 있다. 초가지붕과 바다의 소일콘크리트 포장이 조화를 잘 이루고 있어, 문화재 지역의 전통초가와 도로포장에 적용가능성이 높다고 판단된다. 배합에서부터 양생에 이르기 까지 총 2시간 이내의 범위에서 실시하였고, 시공 후 균열은 전혀 관찰되지 않았다. 현재, 내구성과 색상변화에 대해서는 1년 이상의 장기 관찰이 이루어졌으며, 초기품질상태와 동일한 상태를 유지하고 있다.

4. 결 론

1) 화산쇄설물을 사용한 소일콘크리트의 물리적 특성을 관찰한 결과, 소일콘크리트의 배합이 시작되고 믹서기에서 토출되어 유동성을 잃지 않고 작업할 수 있는 시간적 범위는 화산쇄설물 골재를 100% 사용한 경우는 30분 내외로 판단되고, 석분을 20~40% 대체 사용하면 그 시간은 증가하는 것으로 나타났다. 골재의 특성상 물의 사용량이 많기 때문에 소일콘크리트 타설 후 반듯이 비닐을 이용하여 보온 양생해야 표면강도가 높게 유지된다.

2) 소일콘크리트에서 시멘트 량이 증가할수록 응결시간이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 시멘트 함유량에 따른 색상의 초기변화는 적은 것으로 나타났다. 따라서, 압축강도와 작업시간의 증대를 위해서, 색상의 큰 변화가 없는 범위에서, 배합비 Series-5인 S=80%, Sr=20% 배합이 가장 적합하다고 판단된다.

3) 골재로 사용되는 화산쇄설물은 파쇄 후 마른 상태로 적재하고, 시멘트 혼합 후 건식비빔 후 물을 투입하는 것이 바람직하다. 따라서, 화산쇄설물을 파쇄공정 후에 비에 노출되지 않도록 해야 한다. 그리고, 화산쇄설물 소일콘크리트의 배합에 사용되는 골재의 입도분포와 품질이 최종 제품의 강도와 색상에 가장 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 향후 장기적인 관찰을 통해 소일콘크리트의 내구성과 사용처 확대에 대한 추가 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) 홍종현, 김문훈, 양철신, 2006, 친환경 도로포장용 투수콘크리트의 제조와 이를 이용한 도로포장 시스템의 수질정화 특성, 한국환경과학회지, 15(11), 1045-1052.
- 2) 홍종현, 김문훈, 류성필, 정광욱, 2006, 굵은골재 최대치수 40 mm 투수콘크리트의 물리적 특성과 질소산화물 제거에 관한 연구, 한국환경과학회지, 15(5), 431-438.
- 3) 정동영, 최경락, 홍종현, 김문훈, 2007, 산업폐기물 레드머드를 사용한 친환경 칼라 콘크리트 개발을 위한 실험적 연구, 한국환경과학회지, 16(8), 929-939.
- 4) Robert H. K., 1994, Cracking in Soil Cement : Cause, Effect, Control, Concrete International, 16(8), 56-59.
- 5) Paul E. M., 1991, Mixing Procedures for Soil Cement, Concrete International, 13(1), 53-55.
- 6) Wayne S. A., 1991, Soil Cement - A Material with Many Application, Concrete International, 13(1), 49-52.
- 7) Joseph F. L. and H. P. James, 2006, Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials, ASTM, 86-98.