

그라우트 재료로서 광물찌꺼기 혼화재의 활용 가능성 평가

김대현, 노정두, 강성승*

Applicability Evaluation of Tailing Admixture as Grout Material

Dachyeon Kim, Jeongdu Noh, Seong-Seung Kang*

Abstract The purpose of this study is to evaluate the applicability of tailing in the OO mine as a grout material. For the purpose, XRD analysis was performed for mineralogical properties of tailing. In addition, flow, velocity, and uniaxial compressive strength tests were carried out for physical and mechanical properties of a grout material with the mixing ratio of cement and tailing and curing periods. By the result of XRD analysis, tailing of the mine was found to mostly consist of quartz, galena, and pyrite. The flow observed by the flow test showed decreasing tendency with increasing the mixing ratio of tailing. The velocity was also lowered with increasing the mixing ratio of tailing regardless of curing periods. The uniaxial compressive strength as well as Young's modulus also show a tendency to decrease with increasing the mixing ratio of tailing independently on the curing periods. Considering only the physical and mechanical properties of a grout material with tailing, the results are considered to be sufficiently used as a grout material. However, since metallic minerals such as galena and pyrite in tailing contents and these are causing environmental contamination, countermeasures should be considered for this problem in future.

Key words Tailing, Grout material, Physical and mechanical properties, Curing period, Environmental contamination

초 록 전남 해남에 위치한 ○○광산의 광물찌꺼기를 이용하여 그라우트 재료로서의 활용 가능성을 평가하였다. 광물찌꺼기의 광물학적 특성을 살펴보기 위하여 XRD 분석을 실시하였다. 또한 광물찌꺼기와 시멘트를 3가지 비율로 혼합한 그라우트 재료의 물리적 및 역학적 특성을 살펴보기 위하여 양생기간에 따른 흐름도, 탄성파속도, 일축압축강도 시험을 각각 실시하였다. XRD 분석 결과에 의하면 본 광산의 광물찌꺼기는 대부분 석영, 방연석, 황철석 등의 광물들로 구성된 것으로 나타났다. 흐름시험 결과는 광물찌꺼기의 혼합비율이 높아질수록 흐름도가 감소하는 경향을 보였다. 탄성파속도는 흐름도와 마찬가지로 양생기간에 관계없이 광물찌꺼기의 혼합비율이 높아질수록 낮아지는 경향을 보였다. 일축압축강도 및 탄성계수 또한 양생기간에 관계없이 광물찌꺼기 혼합비율이 증가할수록 작아지는 경향을 보였다. 광물찌꺼기를 혼합한 그라우트 주입재의 물리적 및 역학적 특성만을 고려할 때 이들 결핍값은 그라우트 재료로서 충분히 활용 가능성을 가지고 있다고 판단된다. 하지만 광물찌꺼기 내에 방연석과 황철석 등 금속광물이 포함되어 있어 지반 내 주입 시 환경오염을 일으킬 수 있으므로 향후 이에 대한 대책방안이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

핵심어 광물찌꺼기, 그라우트 재료, 물리적 및 역학적 특성, 양생기간, 환경오염

1. 서 론

Received: Apr. 11, 2016

Revised: Apr. 15, 2016

Accepted: Apr. 18, 2016

***Corresponding Author:** Seong-Seung Kang

Tel) +82622307112, Fax) +8262232110

E-Mail) kangss@chosun.ac.kr

Dept. of Energy and Resources Engineering, Chosun University,
309 Pilmun-Daero, Dong-Gu, Gwangju, 501-759, Korea

국토의 70% 이상이 산지로 덮여있는 국내의 경우 국토를 효율적으로 이용하고 관리하는 것이 중요한 과제이다. 현재 국토의 효율적 이용을 극대화하기 위해 쓰레기 매립지의 재이용이나 도로 비탈면의 태양광 발전소 설치 등과 같은 다양한 프로젝트들이 진행되고 있다. 최근에는 얇은 연안지역을 대규모로 매립 조성하여 이용하려는 사례가 증가하고 있다. 하지만 이러한 연안지반을 이용하기 위해서는 연약지반이 충분한 지반강도

를 가질 수 있도록 하여야 하며, 이를 위해서 다양한 지반공학적인 방법들이 개발되어 사용되고 있다(Yoshikuni and Nakanodo, 1974; Han and Ye, 2001; Chun and Kwon, 1999; Chun et al., 2001; Kim et al., 2014). 또한 갱내 광산개발에 의해 발생하는 지표면 침하와 같은 광해나 도심지 지하공간개발에 따른 지반침하 현상은 최근 사회적으로 큰 논쟁점이 되고 있다. 이러한 연약지반에 대한 기초보강과 지반침하 지역에 대한 지반보강을 하기 위하여 연약지반 치환공법, 압밀배수공법, 다짐공법, 그라우팅공법, 바이오그라우팅공법 등의 보강공법들이 개발되어 사용되고 있다(Gustafsson and Stile, 1996; Kutzer, 1996; Chun et al., 2000; Chun and Choi, 2003, Kim and Park, 2013).

이들 연약지반 보강공법 중 그라우팅공법은 시공성, 효율성, 경제성이 뛰어나 댐, 사면, 매립지의 지반보강, 구조물 기초 보강, 차수목적, 터널, 도로, 항만 등 토목전 분야에서 폭넓게 사용되고 있다(Chun et al., 2001). 그라우팅공법은 물유리계약액, 우레탄, 고압분사주입 등이 단독이나 병행하여 사용되며, 주원료로 사용되는 시멘트와 약액은 이산화탄소 배출과 지하수오염 등의 환경문제를 야기할 수 있다(Kim and Park, 2013). 한편 지속적인 사회기반시설 확충과 이로 인한 그라우트 주입재의 증가는 새로운 형태의 주입재 개발을 필요로 하고 있다. 이에 따라 시멘트와 혼합될 수 있는 다양한 고성능 주입재 개발에 대한 연구가 수행되었다(Ferraris et al., 2001; Park et al., 2003; Hallal et al., 2010; Kim et al., 2013; Kim et al., 2014). 그라우팅공법은 주입장비와 방식, 그리고 주입재에 따라 다양한 종류로 분류되며, 그라우트 주입재의 구성은 주입목적에 따라 다르다(Park et al., 2003; Han et al., 2006; Kang et al., 2007; Kim et al., 2013). 즉, 주변지반의 조밀화를 통한 지반개량이 주목적일 경우 주입 고결체 자체의 강도는 별로 중요하지 않으므로 시멘트가 섞이지 않고 적당한 입도분포와 수분을 함유된 실트질 모래가 유리하다. 반면, 주입 고결체를 말뚝 등의 구조요소로 이용할 경우 고결체의 강도가 매우 중요하므로 소요강도에 적절한 양의 시멘트와 골재가 혼합된 재료가 사용된다. 세립분의 함량이나 물이 너무 많을 경우 주입재 자체의 내부마찰이 부족하여 유동성을 가지게 되므로 고결체의 형상과 주입재의 통제가 어려워져 수압파쇄 등을 일으켜 주입효과가 크게 떨어질 수 있다. 반면, 세립분의 양이 너무 적고 골재나 모래의 양이 많으면 주입재의 내부마찰이 커서 주입이 곤란하게 되고 겔 분리가 생겨 고결체의 균질성이 결여되어 주입관 내 드라이팩(dry pack)이나 샌드블록(sand block) 현상이 발생하는 등 주입이

불가능하게 될 수 있다. 이상과 같이 그라우트 주입재의 선정과 적절한 재료배합은 그라우팅공법을 적용하는 데 있어서 반드시 해결해야 할 중요한 과제이다.

건설규모의 대형화에 따른 콘크리트 사용은 꾸준히 증가하고 있는 반면, 이러한 수요에 대한 공급은 갈수록 악화되고 있는 원자재 개발로 인하여 새로운 대안책이 요구되고 있다. 이를 위한 대안책으로서 고로슬래그, 플라이 애쉬, 시리카 폼과 같은 광물 혼화재의 활용이 고려되었다(Ferraris et al, 2001; Park et al., 2003; Hallal et al., 2010; Han et al., 2013). Ferraris et al.(2001)은 시멘트 페이스트와 콘크리트의 유동특성에 광물 혼화재의 영향에 관한 연구 결과를 발표하였다. Hallal et al.(2010)은 혼합 시멘트 페이스트의 유동특성에 있어 초소성 광물 혼화재의 결합효과에 대한 연구를 수행하였다. 또한 Park et al.(2003)과 Han et al.(2013)은 고성능 콘크리트에 강도증진과 내구성 증대를 위해 광물 혼화재의 종류별 함량에 따른 시멘트 페이스트의 유동특성에 관한 연구 결과를 보고한 바 있다. 하지만 광물 혼화재로서 충분히 이용 가치가 있는 광물찌꺼기에 대한 활용 방안 연구는 현재까지 매우 미미한 수준에 있다.

본 연구는 그라우팅공법에 있어서 요구되는 사항 중 가장 핵심인 그라우트 주입재를 개발하는 데 있다. 이를 위하여 금속광산에서 흔히 발생하는 광물찌꺼기를 그라우트 주입재의 한 가지 재료로서 선정하였다. ○○ 금속광산에서 채취한 광물찌꺼기의 광물학적 특징을 살펴보기 위하여 XRD 분석을 실시하였다. 그리고 그라우트 주입재의 물리적 및 역학적 특성을 살펴보기 위하여 주입재의 적절한 배합비를 산정하였다. 이상의 결과를 바탕으로 광물찌꺼기의 그라우트 주입재로서 활용 가능성을 살펴보았다.

2. 일반 현황

본 연구의 그라우트 주입재로서 사용된 광물찌꺼기는 전남 해남에 위치한 ○○광산의 광물찌꺼기다. 본 광산 지역의 지질은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 중생대 심성암류와 화산암류, 퇴적층, 그리고 제4기 충적층으로 이루어져 있다. 즉, 트라이아스기와 쥐라기 화강암류가 백악기의 안산암질 화산쇄설암을 부정합적으로 피복하고 있다. 백악기에는 두 차례의 분출과 관입이 있었으며, 백악기 최상부인 월출산 화강암이 제4기 충적층을 부정합적으로 피복하고 있다. 본 광산은 황산응회암류인 세립질 화산력 용결/비용결응회암과 응회암질 각력암의 열극을 충전하는 석영세맥에 배태된 천연수 금은 광상에 해당된다(Panther et al., 2006; Lee et al., 2009).

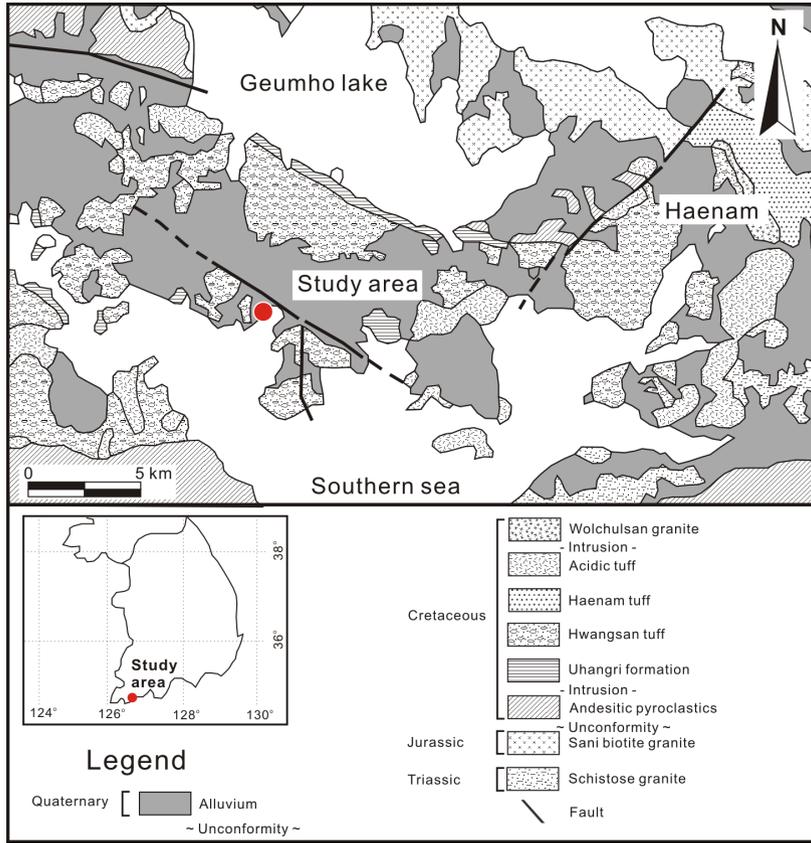


Fig. 1. Geological map of the study area

Table 1. Analytical conditions for XRD

Start Position (°2Th)	End Position (°2Th)	Step Size	Scan Step Time	Anode Material	Generator Setting
5.0150	89.9750	0.0300	1.0000	1.54060	30mA, 40kV

본 광산의 광물찌꺼기에 대한 XRD 분석 조건은 Table 1 과 같다. XRD 분석결과는 Fig. 2에서 보이듯이 석영 (quartz), 방연석(galena), 황철석(pyrite) 등의 세 광물 이 광물찌꺼기의 대부분을 구성하는 것으로 나타났다.

3. 연구 방법

3.1 배합설계

광물찌꺼기와 혼합하기 위하여 사용된 시멘트는 ○○

사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트로(KS L 5201)서 화학 성분은 Table 2와 같으며, 주성분은 CaO와 SiO₂로서 전체 성분의 약 83% 이상을 차지한다. 광물찌꺼기와 시멘트를 혼합한 그라우트의 물리적 및 역학적 특성을 살펴보기 위해 시멘트(C)와 광물찌꺼기(T) 배합비를 3가지 경우로 설계하였다(Table 3). CT-1, CT-2, CT-3의 경우 시멘트와 물은 동일한 무게 비율로 하였으며, 광물찌꺼기는 0.5 무게 비율만큼씩 증가시켜 배합하였다.

Table 2. Compositions of Portland cement made by OO company

Compositions	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	L.g loss
Ratio (%)	22.0	5.3	3.4	61.5	2.8	0.9	2.3	1.8

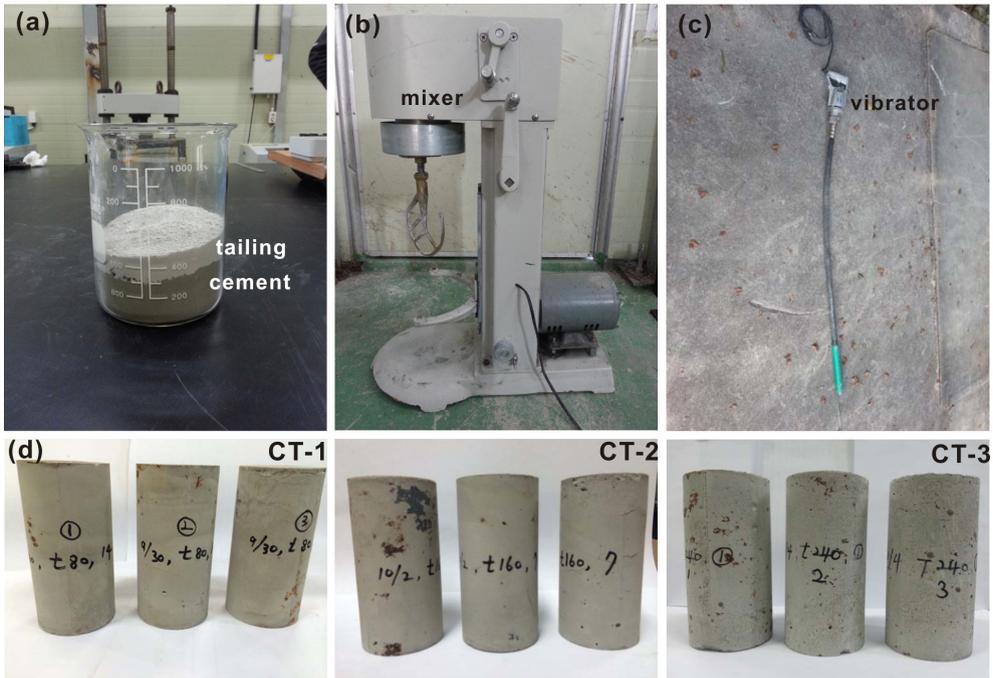


Fig. 3. Sample preparation for (a) mixture with tailing and cement, (b) mixer, (c) vibrator for air removal in sample, and (d) samples of CT-1, CT-2, CT-3

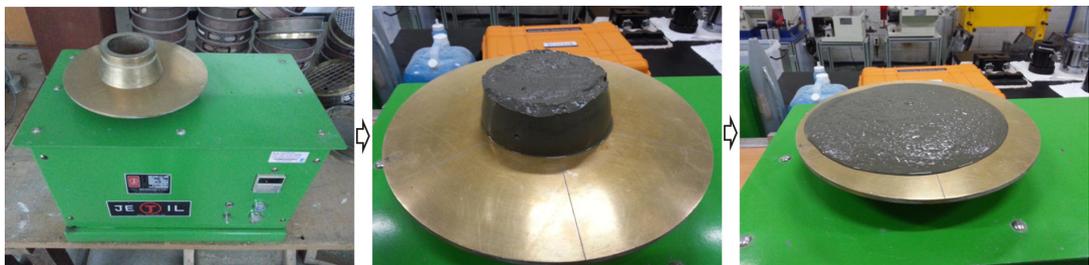


Fig. 4. Process for flow test

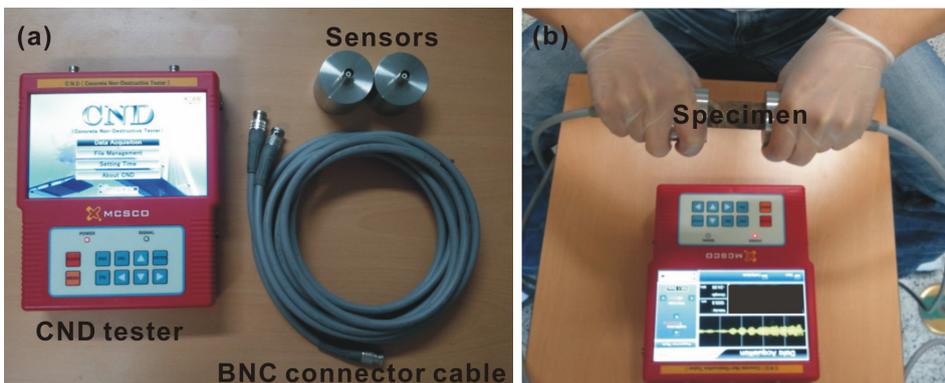


Fig. 5. Velocity test; (a) components of CND tester, (b) measurement

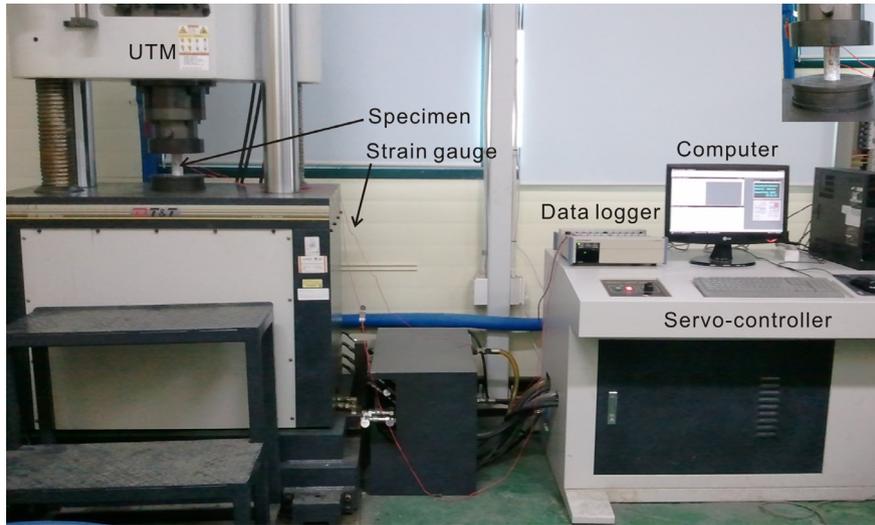


Fig. 6. Components of uniaxial compressive strength test and measurement

자료는 KYOWA사의 UCAM-65B-AC M14 데이터로거를 이용하여 획득하였다.

서 광물찌꺼기의 양이 증가할수록 흐름도가 감소하는 것으로 나타났다.

4. 연구 결과

4.1 흐름시험

젤 상태의 그라우트 흐름도를 살펴보기 위해 3가지 배합비에 따른 흐름시험을 실시하였다. 그 결과를 정리하면 Table 4와 같으며, Fig. 7에 도시하였다. CT-1 (C:T:W=2.0:0.5:1.0)의 흐름도는 약 83.9%, CT-2 (C:T:W=2.0:1.0:1.0)는 약 63.7%, CT-3 (C:T:W=2.0:1.5:1.0)은 약 51.8%로 나타났다. CT-1보다 광물찌꺼기를 2~3배 증가시킨 CT-2와 CT-3의 흐름도는 CT-1과 비교했을 때 약 24%와 38% 만큼 각각 감소하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 시멘트와 물의 배합비가 고정된 상태에

4.2 탄성파속도

그라우트 재료의 배합비와 양생기간 7일과 28일에 따른 각각의 시험편에 대한 탄성파 속도를 측정하였다. 그 결과를 정리하면 Table 4와 같다. Table 4의 결과는 각 경우에 대해 3회 실시한 평균값을 나타낸다. 시험편의 양생기간이 7일인 경우 CT-1의 탄성파속도는 1,686~1,789 m/s 범위로 평균탄성파속도 약 1,754 m/s, CT-2는 1,612~1,745 m/s 범위로 평균탄성파속도 약 1,658 m/s, CT-3은 1,589~1,604 m/s 범위로 평균탄성파속도 약 1,585 m/s를 보였다. 양생기간 28일인 경우 CT-1의 탄성파속도는 1,897~1,923 m/s 범위로 평균탄성파속도 약 1,908 m/s, CT-2는 1,869~1,879 m/s 범위로 평균탄

Table 4. Results of flow, velocity, uniaxial compressive strength (UCS), and Young's modulus (E) with mixing ratio and curing period

Samples		Flow (%)	Velocity (m/s)	UCS (MPa)	E (GPa)
CT1	7-day	83.9	1,754	26.0	3.9
	28-day		1,908	36.0	9.3
CT2	7-day	63.7	1,658	25.2	3.7
	28-day		1,873	29.7	8.9
CT3	7-day	51.8	1,585	16.7	3.4
	28-day		1,764	20.1	7.8

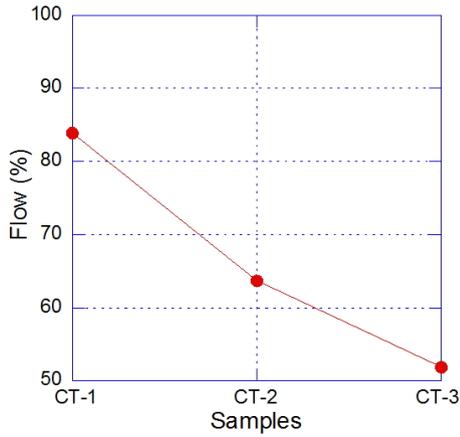


Fig. 7. Results of flow test on CT-1, CT-2, and CT-3

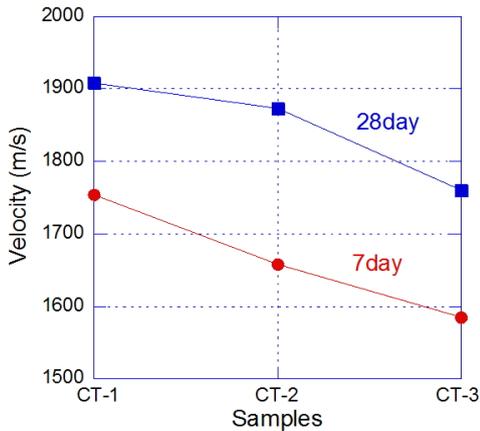


Fig. 8. Results of velocity on CT-1, CT-2, and CT-3

성파속도 약 1,873 m/s, CT-3은 1,733~1,782 m/s 범위로 평균탄성파속도 약 1,764 m/s를 보였다. 흐름시험에서와 같이 CT-1보다 광물찌꺼기를 2~3배 증가시킨 CT-2와 CT-3의 평균탄성파속도는 양생기간 7일인 경우 CT-1과 비교했을 때 약 5%와 10% 만큼 각각 감소하였으며, 양생기간 28일인 경우 약 2%와 8% 각각 감소하였다. 시험편별 양생기간에 따른 평균탄성파속도를 도시하면 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 시멘트와 물의 배합비가 고정된 상태에서 광물찌꺼기의 비율이 높아질수록 탄성파속도가 감소하는 것으로 나타났다.

4.3 일축압축강도

그라우트 재료의 배합비와 양생기간 7일과 28일에 따른 각각의 시험편에 대한 일축압축강도 시험을 실시하였다(Table 4). Fig. 9는 양생기간 28일에 대한 각 시험

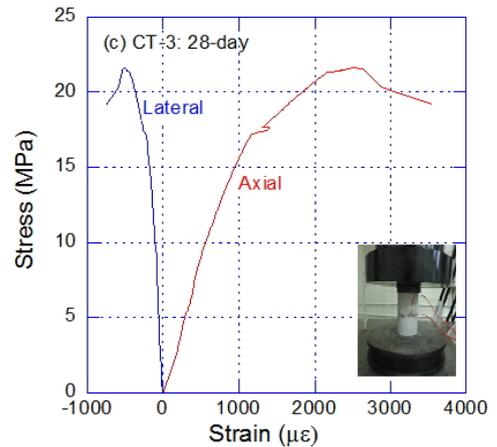
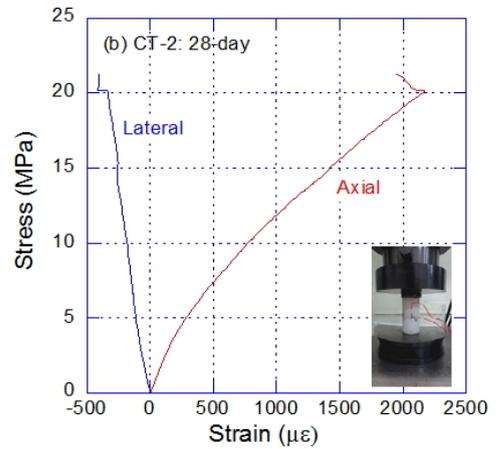
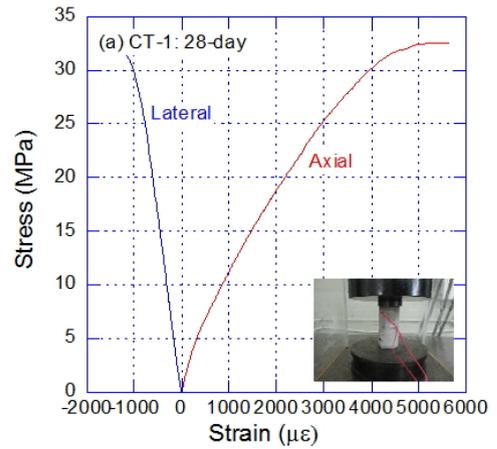


Fig. 9. Stress-strain curves of (a) CT-1, (b) CT-2, and (c) CT-3 on the 28-day curing period

편의 일축압축강도시험 예를 보여준다. 시험편의 양생기간이 7일인 경우 CT-1의 일축압축강도는 24.5~27.3

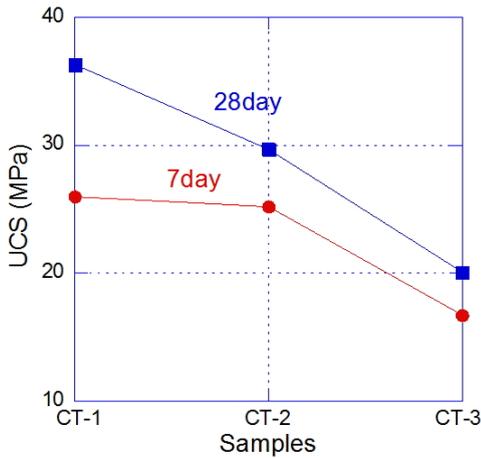


Fig. 10. Results of uniaxial compressive strength on CT-1, CT-2, and CT-3

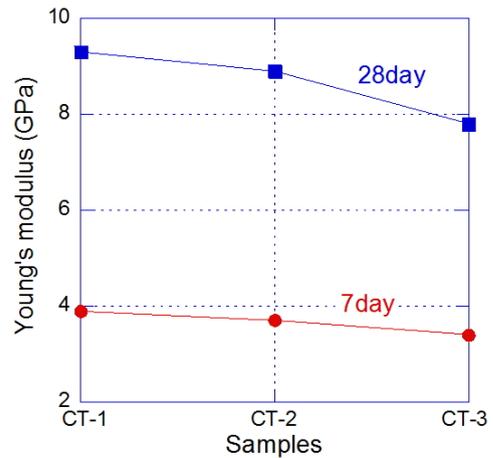


Fig. 11. Results of Young's modulus on CT-1, CT-2, and CT-3

MPa 범위로 평균일축압축강도 26.0 MPa, CT-2는 17.6~29.7 MPa 범위로 평균일축압축강도 25.2 MPa, CT-3은 6.5~27.1 MPa 범위로 평균일축압축강도 16.7 MPa를 나타냈다. 양생기간 28일인 경우 CT-1의 일축압축강도는 34.1~37.7 MPa 범위로 평균일축압축강도 36.0 MPa, CT-2는 27.8~32.3 MPa 범위로 평균일축압축강도 29.7 MPa, CT-3은 19.0~21.6 MPa 범위로 평균일축압축강도 20.1 MPa를 나타냈다. CT-1보다 광물찌꺼기를 2~3배 증가시킨 CT-2와 CT-3의 평균일축압축강도는 양생기간 7일인 경우 CT-1과 비교했을 때 약 3%와 36% 만큼 각각 감소하였으며, 양생기간 28일인 경우 약 17%와 44% 각각 감소하였다. 시험편별 양생기간에 따른 평균일축압축강도를 도시하면 Fig. 10과 같다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 시멘트와 물의 배합비가 고정된 상태에서 광물찌꺼기의 비율이 높아질수록 일축압축강도가 낮아지는 것으로 나타났다.

4.4 탄성계수

그라우트 재료의 배합비와 양생기간 7일과 28일에 따른 각각의 시험편에 대한 일축압축강도 시험에 의한 탄성계수를 살펴보았다(Table 4). 시험편의 양생기간이 7일인 경우 CT-1의 탄성계수는 2.8~5.4 GPa 범위로 평균탄성계수 3.9 GPa, CT-2는 1.3~4.9 GPa 범위로 평균탄성계수 3.7 GPa, CT-3은 1.4~7.3 GPa 범위로 평균탄성계수 3.4 GPa를 나타냈다. 양생기간 28일인 경우 CT-1의 탄성계수는 6.2~13.4 GPa 범위로 평균탄성계수 9.3 GPa, CT-2는 6.7~13.2 GPa 범위로 평균탄성

계수 8.9 GPa, CT-3은 5.1~13.1 GPa 범위로 평균탄성계수 7.8 GPa를 나타냈다. CT-1보다 광물찌꺼기를 2~3배 증가시킨 CT-2와 CT-3의 평균탄성계수는 양생기간 7일인 경우 CT-1과 비교했을 때 약 5%와 10% 만큼 각각 감소하였으며, 양생기간 28일인 경우 약 4%와 16% 각각 감소하였다. 시험편별 양생기간에 따른 평균탄성계수를 도시하면 Fig. 11과 같다. Fig. 11에서 보는 바와 같이 시멘트와 물의 배합비가 고정된 상태에서 광물찌꺼기의 비율이 높아질수록 탄성계수가 작아지는 것으로 나타났다.

5. 토의 및 결론

본 광산 광물찌꺼기의 그라우트 재료로서 활용 가능성을 평가하기 위하여 광물찌꺼기에 대한 성분분석과 배합비에 따른 그라우트의 물리적 특성을 살펴보았다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다. 광물찌꺼기의 XRD 분석결과에 의하면 석영(quartz), 방연석(galena), 황철석(pyrite)이 광물찌꺼기 주광물로 산출되었다. 흐름시험 결과에서 흐름도는 CT-1 (C:T:W=2.0:0.5:1.0) 83.9%, CT-2 (C:T:W=2.0:1.0:1.0) 63.7%, CT-3 (C:T:W=2.0:1.5:1.0) 51.8%로써 시멘트와 물의 배합비가 고정된 상태에서 광물찌꺼기의 양이 증가할수록 흐름도가 감소하는 것으로 나타났다. 탄성파속도는 양생시간 7일인 경우 CT-1의 평균속도 약 1,754 m/s, CT-2 1,658 m/s, CT-3 1,761 m/s, 양생기간 28일인 경우 CT-1의 평균속도 약 1,908 m/s, CT-2 1,873 m/s, CT-3 1,760 m/s를 보였으며, 광

물찌꺼기의 양이 증가할수록 탄성파속도가 감소하는 것으로 나타났다. 일축압축강도는 양생기간이 7일인 경우 CT-1의 평균일축압축강도 26.0 MPa, CT-2 25.2 MPa, CT-3 16.7 MPa, 양생기간 28일인 경우 CT-1의 평균일축압축강도 36.3 MPa, CT-2 29.7 MPa, CT-3 20.1 MPa를 보였으며, 광물찌꺼기의 양이 증가할수록 일축압축강도가 낮아지는 것으로 나타났다. 탄성계수는 양생기간이 7일인 경우 CT-1의 평균탄성계수 3.9 GPa, CT-2 5.6 GPa, CT-3 3.4 GPa, 양생기간 28일인 경우 CT-1의 평균탄성계수 9.3 GPa, CT-2 8.9 GPa, CT-3 7.8 GPa를 보였으며, 광물찌꺼기 양이 증가할수록 탄성계수가 작아지는 것으로 나타났다. 광물찌꺼기를 혼합한 그라우트 재료의 물리적 및 역학적 특성만을 고려할 때 그라우트재료로서 활용 가능성은 충분하다고 판단된다. 하지만, 광물찌꺼기 내에 포함되어 있는 방연석과 황철석 등의 광물들이 지반 내 주입될 경우 토양이나 지하수에 일으킬 수 있는 환경오염 문제는 향후 추가적으로 진행되어야 할 중요한 과제이다.

References

1. Chun, B.-S. and Choi, J.-K., 2003, Applicability of CGS for remediation and reinforcement of damaged earth dam core, Korea, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 19, No. 6, 325-334.
2. Chun, B.-S., Koh, Y.-I. and Kwon, H.-S., 2000, Reinforcement of building foundation by the low slump mortar grout, Korea, Journal of the Korean Geotechnical Society, 71-76.
3. Chun, B.-S. and Kwon, H.-S., 1999, A study on the ground improvement by compaction grouting system, Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 2, No. 4, 9-19.
4. Chun, B.-S., Yeoh Y.-H. and Joung, Y.-K., 2001, Settlement restraint of soft ground by low slump mortar injection, Korea, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 17, No. 6, 53-67.
5. Ferraris, C. F., Karthik, H. and Russell, H., 2001, The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 31, 245-255.
6. Gustafsson, G. and Stile, H., 1996, Prediction of groutability from grout properties and hydrogeological data, Tunneling and Underground Space Technology, Vol. 11, No. 3, 325-332.
7. Hallal, A., Kadri, E. H., Ezziane, K., Kadri, A. and Khelafi, H., 2010, Combined effect of mineral admixtures with superplasticizers on the fluidity of the blended cement paste, Construction and Building Materials, Vol. 24, 1418-1423.
8. Han, C.-G., Lee, G.-C. and Heo, Y.-S., 2006, A comparison study between evaluation methods on the rheological properties of cement paste, Korea, Journal of The Korea Institute of Building Construction, Vol. 6, No. 3, 75-82.
9. Han, J. and Ye, S. I., 2001, Simplified method for consolidation rate of stone column reinforced foundation, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 7, 597-603.
10. Kang, C. U., Lee, J. S., Kwak, C. H., Kim, J. S. and Sung, Y. H., 2007, A study on evaluation of rheological properties of high performance concrete by a simple test, Korea, Journal of the Korea Concrete Institute, 861-864.
11. Kim, D. H. and Park, K. H., 2013, Injection effect of bio-grout for soft ground, Advanced Science Letter, Vol. 19, 468-472.
12. Kim, D. H., Park, K. H. and Kim, D. W., 2014, Effects of ground conditions on microbial cementation in soils, Materials, Vol. 7, 143-156.
13. Kim, K.-U., Shin, M.-S., Kong, Y.-S. and Cha, S.-W., 2013, Effect of fly ash on rheology and strength of recycled aggregate concrete, Journal of the Korean concrete institute, Vol. 25, No. 2, 241-250.
14. KSRM, 2010, Korea standard, Korean Society for Rock Mechanics, pp. 1-123.
15. KS L 5105, 2007, Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortars, Korean Agency for Technology and Standards, pp. 1-5.
16. Kutzner, C., 1996, Grouting of Rock and Soil, A. A. Balkema.
17. Lee, S., Yang, K., Jeon, B. G., Bak, G., Koh, S. H. and Seo, J.-R., 2009, Glass inclusions in quartz phenocrysts of tuff from Sunshin Au mining area, Haenam, Jeonnam, Journal of The Petrological Society of Korea, 18, 4, 337-348.
18. Panther, C. A., Rovillos, J. B., Petbanpoet, P. and Kim, W. J., 2006, Moisan report 2006.
19. Park, C.-K., Noh, M.-H., Kim, H.-Y., Lee, J.-P. and Park, T.-H., 2003, A study on the rheology properties of cement paste with variation of quality and type of mineral admixture, Journal of the Korean Concrete Institute Fall Research Conference, Vol. 15, No. 1, 2003, 107-113.
20. Yoshikuni, H. and Nakanodo, H., 1974, Consolidation of soils by vertical drain wells with finite permeability, Soils and Foundation, Vol. 15, No. 1, 35-46.



김대현

1995년 조선대학교 토목공학과 공학사
1999년 전남대학교 토목공학과 공학석사
2002년 Purdue University 토목공학과
Ph.D.

Tel: 062-230-7607
E-mail: dkimgeo@chosun.ac.kr
현재 조선대학교 토목공학과 교수



노정두

2014년 조선대학교 에너지자원공학과
공학사

Tel: 062-230-7876
E-mail: wjden1655@naver.com
현재 조선대학교 에너지자원공학과 석사
과정



강성승

1993년 조선대학교 자원공학과 공학사
1996년 강원대학교 자연대학 지구물리
학과 이학석사
2000년 Kumamoto University 토목공
학과 Ph.D.

Tel: 062-230-7112
E-mail: kangss@chosun.ac.kr
현재 조선대학교 에너지자원공학과 교수
