

고유동 충전재의 개발과 노후 터널의 배면공동 뒤채움에 관한 연구

A Study on Development of the Controlled Low-Strength and High-Flowable Filling Material and Application of the Backfilling in Cavities behind the Old Tunnel Lining

마 상 준* 서 경 원** 배 규 진*** 안 상 철**** 임 경 하****
Ma, Sang-Joon Seo, Kyoung-Won Bae, Gyu-Jin Ahn, Sang-Cheol Lim, Kyung-Ha

Abstract

The most tunnel damage such as cracks or leakage which exist in tunnel lining commonly, is caused by the cavities where exist behind the tunnel lining, through the tunnel safety inspections. These cavities were analysed to affect a stability of a running-tunnel seriously. This study is on the development of the controlled low-strength and flowable filling material which is able to apply to the cavity behind the tunnel lining. The major materials of backfilling developed are a crushed sand and a stone-dust which exists as a cake-state and is a by-product obtained in the producing process of aggregate. It is conformed with the design standard to the physical characteristics of backfilling. The backfilling material developed is designed to reduce the fair amount of cement. According to the designed compound ratio, it is carried out the laboratory tests such as a compressive strength and a chemical analyses and is applied to dilapidated old tunnel for an application assessment.

keywords : Filling material, Tunnel cavity, Stone dust, Crushed sand

1. 서 론

터널에서의 배면공동이 구조물의 안정성에 미치는 영향은 구조물의 특성상 명확하게 판단하기는 힘들지

만 라이닝 천단부의 지하수 유출, 균열의 발생에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.¹⁾ 이러한 터널에서의 배면공동의 보강은 뒤채움재로 공동을 충전하는 방법이 널리 시행되고 있으나 터널 공동은 특성상

* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

** 한국건설기술연구원 연구원

*** 한국건설기술연구원 연구위원

**** 리폼시스템 기술연구소

E-mail : sjma@kict.re.kr 031-910-0522

• 본 논문에 대한 토의를 2002년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 2003년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

분포규모, 형상, 라이닝 배면과 지반사이의 특징 등을 파악하기 곤란하므로 재료 선정과 주입량을 결정하는데 어려운 점이 많다. 또한, 뒤채움을 수행해도 주입 효과, 주입범위 등을 파악하기 어려워 보강 효과에 대한 분석이 어렵다.^{9)~10)}

최근, 뒤채움 공법에 사용되는 재료는 모르타르, 시멘트 페이스트, 폴리우레탄, 경량기포 콘크리트 등이 많이 사용되고 있다. 그러나 위의 재료들은 기술적·경제적·시공성 등 현장에서 적용하기 어려운 점이 발생하고 있다.⁽¹⁾ 현재 국내의 변상 터널중 뒤채움 공법의 규정을 분석한 결과 대부분 뒤채움재의 일축압축강도와 플로우 값 등 기본적인 물성값에 대해 확실적으로 규정되어 있는 상황이다. 또한 최근 뒤채움공법 및 지반개량제의 주재료로 이용되는 시멘트는 국내·외적으로 지반개량 및 보강을 위해 슬러리 상태의 시멘트(밀크) 또는 분체상의 시멘트를 교반 또는 초고압으로 분사하는 등 연약지반 고화처리공법이 광범위하게 쓰여지고 있으나 포틀랜드 시멘트를 주재료로 사용하는 각종 교반공법 또는 고압분사주입의 경우 6가크롬(Cr^{6+}) 등의 유해물질이 발생하여 지반 및 지하수를 오염시킬 수 있는데, 특히 Cr^{6+} 은 대표적인 발암물질이다. 일본에서는 시멘트 그라우팅 현장에서 발암물질인 Cr^{6+} 이 용출되고 이에 대한 법적인 조치로 인해 도처에서 공사가 중단되는 등 엄격한 규제가 시행되고 있다.²⁾ 국내의 경우 특별한 규제없이 사용되고 있지만 터널 공동 뒤채움의 경우 지하수위 아래에서 공사가 진행되는 경우가 많아 시멘트 사용에 의한 지반 및 지하수 오염 등이 심각할 것으로 추정된다.

최근에는 이러한 환경 오염원으로서의 시멘트 사용량을 최소화하고 산업부산물을 지반개량제로 이용하려는 연구가 많이 수행되고 있는데, 플라이애쉬를 이용한 저강도 고유동 충전재의 개발과 내구성 특성이 연구되고 있고, 플라이애쉬를 이용한 그라우트체에 대한 물성에 관한 연구 등 시멘트의 사용량도 억제하고 산업부산물을 유용하게 처리하는 기술들이 개발되고 있다. 본 연구에서 뒤채움재의 주재료로 사용되는 석분은 ALC(Autoclaved Lightweight Concrete) 제조에 관한 연구가 수행되었으며, 한국건설기술연구원(2000)에 의해 석분을 혼합한 뒤채움재의 물성 연구

와 현장시험 시공이 수행된바 있으나 실용화된 사례는 거의 없는 상황이다.^{3)~7)}

본 연구는 변상 및 신설터널에서 라이닝과 지반사이에 존재하는 배면공동의 뒤채움 재료 및 충전공법 개발에 관한 연구중 시멘트의 사용량을 최대한 억제하고, 부순모래와 폐기물로 처리되는 석분을 이용한 뒤채움재료 개발과 노후화된 터널에 대한 현장 적용성 연구를 통하여 개발된 재료의 특성을 파악하기 위한 연구이다.

2. 실내시험

실내시험은 충북 영동에 소재한 삼동석산과 경기도 양주에 소재한 일산 석산에서 채취한 부순모래와 석분을 주재료로 기타 혼화제인 시멘트, 경화제, 유동화제 등의 배합비를 달리하면서 국내 터널 배면공동 뒤채움재의 물성값 기준을 만족하는가에 대한 역학시험과 화학분석을 수행하였다. 또한 현장시험시 뒤채움된 재료를 28일 후 코어 채취를 통하여 얻어진 시료를 압축강도 시험과 화학분석 시험을 통하여 실내에서 양생된 재료와 현장에서 양생된 재료와의 비교 분석을 실시하였다. 본 시험에서 수행된 시험은 부순모래의 입도분포 시험, 석분의 함수비 시험, 비중시험, 혼합비별 일축압축강도시험, 길이변화율 시험 등을 수행하였다.

2.1 실험재료 특성

Fig. 1에는 실내시험을 수행한 삼동석산과, 일산석산에 대한 부순모래의 입도분포 곡선을 보여주고 있는데 조립률은 각각 3.19, 3.13인 것으로 분석되었다. 또한, 삼동석산과 일산석산의 석분에 대한 함수비 시험결과 5.60%, 33.4%의 함수비를 나타내는데, 석분의 함수비는 뒤채움재의 플로우값 특성에 큰 영향을 미치는 요소로써 각 석산의 함수비가 다른 이유는 석분의 침전시 사용된 응집제의 사용량, 침전된 석분 탈수 과정의 차이 때문으로서 삼동·일산석산 석분 이외의 타 석산 석분의 경우 평균 26%의 함수비를 보이고 있다.

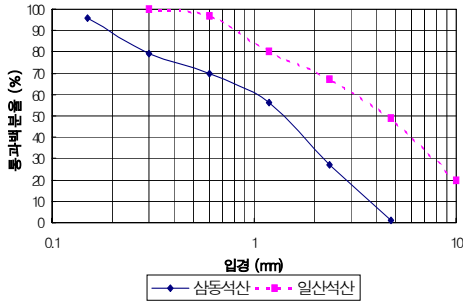


Fig. 1 삼동과 일산석산에서 생산되는 부순모래의 입도 분포 곡선

다음 Table 1에는 삼동석산과 일산석산의 부순모래와 석분의 일반적 재료 특성을 보여주고 있다.

2.2 배합비 설계

본 연구에서는 국내 터널 배면공동 뒤채움재의 일반적 물성값 규정치인 압축강도 10kgf/cm^2 이상과 플로우 값 $25\pm 5\text{cm}$ 를 만족하는 범위내에서 화강암을 모암으로 하는 경기도 화성석산에서 채취한 시료의 사전 물성시험을 통하여 Table 2~3에 이르는 각 석산별 뒤채움재의 배합비를 설계하였다. 배합비 설계시 각 석산별로 부순모래의 입도분포가 다르고, 석분의 함수비가 매우 큰 차이가 있으므로 플로우값에 영향을 줄 수 있는 유동화제 및 물량을 석분의 상태에 따라 조절하여야 할 것이다. 또한 Table 2~3의 배합비는 최근

Table 1 뒤채움재의 주재료인 부순모래와 석분의 재료 특성

삼동석산					
	함수비 (%)	비중 (g/cm^3)	조립률	암석 종류	위치
부순 모래	-	2.12	3.19	화강암	충북 영동군
석분	5.60	2.63	-		
일산석산					
	함수비 (%)	비중 (g/cm^3)	조립률	암석 종류	위치
부순 모래	-	1.93	3.13	화강암	경기 양주군
석분	29.90	2.55	-		

Table 2 삼동석산 뒤채움재의 배합비 (단위 : 중량 %)

시료 번호	물	시멘트	석분	부순 모래	유동 화제	고화제
S1	17.69	6.17	34.97	41.14	0.03	-
S2	17.54	6.12	33.80	40.78	0.03	1.73
S3	17.39	6.06	32.65	40.43	0.03	3.44
S4	17.69	8.23	32.91	41.14	0.04	-
S5	17.69	8.23	32.09	41.14	0.04	0.82
S6	17.69	8.23	31.26	41.14	0.04	1.65

Table 3 일산석산 뒤채움재의 배합비 (단위 : 중량 %)

시료 번호	물	시멘트	석분	부순 모래	유동 화제	고화제
I1	13.04	6.52	36.94	43.46	0.03	-
I2	12.92	6.46	35.69	43.07	0.03	1.83
I3	12.80	6.40	34.46	42.68	0.03	3.63
I4	13.04	8.69	34.77	43.46	0.04	-
I5	13.04	8.69	33.90	43.46	0.04	0.87
I6	13.04	8.69	33.03	43.46	0.04	1.74

지만 개량 및 보강재로서 시멘트 사용이 환경문제가 되고 있으므로⁽²⁾ 시멘트 사용량을 최대한 억제한 10%이하로 배합비를 설계하였다.

3. 실내시험 결과 및 분석

3.1 일축압축강도 시험

3.1.1 삼동석산 뒤채움재 강도 변화

Table 4와 Fig. 2는 삼동석산에서 발생하는 부순모래와 석분을 Table 2의 배합비에 따라 제작된 공시체의 재령 7일, 28일에 대한 일축압축강도 시험 결과를 보여주고 있다. Table 4의 결과값들은 비슷한 배합비의 일산석산 재료로 시험한 강도값과 비교해 볼 때 상당히 높은 값을 보여주고 있다. 특히 강도 값을 조절 할 수 있는 고화제의 사용량을 낮추었음에도 불구하고 높은 압축강도 값을 보이는 것은 삼동석산의 부순모래가 더 미세하여(Fig. 1참조) 시멘트가 석분, 부순모래와 적절한 수화반응을 일으켰기 때문으로 분석된다.

Table 4 삼동석산 뒤택움재의 재령별 강도 (단위 : kgf/cm²)

재령	S1	S2	S3	S4	S5	S6
7 일	14.8	16.4	16.9	20.5	24.0	30.1
28 일	19.1	23.2	25.5	29.46	34.5	45.2

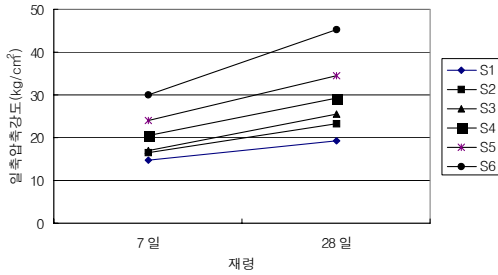


Fig. 2 삼동석산 재료의 일축압축 강도 변화

또한, 각 석산별 응집제의 사용량에 따라 동일한 교환을 하였을 때 유동성이 좋으면 강도값이 저하되고, 유동성이 부족하면 강도값이 증가하는 것으로 분석된다. Table 6의 플로우 값에서도 삼동석산의 뒤택움재 플로우값이 작게 나타나 뒤택움재의 유동성이 적으면 강도는 크게 발현되는 것으로 사료된다. 위의 결과에서 보듯이 유사한 배합비라도 각 석산별로 다른 물성특성을 보이므로 현장적용시에는 각 석산의 부순모래와 석분의 물리적 특성을 파악한 후 사전배합비 시험을 통하여 적용 현장의 특성에 맞는 배합비를 설정하여야 할 것이다.

삼동석산 시료의 경우 뒤택움재 규정과 비교할 때 시설안전기술공단의 규정⁸⁾인 20kgf/cm²에 S1의 배합비를 제외하고 모두 규정을 만족하는 20kgf/cm² 이상인 것으로 조사되었다.

3.1.2 일산석산 뒤택움재의 강도 변화

Table 5와 Fig. 3은 일산석산에서 발생하는 부순모래와 석분을 이용한 뒤택움재의 일축압축강도 변화값을 보여주고 있다. 일산석산 시료의 경우 국내의 뒤택움재의 규정과 비교해볼 때 뒤택움재의 일반적 기준값인 10kgf/cm² 이상을 만족하는 결과를 얻었다.

Table 5 일산석산 뒤택움재의 재령별 강도 (단위 : kgf/cm²)

시료 재령	I1	I2	I3	I4	I5	I6
7일	6.2	7.8	9.3	12.4	13.4	16.7
28일	7.5	9.8	11.9	14.8	16.1	20.5

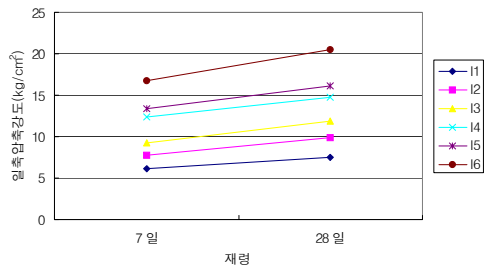


Fig. 3 일산석산 재료의 일축압축 강도 변화

Table 6 뒤택움재의 배합비별 플로우 시험 (단위 ; mm)

삼동석산 뒤택움재							
시료 번호	S1	S2	S3	S4	S5	S6	평균
플로우값	280	270	265	280	300	280	279.6
일산석산 뒤택움재							
시료 번호	I1	I2	I3	I4	I5	I6	평균
플로우값	315	300	270	295	270	280	288.3

3.2 플로우 시험

플로우 값은 뒤택움재의 유동성 및 자기수평능력 (self-leveling)에 큰 영향을 미치는 물성값으로 국내 터널 관련 시방서에는 모두 250±50mm를 규정으로 하고 있다. 본 연구에서 Table 2, 3의 배합비별로 시험한 결과 다음 Table 6과 같이 평균 279.6mm, 288.3mm의 값을 보여 주고 있어 뒤택움재로서의 유동특성을 만족하는 것으로 결과를 얻었다.

3.3 길이변화율 시험

건조-수축에 의한 길이변화율은 뒤택움재가 터널 배면공동에 주입되었을 경우 모르타르 경화에 의한 수분

의 감소가 발생하고 수분의 양에 따라 모르타르의 길이 변화가 발생하게 된다. 본 연구에서는 뒤채움재 양생에 따른 길이의 변화를 측정하기 위하여 [석분 : 부순모래 : 시멘트 : 경화제 : 물 : 유동화제 = 33.90 : 43.46 : 8.69 : 0.87 : 13.04 : 0.04]의 배합에 따라 공시체를 만들고 이를 7일 동안 수중 양생한 후 온도 20±1℃, 습도 60±5%의 상태로 28일간 양생한 후 현미경에 부착된 콤포레이터를 이용하여 길이 변화율을 측정하였다. 측정결과 0.44%의 수축이 발생하였다. 또한, 화강암 석분을 주재료로 부순모래를 사용하지 않은 배합비 [석분 : 시멘트 : 유동화제 : 공기연행제 : 고화제 = 84.49 : 9.94 : 0.29 : 0.29 : 4.97]의 동일한 길이변화율 시험 결과 0.143%의 수축이 발생하였다.

3.4 환경오염 평가

본 연구에서는 석분과 시멘트를 주재료로하는 뒤채움재가 지하수가 존재하는 지반에 주입될 경우 환경오염에 대한 평가를 하고자 Table 2의 S1 배합비에 대해서 폐기물공정시험법에 의해 용출시험을 하였다. 결과는 Table 7과 같이 Pb만 극소량 검출되었고 나머지는 검출되지 않아 환경적으로 무해한 것으로 사료된다.

Table 7 개발된 뒤채움재의 환경오염 평가(단위 : mg/L)

	Pb	Cd	As	Hg	Cr ⁶⁺
결과	0.01	-	-	-	-



Fig. 4 대상터널 전경

4. 현장시험

배면공동 뒤채움 재료의 현장시험은 석분과 부순모래를 주재료로 개발된 저장도 고유동 모르타르를 터널 배면공동에 주입함으로써 라이닝과 지반을 일체화시켜 라이닝이 받는 지반하중을 터널 구조물에 균등하게 분포시키는데 있다. 그리고 공동 뒤채움 후 효과를 확인하며 장기간에 걸친 터널 거동을 예측하고 향후에 주입된 뒤채움재의 성능평가를 통해 개발하는 뒤채움재의 물성 향상을 목적으로 한다.

4.1 적용현장 상황

○○터널은 1974년에 준공된 연장 237m의 편도 1차선 도로터널로서 1994년에 시·중점 구간에서 모르타르 패칭 및 모르타르 방수공법으로 보수되었고 터널 내측에는 FRP보강이 이루어 졌고 현재도 모르타르패칭 등의 보강작업이 진행중이다.

현장시험의 순서는 안전진단자료, GPR 탐사 자료 등을 기초로 공동이 존재하는 구간을 천공(φ50mm)하여 배면공동을 확인하고 실내시험을 통하여 설계된 배합비로 뒤채움 재료를 현장에서 조달하여 교반후 주입하였다. 또한 배면공동 주입 28일 후 천공하여 충전된 뒤채움재의 강도시험을 통하여 실내에서 수행된 시험과 비교하여 뒤채움재의 강도 특성을 분석하였다.

다음 Fig. 5는 터널 배면공동 뒤채움을 하기 위해 천공한 위치의 GPR 탐사 결과를 보여주고 있다.

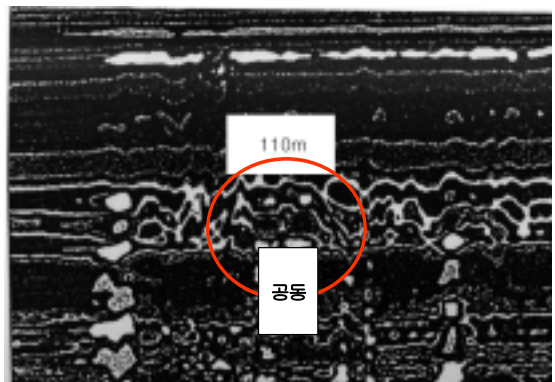


Fig. 5 주입위치의 GPR 탐사도

본 터널은 안전진단 수행시 약 140m³ 규모의 공동이 존재할 것으로 예상하였으나 터널 보강작업시 400m³을 뒤채움하고도 완전히 충전하지 못하고 작업을 중단한 상태이다. 따라서 본 터널의 경우 지반과 라이닝 사이에 존재하는 공동은 공동상호간 혹은 지반의 불연속면과 상호연결되어 있어 탐사규모보다 훨씬 큰 공동이 존재하는 것으로 예상된다.

4.2 현장 주입

본 현장주입에서는 시료배합을 실내시험의 결과와 남양 석산(화강암)에서 운반된 석분의 함수비를 참고하여 Table 8의 배합비로 설정하였다. 석분은 수분의 함유량에 따라 플로우 값이 큰 변화를 나타내므로 현장에서 플로우 시험을 수행하여 규정치인 250±50mm 범위에서 드는 278mm로 물 및 유동화제의 양을 결정하였다. 또한 작업도중 석분의 대기 노출에 의해 수분이 계속 감소하여 4시간마다 플로우값을 확인하여 플로우값의 범위가 250±50mm 이상이 되도록 물량을 조절하였다.

다음 Table 8은 현장시험에 사용된 배합비로써 Table 2, 3의 실내시험의 배합비와 약간 상이한 것은 석분과 부순모래의 함수비 변화로 인한 뒤채움재의 유동성 확보를 위한 것이다. Table 8의 배합비에 대한 플로우 시험 결과 280±20mm로서 국내 터널 뒤채움재의 일반적 규정에 속하는 값으로 조사되었다.

본 시험터널의 주입은 앞장의 실내시험을 통하여 계산된 배합비로 공동 A, B, C에 주입하였다. 주입은 모노펌프에 장착된 압력계로 주입압이(Table 9의 모

노펌프 성능 참조) 8~10bar로 주입하고 배면공동이 완전히 충전되어 주입압이 15bar 정도까지 올라갈 때 주입을 멈추었다. Table 11에는 공동별 주입량을 나타내었는데, 총 3개소의 배면 공동에 10.9m³의 뒤채움재가 주입되고, 각 공동 A, B, C에 비슷한 양이 주입된 것으로 시험되었다.

4.3 현장시험 결과

4.3.1 뒤채움재 강도시험결과

본 시험에서는 뒤채움된 모르타르의 양생정도와 경화특성을 분석하기 위하여 시추한 코어의 일축압축강도 시험을 수행하였다. 모르타르 압축시험은 실내시험의 경우 규정 KS L 5105에 의하여 50×50×50mm의 정육면체 몰드로 제작하여 강도시험을 수행하였지만, 현장 코어의 경우 시편 성형이 곤란하여 시료형태를 H:D=1:1, H:D=1:2의 2 종류 원형코어로 제작하여 시험을 수행하였다.

압축강도 시험 결과 D:H=1:2의 경우 28.51kgf/cm², D:H=1:1인 경우 33.97kgf/cm²으로 나타나 이것을 150mm의 정육면체 시료의 압축강도로 나타내면 각각 33kgf/cm², 40kgf/cm²의 압축강도를 보이는 것으로 분석된다. 실내에서 50×50×50mm의 정육면체 몰드로 제작한 공시체의 최고 압축강도 결과 45.16kgf/cm², 20.52kgf/cm²과 비교해 볼 때 (Table 4, 5참조) 지하수가 존재하고 밀폐된 공간에서도 개발된 뒤채움재의 양생이 잘되는 것으로 사료되고 국내 터널 배면 공동 뒤채움재의 일축압축강도 규정인 10~20kgf/cm²을 만족하는 것으로 사료된다.

Table 8 현장시험에 사용된 배합비

재료	부순 모래	케이싱 석분	시멘트	물	유동화제	경화제
중량비 (%)	43.46	33.90	8.69	13.01	0.04	0.87

Table 9 모르타르 믹서 용량

	믹싱용량(ℓ)	rpm	HP
모르타르 믹서	70	38	5

Table 10 모노펌프 용량

	배출용량 (ℓ/min)	이송압력 (bar)	이송거리 (m)	HP
모노펌프	7~40	25	수평 80 높이 60~100	5

Table 11 공동별 주입량

공동	A	B	C	D
주입량 (m ³)	3.5	4.2	3.2	-

Table 12 현장에 주입된 뒤채움재의 일축압축강도

시료 크기(D : H = 1 : 2)				
시료번호	1	2	3	평균
일축압축강도 (kgf/cm ²)	29.49	28.50	27.53	28.51
시료 크기(D : H = 1 : 1)				
시료번호	1	2	3	평균
일축압축강도 (kgf/cm ²)	34.50	33.28	34.12	33.97

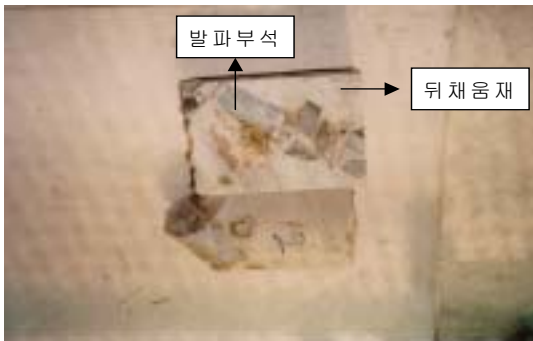


Fig. 6 ○○터널 배면공동에 뒤채움된 재료의 28일 경과후 코어 사진

Fig. 6은 Table 2와 유사한 배합비로 터널이 건설된지 43년된 ○○터널에 뒤채움하고 28일 경과후 코어링한 뒤채움재로서 뒤채움재가 발파부석으로 뒤채움된 배면 공동 사이로 충전되어 양호하게 뒤채움된 결과를 보여주고 있다.

4.3.2 주입특성 분석

본 현장시험은 운영중 터널을 대상으로 한 것이므로 작업시간 단축을 위해 주입전 분말상태로 존재하는 시멘트, 유동화제, 고화제는 실내에서 배합하여 포장하였으며 벌크상태로 존재하는 부순모래, 석분은 계량을 위해서 배합비별로 포장하였다.

본 현장주입 시험을 하는 동안 주입공정별 소요시간을 측정하면 Fig. 7과 같다. 각 공정별로 가장 많은 시간이 소요되는 과정은 믹서기에서 부순모래, 시멘트, 석분, 물, 기타 혼화제 등의 시료를 교반하는 과정으로서 평균 8분이 소요되어 1batch 당 작업소요시간인 19분중 절반이 소요되는 것으로 조사되었다.

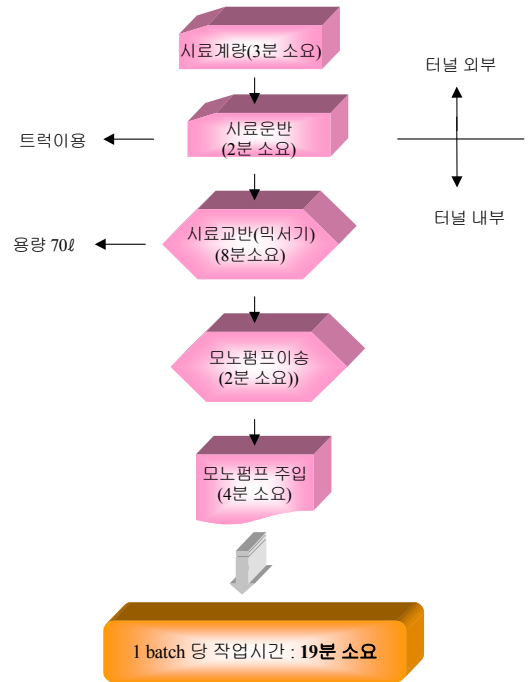


Fig. 7 뒤채움 작업 소요시간 분석

이것은 석분이 케익상태로 응집되어 있어 슬러리상태로 교반하는데 있어 석분의 응집특성과 장비의 특성 등으로 인해 시간이 많이 소요되는 것으로 판단된다.

또한 부순모래와 석분을 배합비에 맞게 계량하는데 3분이 소요되어 기존의 완제품 상태의 재료를 이용할 때 보다 추가로 시간과 경비가 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서, 석분과 부순모래를 자동으로 계량할 수 있고, 주입펌프로 바로 연결할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다.

5. 결론

본 연구는 산업폐기물로 처리되는 석분을 이용하여 터널 및 지하공간의 뒤채움재로 사용할 수 있는 저강도 고유동 재료의 개발과 이를 상용중인 터널에 적용하여 재료의 안정성 검증을 위한 연구로써, 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 국내 석산에서 발생하는 부순모래와 석분을 이용한 고유동 저장도 뒤택음재의 실내시험 결과 시멘트 사용량을 10% 이하로 낮추면서 터널 배면공동 뒤택음재로 사용할 수 있는 저장도 고유동 뒤택음재를 개발하였다.
- 2) 일축압축강도 시험 결과 삼동석산과 일산석산 시료에 대해 각각 45.2kgf/cm², 20.5kgf/cm²의 평균값을 얻었는데 국내 터널 배면공동 뒤택음재의 일반적 압축강도 규정인 10~20kgf/cm²이상을 만족하는 결과를 얻었다.
- 3) 뒤택음재의 자기수평능력 및 적절한 유동성 특성인 플로우 시험결과 279.6, 288.3mm의 값을 보여 뒤택음재의 일반적 범위인 250±50mm의 범위내에 포함되는 값을 보이고 있다.
- 4) 개발된 뒤택음재의 현장시험 결과, 각 재료를 계량과 교반하는데 가장 많은 시간이 소요되어 이 부분을 자동화 할 수 있는 장비의 개발이 요구된다. 또한 재료의 물리적 특징은 실내에서 양생한 시료의 물성값과 현장에서 양생된 시료의 물리화학적 특성값이 유사한 값을 보이고 있어 현장에서도 실내와 마찬가지로 양생이 잘되는 것으로 조사되었다.

본 연구에서 개발된 저장도 고유동 뒤택음재는 석분과 부순모래를 주재료로 사용한 것으로서 전국의 석산에 손쉽게 구할 수 있어 경제성과 현장적용성이 우수하고, 산업부산물을 건설재료로 응용한 친환경적인 기술이다.

감사의 글

본 연구는 “G7 고속전철구조물안전성기술개발 연구사업”의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이진용, 박상규, “터널 배면 공동 뒤택음 재료의 개발”, 콘크리트학회지, 제12권 제5호, 2000, pp.56~60.
2. 천병식, “지반개량 재료로서의 시멘트 사용에 의한 지반 오염문제 및 대책”, 지반공학소식지, Vol 17, No 8, 2001, pp.19~22.
3. 김수문, 엄희남, 임남웅, “Fly ash filler 재의 분말도가 시멘트 그라우트의 물성에 미치는 영향”, 한국폐기물학회지, 제17권, 제5호, 2000, pp.575~584.
4. 원종필, 신유길, “다량의 플라이애쉬를 사용한 저장도 고유동 충전재의 내구특성에 관한 연구”, 콘크리트 학회 논문집, 제12권 1호, 2000, pp.113~122.
5. 최세진, 임정열외 3인, “산업부산물인 Fly ash의 라이닝 콘크리트에의 적용에 관한 실험적 연구”, 한국폐기물학회지, 제17권 제4호, 2000, pp.505~511.
6. 한국건설기술연구원, “고속전철 구조물 안전성 기술 개발(2단계 1차년도 보고서), 2000, pp.115~130.
7. 한국철도기술연구원, “변상터널의 보강공법에 관한 연구”, 1998, pp.5~61.
8. 시설안전기술공단, “터널 보수·보강 기술 편람”, 1996.
9. 研友社, “注入の設計施工指針”, 昭和61年, pp.103~117.
10. 鐵道總合技術研究所, “変状トンネル対策工設計マニュアル”, pp.10~200, 平成 10年.

(접수일자 : 2001년 12월 3일)