

고강도 그라우트재의 특성과 현장적용사례

민 경 소 (라파즈한라시멘트(주) 기술연구소장,공학박사)

1. 서 론

최근 시멘트 몰탈제품에 대한 성능강화가 건설현장에서 요구되고 있으며 이와 함께 고강도·고기능화에 대해 관심과 수요가 증가하고 있다. 이러한 특수한 성능을 갖는 시멘트 몰탈은 업체들의 공급능력과 병행하여 정부의 사회간접자본시설(SOC)의 확충 및 부실공사에 따른 안전성 문제의 대두로 꾸준한 수요의 증대가 예상된다.

이에 따라 본 고에서는 고강도 그라우트재의 일반적인 성질, 당사가 개발한 제품의 특성 및 현장적용 사례에 대하여 요약하였다.

2. 그라우트재의 일반적 성질

가. 그라우트재란?

그라우트재란 틈새를 채워주는 충전재란 의미이며 유동성이 큰 슬러리 상태의 것을 말하는데 그라우트의 어원은 grouting (주입)에서 유래된 것으로 넓은 의미로 주입에 의해 간극을 충전하는 것을 총칭한다. 일반적으로 그라우트재가 가장 많이 사용되고 있는 부분은 기계와 바닥 콘크리트와의 사이를 충전하는 곳이며, 이밖에도 항구의 anchor bolt 고정, 수중에서 재료 불분리 콘크리트에의 응용 및 구조물의 보수등에 사용된다.

나. 요구성능

기계 또는 구조물은 운전중에 진동, 충격, 원심력 등 각종 응력(stress)을 발생시키며 이러한 응력은 매우 큰 파괴력을 지니기 때문에 기계의 base-plate와 기초 콘크리트를 확고히 연결 일체화 시켜주는 고리가 필요하다.

따라서 그라우트재는 아래와 같은 특성을 갖추어야 한다.

- ① 무수축성
- ② 고유동성
- ③ 조기강도 및 최종강도
- ④ 재료분리 저항성
- ⑤ 내구성

기계의 base-plate와 기초 콘크리트 사이의 연결 고리로서 그라우트재가 가져야 할 가장 중요한 조건은 무수축성이다. 그라우트재가 수축하면 base-plate 하부에 균열이 생겨 기계의 운전중에 생기는 각종 응력(stress)을 기초에 균등하게 전달시킬수 없게 된다. 따라서 bleeding 이나 건조수축에 의해 base-plate와의 접촉부분에 틈새가 생기지 않고 영구적으로 최초의 용적을 유지할 수 있는 그라우트재가 필요하다.

또 다른 조건으로는 충전성(유동성)이 있다. 그라우트재의 유동성이 나빠면 base-plate 하부의 공간을 완전히 메우기 어렵게 되며 처음부터 틈새를 남

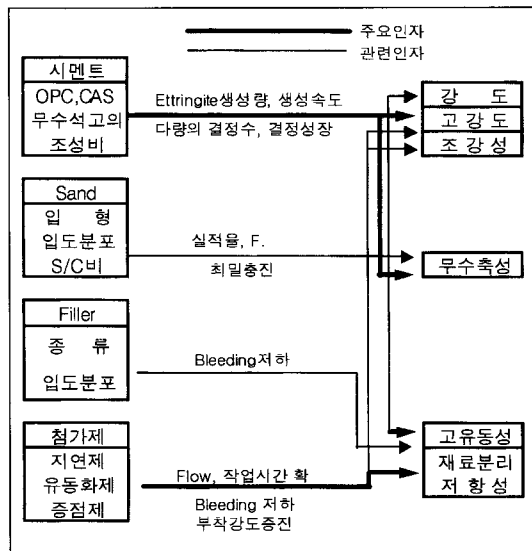
겨두게 된다. 따라서 그라우트재는 복잡한 형태를 만들기 위해 paste를 주입시킬 때 충전틈새나 대형 base-plate 하부에 용이하게 흘러들어 가도록 충분한 유동성이 있어야 한다.

마지막으로 중요한 것은 강도특성이다. 그라우트재에 요구되는 강도특성은 장치되는 기계의 종류에 따라 차이가 있는데 기계나 구조물의 하중에 의한 정적하중의 정도, 운전중에 발생하는 동적하중의 종류 및 크기, 기계로부터 발생하는 열적조건 및 기계가 놓이는 환경조건에 대해서도 일정이상의 강도특성이 요구된다.

이러한 그라우트재의 물성에 영향을 미치는 인자를 도식적으로 살펴보면 <그림-1>과 같다

다. 그라우트재의 종류

그라우트재를 크게 분류하면 시멘트를 base로 한 cement-based grouts와 에폭시를 base로 한 epoxy-based grouts가 있다. 일반적으로 epoxy-based grouts는 동적하중이 존재하는 크고 무겁고



<그림-1> 그라우트재의 물성에 영향을 미치는 인자

진동이 심한 기계와 화학적 침식이 있는 곳에 사용되며 일반적인 기계기초 및 구조물 충전재로는 cement-based grouts가 사용된다.

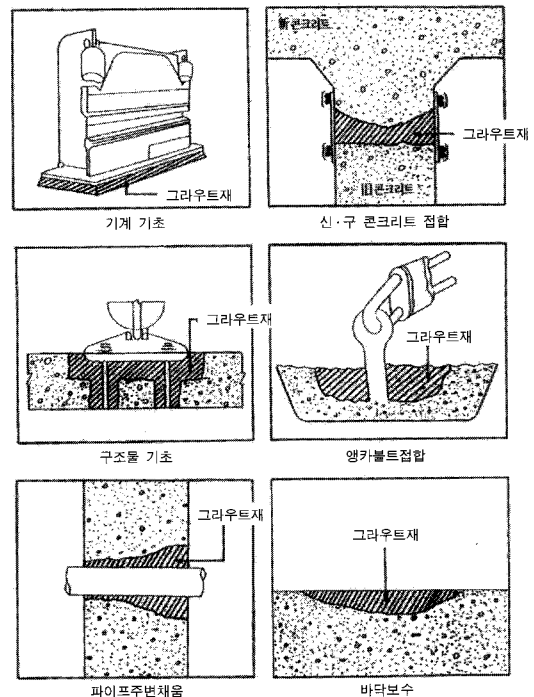
또한 사용되는 용도에 따라 아래와 같이 분류되며, <그림-2>에 사용예를 도식적으로 나타내었다.

- ① 구조물의 보수, 보강 주입 그라우트
- ② 철근이음 그라우트
- ③ 기계기초 그라우트
- ④ 역타 고유동 그라우트
- ⑤ 원자력 발전소 격납용기 그라우트

3. 연구결과

가. 사용원료

속경성 광물로는 CA, C₁₂A₇, C₁₁A₇ · CaF₂.



<그림-2> 그라우트재의 사용 예

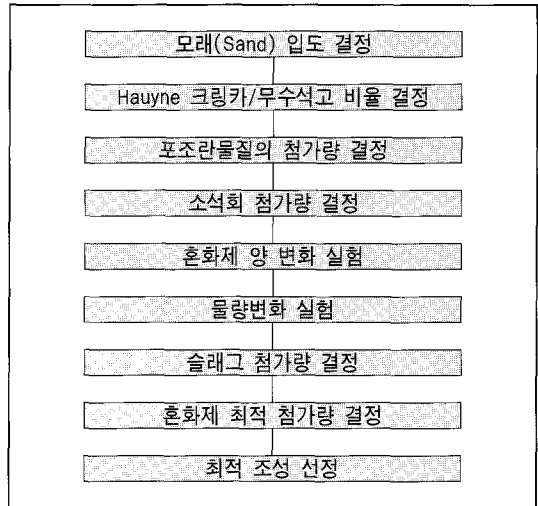
C₄A₃S 등이 알려져 있으나 본 연구에서는 소성온도 범위가 비교적 낮아 제조가 용이하고 K-type 팽창제, 고화제등으로 응용범위가 다양한 C₄A₃S를 주광물로 하는 hauyne계 크링카를 이용하고자 하였으며, 무수석고, 소석회를 첨가하여 속경성 및 팽창성을 부여하였다. 또한 강도발현, 재료분리방지, 내구성등을 향상시키고자 초미분말의 포조란물질을 첨가하였고, 유동성 향상과 장기적으로 안정된 강도발현을 유도하고자 슬래그를 첨가하였다. <표-1>과 2에 사용원료의 화학성분과 시멘트의 물리특성값을 나타내었다.

나. 실험방법

실험의 순서는 먼저 모래의 입도를 결정하고 <그림-3>과 같은 순서로 진행하였다. 각각의 단계에서 압축강도, flow test 및 길이변화등은 KS에서 규정하는 방법을 선택하였고, 수화물에 대한 XRD분석, SEM 관찰등도 수행하였다.

다. 실험결과

- (1) 모래(Sand) 입도별 실험
인조규사를 호수별로 조합하여 조립률을 2.4~4.8



<그림-3> 실험 진행도

로 변화시키면서 flow 값을 측정하였다.

이때 flow 값은 140~220mm로 조립률에 따른 경향을 나타내지 않았으나 대체로 조립률이 커질수록 flow 값이 증가하였다. Flow 값이 210mm 이상인 조성에 대해 압축강도 실험을 실시한 결과 flow 값이 212mm를 나타내는 조립률 3.9인 시료의 경우 28일 압축강도가 431 kg/cm² 나타났다.

<표-1> 사용원료의 화학성분

구 분	Ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
시멘트	1.52	21.09	5.23	3.23	62.41	3.09	2.23	98.80
Hauyne크링카	1.09	7.52	33.58	1.92	43.76	1.15	10.85	99.87
무수석고	1.64	7.61	0.34	0.06	38.04	0.04	50.30	99.64
소석회	25.08	1.52	0.32	0.45	70.49	0.56	0.69	99.11
슬래그		33.70	14.85	1.20	42.13	6.07	1.89	99.84
포조란물질	3.54	92.76	0.35	0.90	1.52	0.24	0.31	99.62

<표-2> 포틀랜드 시멘트의 물리특성

주 도 (%)	응 결 (min)	분말도 (cm ³ /g)	압축강도 (kg/cm ²)			몰탈 Flow (mm)
			3일	7일	28일	
25.6	235	3,330	232	339	409	183

〈표-3〉 최적조성으로 제조된 그라우트재의 물성

Flow (mm)	응결 (mm)		압축강도 (kg/cm ²)				길이변화 (x10 ⁻³)			
	초결	종결	1일	3일	7일	28일	3일	7일	14일	28일
260	30	40	580	794	984	1225	0.27	0.29	-0.07	-0.06

(2) Hauyne 크링카/무수석고 비율의 변화 실험
시멘트와 혼화제의 양을 일정하게 고정하고 hauyne 크링카:무수석고를 1:9 ~ 9:1로 변화시켜 실험하였다. Hauyne 크링카가 많아지고 무수석고가 줄어들수록 flow는 감소하는 경향을 보여 7:3 이하부터는 전혀 흐름이 일어나지 않았다. 또한 hauyne 크링카가 많아 질수록 초기 압축강도는 증가하나 (3일강도의 경우 1:9 - 295 kg/cm², 5:5 - 501 kg/cm²), hauyne 크링카/무수석고의 비가 1 이하로 줄어들면 오히려 감소하였다 (8:2 - 195 kg/cm²). 그러나 28일 압축강도의 경우에는 hauyne 크링카/무수석고 비가 1 이하에서 팽창균열에 의해 강도가 급격히 감소하였다.

(3) 포조란 초미분말 첨가량에 따른 실험

강도향상을 목적으로 가용성 실리카가 주성분인 초미분말의 포조란물질을 첨가하였다. 이 미분말의 주성분인 SiO₂가 시멘트 수화반응시 생성되는 Ca(OH)₂ 성분과 반응하여 C-S-H gel을 생성한다. 또한 자체의 넓은 비표면적 때문에 상당수의 물을 흡착하여 flow는 첨가량이 증가할수록 감소한다 (140 ~ 175 mm 범위). 그러나 28일 강도는 2% 첨가했을 경우 783 kg/cm²에서 14% 첨가했을 경우 965 kg/cm²으로 매우 크게 증가하였다.

(4) 소석회 첨가량에 따른 실험

Hauyne 크링카는 무수석고 외에 소석회 [Ca(OH)₂]가 공존할 때 급결성과 팽창성을 나타내므로 소석회를 일정량까지 치환 첨가하였다. 소석회는 Hauyne 크링카의 수화를 촉진하며 무수석고의 공존에 의해 미세한 침상의 ettringite 결정을 생성시켜 단시간에 응결에 이르도록 급결성을 나타낸다. 본 실험에서는 소석회의 첨가량이 많아질수록 flow

뿐만 아니라 압축강도도 약간씩 감소하였는데 이는 소석회의 첨가량이 증가할수록 팽창성이 커지기 때문으로 생각된다.

(5) 슬래그 첨가량에 따른 실험

고로 수쇄 슬래그는 잠재수경성을 가지고 있기 때문에 28일 강도 향상에 기여하고 물을 흡착하는 성질이 적어 초기 flow를 증가시킨다. 20% 첨가시에는 물량을 조금 줄여도 flow 값이 약간 감소할 뿐 압축강도나 길이변화율에서는 양호한 결과가 얻어졌다.

라. 결 론

위에서의 실험외에도 혼화제의 양과 종류, 물의양 변화등 많은 실험을 행하여 최적의 조성을 얻었으며 기존 그라우트재의 혼합수량인 w/m=0.14 보다도 낮은 0.12에서도 flow 260mm, 1일강도 580 kg/cm², 28일강도 1225 kg/cm²를 갖는 고강도 그라우트재를 제조할 수 있었다. 제조된 그라우트재의 물성은 〈표-3〉과 같다.

〈표-4〉 공사개요

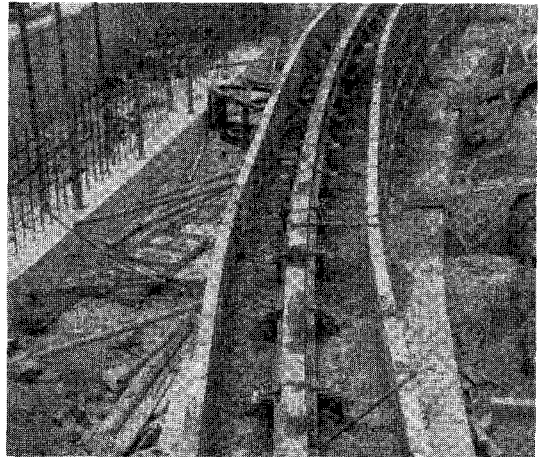
공사명	Limestone Storage Stacker & Reclaimer Rail 기초공사
시공처	한라건설(주)
공사개요	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 장소 : 한라시멘트 옥계공장 4호 Line 증설공사 ◆ 일시 : 1997. 7. 30 ~ 10. 30 ◆ 규모 : 100톤 ◆ 목표달성 : 28일 강도 1,000 kg/cm² 이상 무수축, 고유동

〈표-5〉 현장타설 시료의 물성

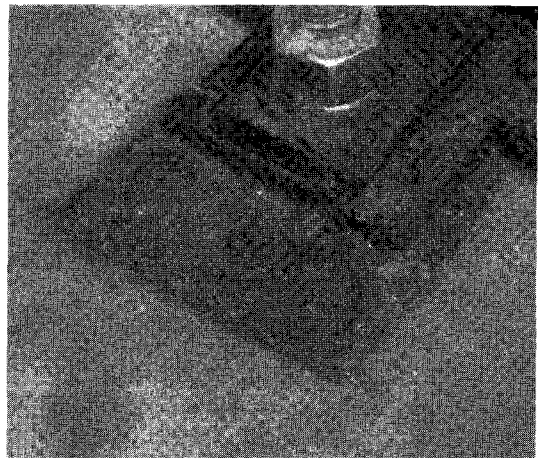
Flow (mm)	암축강도 (kg/cm ²)				길이변화율 (x10 ⁻³)				양생방법
	1일	3일	7일	28일	3일	7일	14일	28일	
285	409	684	835	1109	0.009	0.011	0.006	0.004	수중양생
292	400	744	880	1109	-0.005	-0.006	-0.007	-0.007	기건양생

4. 현장적용사례

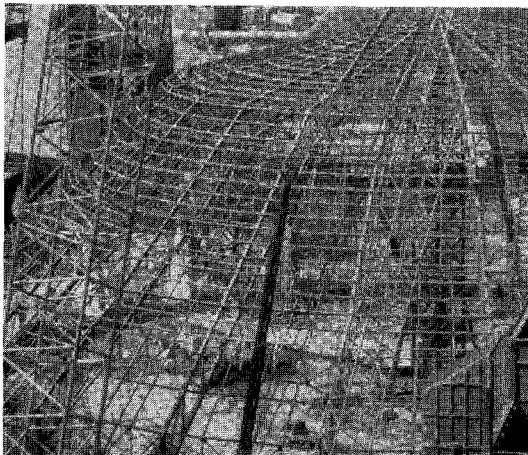
연구결과 선정된 최적조성에 대해 대량생산이 쉽도록 보완실험 (슬래그의 분말도를 낮추고 혼화제의 종류를 교체하는등)을 거쳐 당사 4호 라인증설 공사에 시공하였다. 공사개요는 〈표-4〉와 같고 〈사진-1〉에 Dome형 Limestone Storage의 전경을 나타내었다. 〈사진-2〉는 그라우트재를 시공하기전 Stacker & Reclaimer Rail의 모습이고, 사진 3은 시공후 그라우트재와 anchor의 접합 상태를 보여준다. 경화후 그라우트재와 anchor와의 접합부위에 수축이 없었으며, 균열 또한 보이지 않았다. 시공시 현장에서 sampling 한 시료의 물성은 〈표-5〉와 같다. 대량으로 제조된 제품의 물성을 실험실적 최적배합과 비교하면, 1일강도는 약 170 kg/cm² 28일강도는 약 100 kg/cm² 감소했지만, 현장에서의 혼합수



〈사진-2〉 시공위치 (Stacker & Reclaimer Rail)



〈사진-3〉 시공후 그라우트재와 anchor의 접합 상태



〈사진-1〉 공사현장 전경

량, 혼합기의 성능 및 외기온도·습도등의 차이점을 감안할 때 큰 차이가 없는 것으로 생각된다. ▲