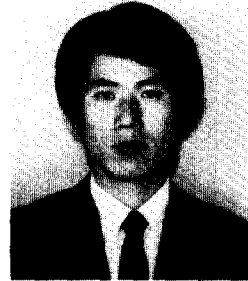


硫黃 모르터 및 콘크리트의 特性 Characteristics of Sulfur Mortar and Concrete



배 수 호*

1. 머리말

유황이 고온에서 액상으로 되고, 냉각시키면 고화한 성질을 이용하여 모르터나 콘크리트를 제조하는 시도는 벌써 100년전부터 해왔다.

그러나 유황 모르터나 콘크리트는 대단히 부서지기 쉽고, 또한 열팽창계수가 비교적 크기 때문에 한난의 반복보다 내부응력에서 자연붕괴하는 결점을 가지고 있다. 이 때문에 널리 보급되지는 않았었다.

그러나 1960년대 이후 세계적으로 연료소비량이 급속히 증대하여 이에 따라 회수유황(回收硫黃)이 대량으로 남게 되었다. 이 때문에 유황의 이용법이 문제가 되고 그 한가지로 유황콘크리트가 재차 주목받게 되었다.

유황 모르터나 콘크리트의 약점을 개선하는 대책 및 용도개발, 시공기술 개발 등은 캐나다, 미국 등지에서 활발하게 연구해왔고 근일에는 충분히 실용으로 내놓고 파는 유황콘크리트 기술이 확립되기에 이르렀다.

2. 유황모르터의 강도 및 내구성

2.1 공시체 제작

모래와 채움재(석회석가루 및 사구모래가루)를 균일하게 섞은 혼합물을 150℃ 온도의 건조로에서 24시간 가열한 후 혼합물을 가열용기에 옮기고 고체유황을 첨가한다.

가열용기는 140℃로 유지하며 유황이 완전히 녹을 때까지 휘저어 균질의 유체혼합물이 되면 진동대 위에 설치한 가열된 몰드에 유체혼합물을 쏟고 진동다짐 후 다짐봉으로 추가다짐을 한다.

다음에 고온의 흡수를 이용하여 표면을 수평으로 마무리하고 시료를 실내온도로 식힌 후 몰드에서 꺼내어 일주일 방치한 후 여러가지 시험을 하였다.

2.2 시험방법

1) 강도시험

순수유황(순수 99.5%)과 채움재량의 변화에 따른 50 mm 육면체 유황모르터 공시체 24개(표 1)를 제작하여 압축, 인장 및 휨강도 시험을 하였고, 순수 및 가공유황(순수유황 95%+화학적 첨가제 5%)을 사용한 유황모르터공시체 16개를 제작하여 각각의 압축강도를 비교하였다.

2) 내구성시험

* 성화원, 동이촌전흥공사 농공기술연구소 연구원

표1. 여러가지 순수유황 모르터의 압축, 인장 및 휨강도

배합비 (유황/채움재/모래)	강도(MPa)		
	압축	인장	휨
(1)	(2)	(3)	(4)
15/0/85	7.72	1.76	1.54
15/10/75	21.75	3.61	2.84
15/15/70	35.25	4.29	2.94
15/20/65	16.14	3.90	2.54
15/25/60	16.72	3.08	2.14
15/30/55	15.52	2.49	2.48
20/0/80	22.62	2.76	2.30
20/10/70	46.02	5.64	6.17
20/15/65	47.30	6.11	8.21
20/20/60	53.70	5.75	7.73
20/25/55	47.04	5.69	6.83
20/30/50	42.68	5.76	7.78
25/0/75	41.69	4.34	4.67
25/10/65	53.25	3.75	5.78
25/15/60	48.22	5.29	5.25
25/20/55	57.19	4.50	7.30
25/25/50	45.12	3.67	7.25
25/30/45	53.44	4.25	6.17
30R0/70	49.70	4.55	4.05
30/10/60	49.89	3.80	4.59
30/15/55	39.49	3.85	4.10
30/20/50	58.70	4.81	6.33
30/25/45	44.95	3.46	5.89
30/30/40	46.22	3.47	4.56

Note: 1 MPa=145 psi.

순수 및 가공유황으로 제작된 공시체 12개를 증류수와 10% 염화나트륨, 5% 염산 및 5% 황산용액에 각각 48시간 침지시키고 80℃ 오븐에서 48시간 건조시키는 것을 반복하는 내구성시험을 하였다.

3) 내구성과 채움재의 효과

유황모르터의 배합비는 중량비로 20:15:65(가공유황:채움재:모래)인데, 채움재는 석회석가루 및 사구모래가루를 사용하였다.

시험방법은 2)와 동일하게 하였으며 내구성시험은 100일 주기로 하였고, 모든 시험은 1회 6개의 공시체에 대하여 행하였다.

2.3 시험결과

유황모르터 배합비의 효과, 유황의 형태, 유황모르터의 강도 및 내구성에 관해 채움재의 화학적, 광물학적 성분은 다음과 같다.

1) 유황모르터 배합비에서 유황 및 채움재의 최적함유량은 각각 20%, 15~20%이다. 유황의 최적함유량내에서 채움재가 있는 모르터의 강도는 없는 경우보다 2~2.5배 크다.

2) 유황 및 채움재(석회석가루)의 최적함유량 범위내에서 순수 유황모르터의 압축강도는 510kgf/cm²이다. 인장 및 휨강도는 압축강도 제곱근의 10~15배이다.

3) 가공유황으로 제작한 유황모르터 압축강도는 순수유황의 경우보다 1.2~1.5배 더 크다.

20%의 가공유황과 15%의 석회석채움재를 배합한 공시체의 압축강도는 760kgf/cm²이다.

4) 가공 유황모르터의 파괴에 대응한 변형률은 순수 유황모르터보다 약 4배크다.

5) 일반적으로 석회석채움재로 제작한 순수 유황모르터의 내구성은 나쁘지만 동량의 석회석채움재를 함유한 가공 유황모르터의 경우는 그보다 좋다.

6) 5% 황산용액에서 가공 유황모르터를 100일간 건습 반복시킨 때 압축강도 손실은 석회석채움재의 경우 완전히 저하된데 비해 사구모래가루의 경우는 대략 17.5% 정도이므로 내구성이 훨씬 향상된다.

3. 유황콘크리트 특징 및 이용

3.1 배합

유황콘크리트 재료로서는 굵은 골재, 잔 골재, 유황, 각종 혼화재료 및 특수혼화제가 사용된다. 골재는 보통 시멘트콘크리트 혹은 아스팔트콘크리트를 사용하는 것이 좋지만 내산성(耐酸性), 내약품성(耐薬品性)이 요구되는 경우에는 골재자체도 산이나 약품에 대해서 충분한 내구성을 가져야 한다.

혼화재료는 콘크리트타설시에 재료분리를 방지함과 동시에 경화시 유황의 결창성장(結晶成長)을 제어할 목적

으로 넣는 것이 있고 규석분(矽石粉) 등의 미분을 사용한다.

혼화제는 유황콘크리트의 약점을 개선하기도 하고, 동결융해저항성을 향상시키는 등 콘크리트 성상을 개선하기 위하여 첨가되는 것이고, 콘크리트 성상은 그 종류, 양에 따라 크게 좌우된다.

통상 유황콘크리트를 제조하는데 사용하는 단위유황량은 200~500kgf/m² 정도이고 나머지체적은 굵은 골재, 잔 골재, 혼화재료가 차지한다.

유황콘크리트의 워키빌리티 측정방법은 급후의 검토표와 체이지만 단위유황량을 증감하는 것이 좋고 슬럼프 20cm 정도의 연반죽콘크리트로 부터 슬럼프 0cm의 초경반죽콘크리트까지 연속적으로 제조가능하다. 다만 단위유황량을 함부로 많이 하면 굳을 때 유황의 분리가 발생하는 수가 있으므로 바람직하지 않고 실용적으로 슬럼프 12cm 정도가 적당하다고 생각된다.

또한 유황콘크리트는 타설 후에 재료분리나 건조수축의 염려가 완전히 없으므로 특별히 경반죽콘크리트를 타설할 필요는 없다.

3.2 제조

유황콘크리트는 유황이 115℃ 이상의 온도에서는 액상으로 되고 냉각으로 고화한 성질을 이용하여 혼합, 타설하기 때문에 그 혼합, 타설시는 콘크리트를 소정의 온도로 가열, 보온할 필요가 있다.

따라서 유황콘크리트의 제조법은 아스팔트콘크리트의 제조법과 거의 같다고 생각해도 좋다. 다만 유황콘크리트는 아스팔트콘크리트와 다르고 115℃ 이상의 온도에서는 작업성에 미치는 온도의 영향은 작지만 115℃이하로 되면 급속히 유동성을 잃고 타설이 곤란하게 된다. 따라서 믹서에서 타설현장으로서의 운반은 충분한 보온이 가능한 기재(機材)가 필요하다.

3.3 성질

1) 물리적 성질

유황콘크리트의 강도발현은 대단히 빠르고 부재의 크기

표2. 유황콘크리트의 일반적 물성

項	目	性 質
密 度	(kg/m ³)	1.700~2.400
空 氣 量	(%)	1~10
壓 縮 強 度	(kg/cm ²)	200~700
曲 線 強 度	(kg/cm ²)	24~100
曲 線 強 度 / 壓 縮 強 度	(%)	12~20
引 張 強 度	(kg/cm ²)	20~80
引 張 強 度 / 壓 縮 強 度	(%)	10~20
彈 性 係 數	(×10 ⁴ kg/cm ²)	20~45
熱 伸 張 係 數	(×10 ⁻⁶ /℃)	8~35
熱 傳 導 率	(kcal/m℃)	0.3~1.7
吸 收 率	(%)	0~1.5

에 따라서 다르지만 통상 타설 후 2~3시간에 최종강도의 80%를 발휘한다. 또한 경화는 콘크리트의 냉각에 의해서만 진행하므로 특별한 양생은 일체 불필요하다.

경화유황콘크리트의 물리적 성질은 표 2에 표시한 것과 같다. 표 2에서 알 수 있듯이 유황콘크리트의 물리적 성질은 보통시멘트콘크리트와 거의 같은 정도이지만 열전도율이 약간 작고 열팽창계수가 약간 큰 경향이 있다. 또한 유황콘크리트는 아스팔트콘크리트와 다르고 115℃ 이하의 온도에서 재물성은 온도의 영향을 거의 받지 않는다. 유황콘크리트는 또한 동결융해저항성이 우수하고 특히 융설제(融雪劑) 존재하의 동결융해에 대해서는 보통시멘트콘크리트에 비해서 우수한 내구성을 발휘한다.

2) 화학적 성질

유황콘크리트는 거의 모든 산, 염류에 대해서 극히 우수한 내구성을 가진다. 다만 산화작용이 강한 산, 염류나 고온의 강알칼리에는 서서히 침식된다.

3) 결점

유황콘크리트의 최대 단점은 내화성, 내열성이 부족하다는 점이다. 유황은 가연성이고 공기중에서 연소해서 유해한 SO₂가스를 발생한다. 유황콘크리트자체는 유해한 성질이 없지만 적어도 화재로 변질되는 동안 표면이 타서 SO₂가스를 발생한다. 또한 유황콘크리트자체 온도가 115℃ 이상으로 상승하면 재차 연화해서 강도를 잃는다. 이와 같은 결점을 가지기 때문에 유황콘크리트를 내화성, 내열성을 필요로 하는 건축부재로서 사용할 수는 없다.

3.4 이용

1) 유황콘크리트

유황을 결합재로서 골재를 사용한 콘크리트는 시멘트를 사용한 경우와 같이 할 수 있다. 건조가열한 골재와 용융 유황을 비벼 섞고 유동상태의 콘크리트를 기포잡틀에 넣어 혼합한 후 냉각, 경화시켜 얻는다.

유황콘크리트의 특징으로서 냉각 즉 경화에서 초기강도가 크고 400kgf/cm^2 이상의 압축강도를 발휘하며 양생도 필요치 않고 흡수성이 작으며 내산성이 큰 것 등 이점도 있지만 시공시의 가열조작, 배합검토, 냉각속도의 제어 등 연구할 점이 많이 남아있고 내구성의 문제도 있어서 지금 곧 대형구조재에 응용할 수 있다고는 생각되지 않는다.

2) 포장용 재료

아스팔트콘크리트에 유황을 혼용하면 유동성이 개선되고 전압(轉壓)하는 일이 없도록 소요의 강도를 발휘하므로 캐나다 등지에서 실용화가 진행되고 있다.

또한 포장기층부의 전압된 채석층에 용융유황을 산포삼투(散布滲透)시킨 소위 "Sulfur-Macadam" 공법이 검토되고 있는데 이와같이 유황을 포장용에 이용하는 것은 양적 및 질적으로 유망한 방법이다.

3) 유황혼용콘크리트

시멘트풀 내지 모르터에 분말유황을 혼용하고 그것이 경화된 후 가열처리를 하여 혼입된 유황의 작용으로 시멘트경화체의 성상을 개선하도록 한 방법이다.

J.J. Beaudoin의 보고에 의하면 216°C 의 가열처리를 한 경우, 2% 유황첨가에 따라서 시멘트풀의 압축강도는 75%증가하지만 모르터의 경우는 골재압축에 따라서 그 효과가 변화하고 종종 복잡한 요인이 영향인 것을 나타낸다.

시멘트수화물중에 있어서 혼입유황의 거동에 관해서 물리적, 화학적으로 여러가지 검토되고 있지만 불명한 점이 많아 급후 연구가 필요하다.

4) 유황함침콘크리트

벽돌, 타일 등 다공질재료에 용융유황을 함침시키면

압축강도가 크게 증대되고 흡수성은 감소한다. 인공경량 외에 다공질재료, 슬레이트류, 각종콘크리트 제품에도 같은 효과를 기대할 수 있다.

4. 결론

유황 모르터 및 콘크리트는 그 자체로는 결코 새로운 재료라고 말할 수 없으나 유황경화물은 수밀성이 높고 내산성, 내염성, 속경성이 대단히 뛰어나고, 열전도율은 작고 전기절연성이 큰 것 등 여러가지 장점을 가지고 있다.

반면 건설재료로서 치명적인 약점은 가연성인 것으로 인화점은 200°C 발화점은 230°C 게다가 연소시 SO_2 등의 독성가스를 발생시킨다는 것이다.

또한 유황원소는 거의 원소로 반응해 간단한 성상을 가지고 유기화합물로 반응하기도 하고 박테리아 작용으로 산화하기도 하며 장기안전성에 불안한 재료이다. 그리고 용융상태에서 냉각, 경화할 때 큰 수축을 나타내는 점도 간과할 수 없을 것이다.

이러한 본질을 이해하고 새로운 연구를 추가하여 내량으로 또한 안가(安價)로 공급할 단체유황(團體硫黃)을 적극적으로 이용할 길을 여는 것이 중요할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Abdui-Hamid J. Al-Tayyib, Moneer F. Tewfik, Mohammad Shamim Khan, "Strength and Durability of Sulfur Mortar", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol.3, No.2, May, 1991.
- 2) 西晴哉, 水上國男, "硫黃コンクリート", セメント・コンクリート, No.424, June, 1982.
- 3) 木村 惠雄・仁木 孟伯・室田好治, "硫黃のコンクリートへの利用", 콘크리트工學, Vol.14, No.9, Sept. 1976.
- 4) V.M. Malhotra, "Development of Sulfur-Infiltrated High-Strength Concrete", ACI, Vol.72, No.9, 1975.