

# 硫黃모르터의 強度 및 耐久性

柳 基 松 · 裴 洙 浩  
(農漁村振興公社 首席研究員 · 農漁村振興公社 研究員)

## 1. 緒 論

硫黃모르터(Sulfur Mortar)에 관한 연구는 1921년 Bacon과 Davis가 重量比로 硫黃 60%와 모래 40%를 혼합하여 뛰어난 強度를 가진 耐酸性製品(Acid-resistant Product)을 만들어 낸 것이 시초라 할 수 있다.

그후 硫黃모르터의 強度 및 耐久성은 그 구성물질의 성질에 좌우된다는 것을 알 수 있었으며, 지난 20년동안 硫黃 모르터 및 콘크리트의 重要性이 인식되어 이에 관한 연구가 주로 미국과 캐나다에서 시행되어 왔다. 그뒤 유황모르터의 強度 및 耐久성의 특징에 관해 더욱 상세한 실험실연구의 필요성을 느끼게 되었다.

따라서 본고에서는 硫黃모르터의 生産에 있어서 局部的으로 이용할 수 있는 砂丘모래와 채움재의 適合성을 시험한 內容을 간단히 요약하여 소개하고자 한다.

## 2. 試 驗

### 가. 材料 및 供試體製作

본 연구에서 使用된 材料는 시판용 純粹硫黃(純度 99.5%), 加工硫黃, 砂丘모래와 두종류의 채움재(石灰石가루 및 砂丘모래가루)이다.

여기서 純粹硫黃은 사우디아라비아 Fertilizer社 製品이며, 加工硫黃은 美 광산국에서 개발한 것인데, 140~150℃의 온도로 밀폐된 반응로에서 중량비로 化學적첨가제 5%와 순수유황 95%를 4~6시간 반응시켜 생산한 것이다.

砂丘모래와 石灰石채움재의 化學的 및 鑛物學的的成分은 표 1, 2와 같으며 砂丘모래의 粒度曲線은 그림 1과 같이 입도가 ASTM에서 규정한 입도범위보다 細粒이며 이는 일반콘크리트 잔골재용 모래로서는 不良한 材料이다.

한편 채움재인 石灰石가루는 石灰石 粗骨材 採石場의 副産物로서 생산된 것이고, 砂丘모래 가루는 사구모래를 실험실에서 갈아서 만든 것으로 두재료 모두 0.15mm(No. 100) 체통과분을 사용하였다.

표-1. 사구모래와 석회석채움재의 化學적 성분

化學적 성분	중 량 비	
	사구모래	석회석 채움재
SiO <sub>2</sub>	82.20	14.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.78	1.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.79	0.63
MgO	0.81	16.80
CaO	3.72	25.90
Na <sub>2</sub> O	0.96	0.85
K <sub>2</sub> O	1.05	0.32
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.23
Loss on ignition	2.77	38.60
Total	96.37	99.26

표-2. 사구모래와 석회석채움재의 광물학적 성분

시 료	광 물 (중량비)
사구모래	Quartz(54), calcite(17),
석회석채움재	gypsum(17), feldspar(12), Dolomite(60), quartz(26), calcite(5), gypsum(4), mica(3), feldspar(2)

유황모르터는 모래와 채움재를 均一하게 섞은 혼합물을 150°C 온도의 乾燥爐에서 24시간 가열한 후 혼합물을 가열용기에 옮기고, 固體硫黃을 첨가한다. 가열용기는 140°C로 유지하며 유황이 완전히 녹을 때까지 휘저어 均質의 流體혼합물이 되면 진동대 위에 설치한 가열된 모울드에 유체혼합물을 쏟고 진동다짐후 다짐봉으로 추가다짐을 한다.

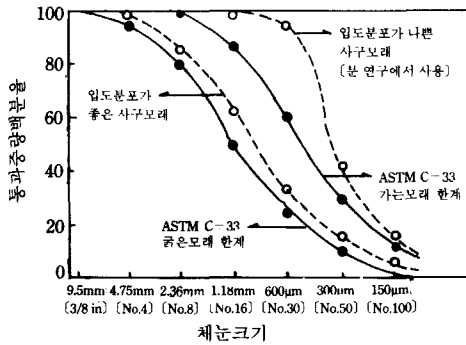


그림. 1. 본연구에서 사용된 입도분포가 불량한 사구모래의 입도곡선

다음에 고온의 흡손을 이용하여 표면을 水平으로 마무리하고 試料를 실내온도로 식힌 후 모울드에서 꺼내어 일주일 방치한 후 여러가지 시험을 하였다.

나. 시험방법

本 研究에서는 다음과 같은 4가지 시험을 하였다.

1) 強度試驗

純粹硫黃과 채움재량의 변화에 따른 50mm육면체 硫黃모르터供試體 24개(표 3)를 製作하여 壓縮, 引張 및 휨強度試驗을 하였다.

2) 純粹 및 加工硫黃의 壓縮強度 比較

純粹 및 加工硫黃을 使用한 硫黃모르터供試體 16개를 제작하여 각각의 壓縮強度를 比較하였다.

3) 耐久性

純粹 및 加工硫黃으로 제작된 供試體 12개를

증류수와 10% 염화나트륨, 5% 염산 및 5% 황산용액에 각각 48시간 沈漬시키고 80°C오븐에서 48시간 건조시키는 것을 반복하는 耐久性試驗을 하였다.

4) 耐久性과 채움재의 效果

硫黃모르터의 配合比는 重量比로 20 : 15 : 65 (加工硫黃, 채움재, 모래)인데, 채움재는 石灰石가루 및 砂丘모래가루를 使用하였다.

試驗方法은 3)과 同一하게 하였으며 耐久性試驗은 100일주기로 하였고, 모든 시험은 1회 6개의 供試體에 대하여 행하였다.

표-3. 순수유황모르터의 배합비변화에 따른 압축, 인장, 휨강도

배합비(중량비) (유황/채움재/모래)	강 도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	압 축	인 장	휨
15/0/85	78.70	17.94	15.70
15/10/75	221.73	36.80	28.95
15/15/70	328.77	43.73	29.97
15/20/65	164.54	39.76	25.89
15/25/60	170.45	31.40	21.82
15/30/55	158.22	25.38	25.28
20/0/80	230.60	28.14	23.45
20/10/70	469.15	57.50	62.90
20/15/65	482.20	62.29	83.70
20/20/60	547.44	58.62	78.80
20/25/55	479.55	58.01	69.63
20/30/50	435.10	58.72	79.31
25/0/75	425.01	44.24	47.61
25/10/65	542.86	38.23	58.92
25/15/60	491.58	53.93	53.52
25/20/55	583.02	45.88	74.42
25/25/50	459.98	37.41	73.91
25/30/45	544.79	43.33	62.90
30/0/70	506.67	46.38	41.29
30/10/60	508.60	38.74	46.79
30/15/55	402.58	39.25	41.80
30/20/50	598.42	49.04	64.53
30/25/45	458.24	35.27	60.05
30/30/40	471.19	35.37	46.49

3. 試驗結果 및 考察

가. 強度

純粹硫黃으로 제작한 각종 유황모르터의 壓縮, 引張 및 휨強度는 표 3과 같다.

15% 유황 모르터의 壓縮強度는 특히 적고 최대가 360kgf/cm<sup>2</sup>이며 最適強度는 硫黃이 20% 일 때이고 이 量을 넘으면 強度增加가 적다.

채움재의 最適含有量은 15~20% 범위내로서 채움재가 있는 모르터의 강도는 채움재가 혼합성분의 材料分離를 줄이기 때문에 채움재가 없는 경우보다 2~2.5배 높다.

유황형태의 효과에 따른 強度에 관한 연구결과는 그림 2와 같다. 加工 硫黃모르터가 최대 압축강도를 발휘하는데 소요되는 硫黃含有量은 純粹 유황모르터보다 작으나 壓縮強度는 항상 크다.

純粹 및 加工 硫黃모르터의 應力-變形率曲線은 그림 3과 같다. 여기서 加工 硫黃으로 만든 유황모르터보다 柔軟性增加가 명백히 나타나며, 파괴에 대응한 變形率도 純粹 硫黃모르터보다 약 4배 더 크다.

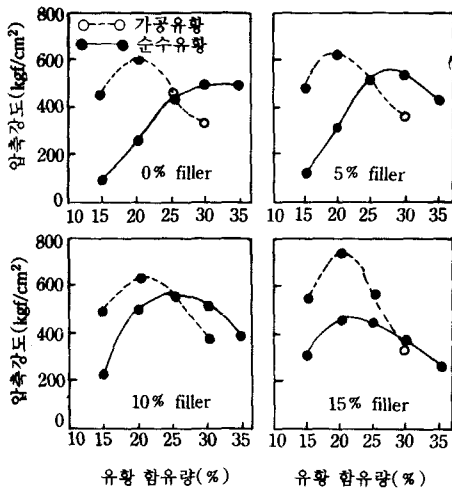


그림 2. 유황 및 채움재함유량에 따른 순수 및 가공 유황모르터의 압축강도

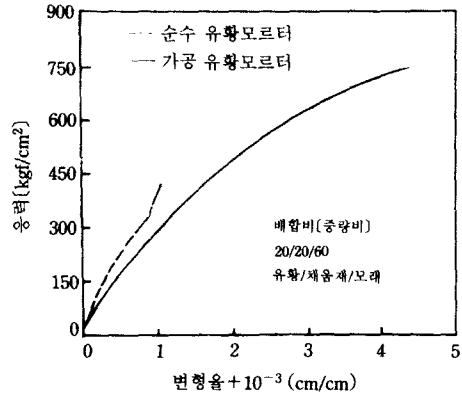


그림 3. 순수 및 가공 유황모르터의 응력-변형률 곡선

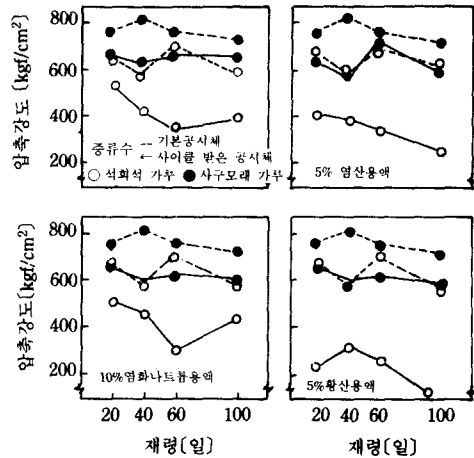


그림 4. 서로 다른 용액에서 건습반복을 받고 있을 때 다른 형태의 채움재로 만든 가공유황 모르터의 압축강도

나. 耐久性

표 4는 순수 및 가공 유황모르터가 乾濕 反復作用을 받을 때 壓縮強度 損失을 나타낸 것이다. 일반적으로 순수 유황모르터는 유황 및 채움재의 함유량에 관계없이 압축강도 손실이 많다. 가공 유황모르터의 乾濕反復에 대한 抵抗은 同量의 순수 유황모르터보다 훨씬 크며 20% 유황으로 만든 가공 유황모르터는 건습반복에 대한 저항이 크고 압축강도손실은 0~30

표-4. 건습반복을 받고 있는 순수 및 가공 유황모르터 공시체의 압축강도손실

배합비(중량비) (유황/채움재/ 모래) (1)	압축강도 손실률											
	20일 후				40일 후				60일 후			
	Dlettled Water (2)	10% NaCl (3)	8% Hcl (4)	5% H <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> (5)	Dlettled Water (6)	10% NaCl (7)	8% Hcl (8)	5% H <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> (9)	Dlettled Water (10)	10% NaCl (11)	8% Hcl (12)	5% H <sub>3</sub> SO <sub>4</sub> (13)
(a) 순수 유황모르터												
12/0/83	90.5	85.5	85.5	85.5	100.0	85.5	85.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12/8/80	68.0	68.0	77.5	90.5	80.0	76.0	84.0	100.0	100.0	88.5	88.5	100.0
12/12/76	66.0	68.5	84.0	87.0	78.0	69.0	84.5	90.5	90.0	83.5	90.0	100.0
12/15/73	63.0	76.0	80.5	85.0	76.0	69.5	76.0	88.0	88.0	90.0	90.0	100.0
16/0/84	73.0	75.0	77.0	86.5	87.0	79.5	69.5	100.0	86.0	75.0	83.5	100.0
16/8/76	52.0	62.5	70.0	73.0	68.5	58.0	64.0	84.0	83.5	78.5	82.5	100.0
16/12/72	56.5	69.0	71.0	73.0	66.0	64.0	70.0	85.0	75.5	75.5	77.5	100.0
16/15/69	55.0	68.0	72.0	75.5	67.0	65.0	70.5	84.0	74.0	72.0	79.0	91.0
20/0/80	52.5	62.5	72.5	67.5	63.0	65.0	60.0	70.0	75.0	79.5	68.5	100.0
20/8/72	29.5	41.0	48.0	52.5	63.0	52.0	60.0	68.5	73.0	73.0	63.0	88.0
20/12/68	23.5	30.5	30.5	37.5	56.5	52.5	45.0	60.0	66.0	70.0	62.0	73.5
20/15/63	51.5	60.0	52.4	52.4	45.0	45.0	38.0	44.0	70.0	68.0	65.0	88.3
(b) 가공 유황 모르터												
12/0/83	47.5	53.5	49.0	51.0	66.5	72.0	59.5	66.0	78.5	60.5	57.0	75.5
12/8/80	49.5	39.0	48.5	66.5	73.5	62.0	71.5	90.5	83.0	63.0	75.0	100.0
12/12/76	58.5	40.0	54.5	74.5	79.0	68.5	75.0	100.0	81.5	65.0	72.5	100.0
12/15/73	58.0	44.0	61.5	77.0	74.0	53.5	70.0	100.0	88.5	70.5	83.5	100.0
16/0/84	8.5	8.5	11.0	19.5	51.0	58.5	72.0	48.5	37.0	32.5	39.0	61.5
16/8/76	34.0	29.0	25.5	61.5	67.5	43.0	61.5	79.5	44.0	35.5	34.5	100.0
16/12/72	45.5	21.5	26.5	53.5	62.5	26.0	41.0	86.0	59.5	18.5	11.0	100.0
16/15/69	66.5	50.5	74.0	82.5	71.5	72.5	83.5	91.0	83.0	69.0	84.0	100.0
20/0/80	3.5	16.5	1.5	8.0	23.5	26.0	4.0	26.0	7.0	0.0	3.0	30.0
20/8/72	9.0	4.5	4.5	20.5	4.0	4.5	1.5	25.5	19.5	0.5	0.0	9.5
20/12/68	9.0	11.0	10.5	14.5	8.0	14.0	6.0	20.5	7.5	9.0	0.0	9.5
20/15/63	9.0	9.0	15.5	12.0	10.0	20.0	6.0	26.0	31.5	26.5	5.0	32.5

%이다.

또한 채움재가 있는 경우가 없는 경우보다 압축강도손실이 같거나 더 심하다.

유황모르터의 耐久性에 관한 채움재의 影響은 그림 4와 같다.

서로 다른 용액에서 100일간 건습반복후 사구모래가루로 만든 供試體의 壓縮強度損失은 9~18%이며, 석회석가루로 만든 경우는 33~100%이다. 석회석가루로 제작된 供試體의 경

우는 5% 황산용액에서 腐蝕作用이 많으나 사구모래로 제작된 경우는 다른 용액에서와 같다.

#### 4. 結 論

本 研究는 유황모르터 配合比의 效果, 유황의 形態, 유황모르터의 強度 및 耐久性에 관해 채움재의 化學的, 鑛物學的 成分을 연구한 것으로서 시험결과를 기초로 하여 다음과 같은 결

과를 얻었다.

가. 유황모르터 配合比에서 유황 및 채움재의 最適含有量은 각각 20%, 15~20%이다. 유황의 最適함량내에서 채움재가 있는 모르터의 強度는 없는 경우보다 2~2.5배 크다.

나. 유황 및 채움재(석회석가루)의 最適함량 범위내에서 순수 유황모르터의 壓縮強度는 510kgf/cm<sup>2</sup>이다. 引張 및 韌強度는 압축강도 제곱근의 10~15배이다.

다. 加工硫黃으로 만든 유황모르터 압축강도는 순수유황의 경우보다 1.2~1.5배 더 크다. 20%의 가공유황과 15%의 石灰石채움재를 配合한 供試體의 압축강도는 760kgf/cm<sup>2</sup>이다.

라. 가공 유황모르터의 파괴에 대응한 變形率은 순수 유황모르터보다 약 4배 크다.

마. 一般的으로 石灰石채움재로 만든 純粹硫黃모르터의 耐久性은 나쁘지만 同量의 석회석채움재를 含有한 加工硫黃모르터의 경우는 그보다 좋다.

바. 5% 황산용액에서 加工硫黃모르터를 100일간 乾濕反復시킨 때 壓縮強度 損失은 석회석채움재의 경우 완전히 低下된데 비해 砂丘모래가루의 경우는 대략 17.5% 정도이므로 耐久性이 훨씬 向上된다.

사. 이상의 結果에 의하면 硫黃모르터를 使用할 수 있는 産業施設바닥, 高速道路, 滑走路 등의 環境에 비해 본 연구의 耐久性反復 試驗環境이 아주 심하므로 이 極甚한 환경조건에 견디는 硫黃모르터는 실제상황에서 더 잘 견딜 것으로 생각된다.