

유황 콘크리트

- Sulfur Concrete -



윤재환*

Yoon, Jai Hwan



유용선**

Sunny. Y. S. Ryu



이정규**

Lee, Jeong Kyu

1. 서 론

시멘트·콘크리트에 있어서 시멘트대신에 유황을 결합재로 제조한 유황 콘크리트(sulfur concrete)는 속경성, 내산성, 내약품성이 극히 우수한 특징을 가지고 있다는 사실은 오래전부터 알려진 사실이었으나, 한편으로 대단히 취약하며, 내수성이 부족하다는 결점을 가지고 있기 때문에 오랫동안 실용화되지 못하였다.

그러나 1970년대에 들어와 석유, 천연가스 등의 연료소비량이 급격하게 증대함에 따라 회수되는 유황의 증가가 문제가 되어, 유황을 새로운 용도로 개발하기 위한 조사·연구가 여러 외국에서 활발하게 행해지게 되어 유황을 유황아스팔트, 유황 콘크리트, 유황합침 콘크리트 등의 건설재료로서 사용하는 것을 검토하여 왔다.

이들 일련의 연구로부터 유황 콘크리트의 결점인 취성과 내수성을 개선하는 방법이 몇 가지 개발되어, 미국과 캐나다에서는 이미 프리캐스트 제품으로서, 또는 현장타설 콘크리트로서 유황 콘크리트의 실

용화가 이루어지고 있다. 그러나 우리나라에서는 아직 실용화까지 이르지 못하고 있으며, 이에 대한 연구는 이제 막 시작된 상황이다.

특히 우리나라에서는 원유의 정유공정에서 부산물로 발생하는 유황은 고가로 판매되었으나 근래 중동지역국가에서 원유정제를 실시하여 세계적으로 공급과잉이 시작되어 2003년경부터는 국내에서도 약 20만톤 이상의 잉여유황의 발생이 추정되며, 이 양은 점차 증가될 것으로 예상되어 별도의 대책이 없을 경우 수천억원대의 폐기물처리 비용이 요구될 것으로 예상되고 있다.

또한 내구성능이 개선된 개질유황을 결합재로 제조된 콘크리트는 산 및 염기에 대한 저항성이 우수하여 콘크리트 관과 같은 제품 또는 산이나 염기를 많이 사용하는 화학공장의 바닥재료로 사용하면 그 효과가 클 것으로 사료되며, 향후 예상되는 석유화학 공장의 잉여 유황폐기물을 소화할 수 있어 자원의 재활용 및 환경측면에서도 그 기여도가 크리라 예상된다.

본고는 위와 같은 취지로서 유황 콘크리트에 대한 일반적인 사항을 기술함으로써 유황 콘크리트에 대한 일반의 인식을 새롭게 하기 위하여 작성된 것이다.

2. 유황 콘크리트의 정의 및 특성

2.1 유황 콘크리트의 정의

유황 콘크리트는 입도 조정된 골재에 어떤 특수한 가소제와 더불어 용융한 유황을 가해서 제조하거나, 또는 특수 개질된 유황을 용융하여, 뜨거운 상태에서 골재와 혼합하여 포틀랜드 시멘트 콘크리트와 동일한 방법으로 제조되어 거푸집에 타설된다.

유황 콘크리트는 유황 시멘트와 광물성 골재에 열을 가해 혼합함으로써 제조되는 열가소성 물질이다. 유황 콘크리트는 냉각에 의해 급속히 경화되어 강도를 얻는다. 유황은 상온에서 1시간 안에 경화하여 수 시간 안에 최종강도의 80%를 발현한다.

바인더로서 개질되지 않은 유황으로 제조한 초기의 유황 콘크리트는 내구성문제로 많은 문제가 있었다. 우수한 역학적 강도를 가진 재료가 생산되는 반면에 실제 사용에서 비교적 짧은 기간에 열화되고 파괴됐다. 그러나 개질된 유황 시멘트의 개발은 유황 콘크리트의 내구성을 증가시키고, 이것으로 인해 훨씬 많이 사용할 수 있는 건설재료로 만들어졌다.

개질된 유황 시멘트가 결합재로서 적당

* 정희원, 수원대학교 건축공학과 교수

** 정희원, 씨엠씨코리아 제품개발팀장, 이사

*** 정희원, SK주식회사 SC사업팀장, 부장

한 골재와 사용될 때 유황 콘크리트의 결과물은 (a) 고강도와 피로저항, (b) 대부분의 산과 염분에 대한 뛰어난 내식저항, (c) 굉장히 빠른 응결과 그리고 강도 발현 등 몇 가지 독특한 특성을 보여준다.

유황 콘크리트의 가장 큰 용도 중 하나는 부식성물질에 노출되어지는 산업공장의 바닥용 재료이다. 유황 콘크리트의 주된 이점은 산업설비와 그 외에 장소에 산과 염분 환경에서 포틀랜드 시멘트가 조속히 열화하고 손상을 입는 곳에 고도의 내구성을 가진 건설재료의 대체재료로서 사용된다는 점이다. 일반적으로 유황 콘크리트는 다음과 같은 유용한 특징을 가진다.

(1) 유황 콘크리트의 인장강도, 압축강도, 휨강도, 그리고 피로수명은 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트가 지니고 있는 것보다 훨씬 크다. <그림 1>은 두 재료의 압축강도를 비교한 것이다.

(2) 유황 콘크리트는 매우 짙은 농도의 산과 염에 대한 저항성이 뛰어나다.

(3) 유황 콘크리트는 24시간 이내에 중국 압축강도의 70 ~ 80 % 정도에 빠르게 도달한다.

(4) 유황 콘크리트는 연중 타설할 수 있고 영하의 온도에서도 타설할 수 있다.

(5) 유황 콘크리트는 매우 낮은 투수성을 나타낸다.

2.2 유황 결합재

유황 결합재는 유황 콘크리트의 취성을

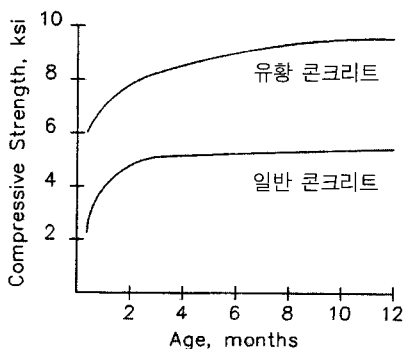


그림 1. 유황 콘크리트와 일반 포틀랜드 콘크리트의 압축강도 비교

감소시켜 연성을 부여하기 위하거나(가소성부여) 또는 내수성을 증가시키거나 보다 작업성이 뛰어난 콘크리트를 만들기 위하여 혼화제를 유황 콘크리트 혼합 시 첨가하거나 또는 미리 유황과 반응시켜두는 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 첫 번째의 경우는 설펡스(sulfix)와 같은 혼화제이고 두 번째가 개질유황 시멘트이다. 개질유황 시멘트를 생산할 수 있는 방법은 다음과 같은 두 가지 방법이 있다.

2.2.1 유황 폴리머 시멘트

첫 번째 방법은 유황을 동일한 분량의 싸이클로펜타디엔 올리개이머(cyclopentadiene oligamer)와 디싸이클로펜타디엔(dicyclopentadiene)을 함유하는 개질제 폴리머반응으로 제조하는 것이다. 이 방법에 의한 개질유황 시멘트의 구성성분과 물성은 <표 1>과 같다.

2.2.2 유황 개질제

두 번째 방법은 Escopol과 같은 올레핀 하이드로카본(olefinic hydrocarbon) 폴리머와 유황을 결합함으로써 개질된 유황농축액을 제조하여, 순수한 유황과 농축액을 10 : 1의 중량비율로 혼합하는 것이다. 두 번째 방법으로 제조된 유황 개질제는 대략 <표 2>와 같은 구성을 갖는다.

표 1. 유황폴리머시멘트의 구성 성분과 물성

유황(중량 %)	95.0 ± 1.0
탄소(중량 %)	5.0 ± 0.5
수소(중량 %)	0.5 ± 0.05
비중(25°C)	1.90 ± 0.02
점도(CP at 135°C)	25 ~ 100

표 2. 유황개질제의 구성 성분과 물성

유황(중량 %)	80 ± 2.0
탄소(중량 %)	18 ± 1.0
수소(중량 %)	2.0 ± 0.1
비중(25°C)	1.71 ± 0.02
점성(CP at 135°C)	35 ~ 100

2.3 배합

배합설계는 최대의 강도와 최대비중, 최

소의 흡수율과 수축률 그리고 좋은 워커빌리티 사이에서 최적의 균형을 찾기 위해 상대적으로 검토되어야 한다. 공기량이 작기 때문에 고강도가 얻어지지만 어느 정도 공기량을 혼입시키면 시멘트·콘크리트와 동일하게 내구성이 향상된다. 워커빌리티와 어느 정도의 강도를 얻는데 필요한 유황의 양을 최소화하면 수축과 온도팽창은 최소가 된다.

배합비는 고품질의 유황 콘크리트 혼합물을 얻기 위해 요구되는 굵은골재, 잔골재, 광물질 미립분 그리고 유황 시멘트의 양이다. <그림 2>는 유황 콘크리트 배합설계의 일례를 나타낸 것이다.

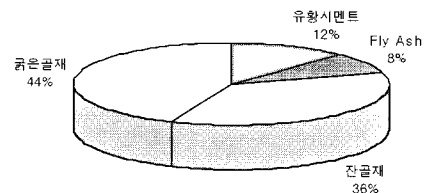


그림 2. 유황 콘크리트 배합설계의 일례

<표 3>은 치밀한 입도를 갖는 골재의 최대크기에 대한 유황 시멘트량의 범위를 나타낸다. 최적의 유황량은 12 ~ 22%의 범위 내에 있다.

표 3. 유황 시멘트량의 범위값

골재의 최대치수(mm)	시멘트(% , 중량비)
25	12 ~ 15
19	13 ~ 16
13	14 ~ 17
10	16 ~ 19

2.4 유황 콘크리트의 특성

2.4.1 물리적 성능

개질유황 콘크리트가 재령 1일에 일반적으로 얻어지는 물성을 다음 <표 4>에 나타내었다.

2.4.2 응력-변형곡선

<그림 3>은 포틀랜드 시멘트와 몇 개의 전형적인 개질유황 콘크리트에 대한 응력-변형곡선을 보여준다. 일점쇄선으로 표시한 것은 개질되지 않은 유황 콘크리트에서

표 4. 1일 재령에서 유황 콘크리트의 물리적 성능

압축강도(N/mm ²)	41 ~ 69
휨강도(N/mm ²)	8 ~ 14
쪼갠인장강도(N/mm ²)	6 ~ 10
공극률(%)	4 ~ 8
침수 1일 후 흡수율, 최대(%)	0.10
열팽창계수(per deg. °C)	11.9 ~ 15 × 10 ⁻⁶
동결융해 내구성지수 (300사이클 후 동탄성계수잔존율, 최저(%))	60
탄성계수(kgf/cm ²)	2.1 ~ 2.8 × 10 ⁵
사용온도(최대)	88 °C
열전도율(J/hr · m · °C)	1,245 ~ 3,112
크리프(ASTM C 512)	5.2 × 10 ⁻³ cm per cm/Pa
밀도(kg/m ³)	2,304 ~ 2,499

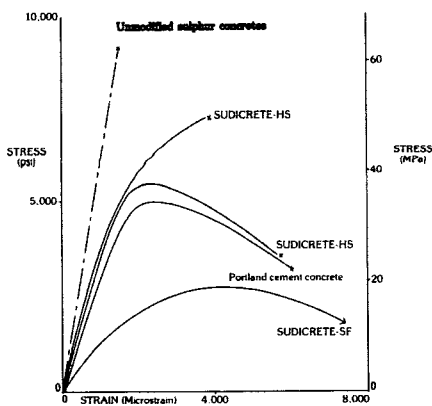


그림 3. 포틀랜드 시멘트 콘크리트와 개질유황 콘크리트의 응력-변형곡선

경험되는 취성거동을 보여준다. 문제는 유황의 결정화현상에 기인하며, 온도변화에 의해 가속된다. 몇 개의 기관들이 유황의 결정화 과정을 방지하거나 지연시키는 혼화제를 개발하기 위한 연구를 행하였다.

가장 일반적으로 사용되는 유황 콘크리트 개질제는 디사이클로펜타디엔으로 불리는 것으로, 이것은 유황·골재 혼합물을 작업성이 좋게 하며, 이 재료의 변형능력을 증가시킨다.

이러한 개질제가 없으면 유황 콘크리트는 내구성이 떨어지며, 열적 또는 기계적 충격에 약하다. 변형-응력곡선을 보면 혼합물 중의 개질제 농도를 증가시키면 강성으로부터 유연성 있는 유황 콘크리트를 각

각 제조할 수 있으며, 시간의 경과에 따른 압축강도와 휨강도를 증가시켜 준다.

2.4.3 내식성

유황 콘크리트는 거의 대부분의 산과 염에 대한 뛰어난 저항성을 가지고 있다. (<표 5> 참조)

개질유황 콘크리트를 가장 심각하게 열화시키는 주된 화학약품은 강한 산화제, 알콜, 탄화수소, 방향족 물질과 약간의 유기용제이다. 만약 개질유황 콘크리트의 특수한 배합의 화학저항성이 중요한 경우에는 골재가 화학약품과 반응성이 있는 경우가 있기 때문에 골재의 선정에 주의하여야 한다.

<사진 1>은 10%의 황산용액에 6개월 동안 침지한 후의 콘크리트 공시체의 모습을 보여준다. 보통 콘크리트는 심하게 열화되어 있으나 유황 콘크리트는 건전한 상태를 유지하고 있어 유황 콘크리트가 강한 화학저항성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

2.4.4 피로

유황 콘크리트는 매우 높은 응력도 수준에서 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 피로 저항성의 10 ~ 30배 정도의 우수한 피로

특성을 보여준다. 실험결과 유황 콘크리트는 포틀랜드 시멘트 콘크리트보다 훨씬 높은 파괴강도에서 반복하중에 견딜 수 있었다. 개질된 유황 콘크리트는 개질되지 않은 유황 콘크리트에 비하여 피로수명 역시 향상되었다.

2.4.5 경화수축

유황 콘크리트는 경화수축 시 보통 포틀랜드 시멘트보다 큰 수축을 나타낸다고 한다. 즉 유황(S_A)은 액상에서 냉각에 따라 119°C에서 7%의 체적감소와 함께 단사정계(monoclinic) 유황(S_B)으로 일차 결정화한다. 또한 유황이 고체로 변한 뒤에도 95.5°C 부근에서 S_B는 상온에서 유황의 안정된 형태인 사방정계(orthorhombic) 유황(S_C)으로 결정전이가 있으며 이때에도 체적감소를 동반한다. 또한 140°C에서 상온으로 냉각할 때에도 열수축이 부가된다. 따라서 타설 또는 성형한 뒤로 상온이 될 때까지 전체로서 상당히 큰 수축을 보인다고 한다.

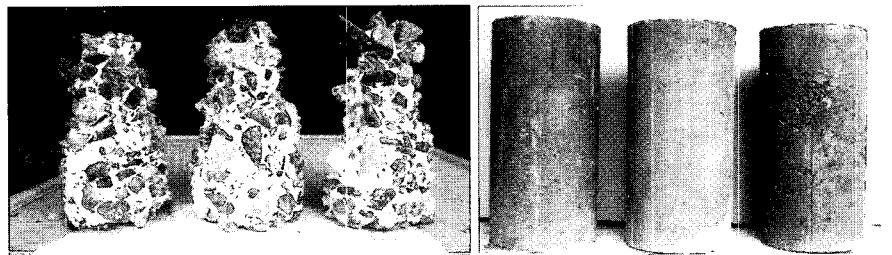
2.4.6 열 감수성

유황 콘크리트의 최대사용온도는 압축

표 5. 개질유황 콘크리트가 내식성이 있는 산과 염

산	염	기타
sulfuric acid hydrochloric acid nitric acid(to 50%) acetic acid, lactic acid butyric acid, hydrofluoric acid phosphoric acid silage acids	ammonium sulphate* ammonium chloride* sodium chloride*, ferric sulphate* zinc chloride*, zinc sulphate* calcium sulphate*, copper chloride copper sulphate*, nickel sulphate nickel chloride, ferric chloride* magnesium sulphate*	food wastes animal wastes some vegetable oils sea water saturated lime(20 °C) some hydrocarbons

*saturated



OPC 황산6개월

a. 보통 콘크리트

SPC 황산침지6개월

b. 유황 콘크리트

사진 1. 황산용액 6개월 침지 공시체의 외관

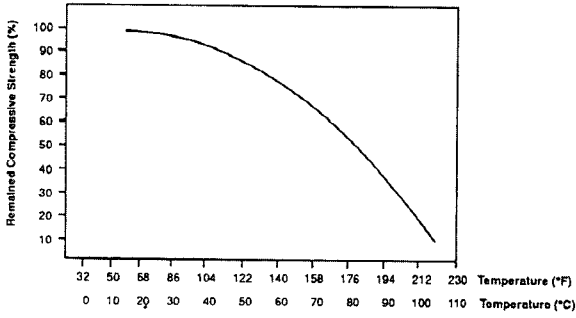


그림 4. 유황 콘크리트의 열 감수성

강도가 고온이 됨에 따라 저하하기 때문에 (<그림 4> 참조) 사용하는 압축강도에 따라 다르다. 일반적으로 최대 사용온도는 88°C 라고 간주되나 열전도율이 작기 때문에 고온에 단기간 노출될 수 있다.

유황 콘크리트는 두 가지 위험을 피하기 위하여 온도범위의 최대 값이 있다.

(1) 유황 콘크리트는 121°C에서 녹기 시작하여 모든 구조적 강도를 잃는다. 용해점 부근에서 연화와 급속한 크리프를 나타내기 때문에 설계상의 최대부하온도는 80°C를 넘어서는 안 된다.

(2) 155°C에서(탄화수소의 존재 하에) 녹은 유황은 황화수소가스를 발생하며, 이것이 어느 농도에 달하면 유독하다.

3. 유황 콘크리트의 제조, 운반, 타설 및 마감

3.1 장비

유황 콘크리트는 가열된 골재(177 ~ 204°C)를 상온의 개질된 유황 시멘트와 광물질 미립충전재를 혼합하여 균질하고 잘 혼합된 콘크리트를 제조할 수 있도록 생산되며, 타설 전까지 132 ~ 141°C의 온도 범위에서 유지된다. 가열된 골재는 유황 시멘트를 녹이고 광물질 미립분을 가열한다.

유황 콘크리트 혼합물의 최소 및 최대 온도는 다음과 같은 이유로 조절되어야 한다.

(1) 개질된 유황 시멘트는 119°C에서 녹는다.

(2) 155°C 이상에서 유황 콘크리트의

점도는 작업이 불가능할 정도로 급속히 증가한다.

이러한 이유로 132 ~ 141°C가 유황 콘크리트가 경화하기 전에 운반, 타설 및 마무리를 하는 시간을 허용하는 최적온도임이 알려져 있다.

콘크리트 그리고 아스팔트 기술로부터 장비의 기술이 유황 콘크리트의 제조, 운반, 타설, 그리고 마무리에 사용된다. 현장타설 유황 콘크리트 시공에 필요한 전형적인 장비는 다음과 같다.

- (1) 골재건조장비
- (2) 혼합재료 계량 호퍼 및 저울
- (3) 혼합, 운반장비
- (4) 전형적인 콘크리트 수동 타설과 마감공구

3.2 골재 건조/가열장비

골재 가열과 건조의 효율적인 방법은 로터리 건조시스템(아스팔트 산업에서 제조됨)이다. 특별히 가열 콘크리트 운반트럭은 유황 콘크리트 제조를 위해 개조될 수 있다. 다음은 유황 콘크리트 제조에 적합한 골재 건조 및 가열장비인 로터리 킬른이다.(<사진 2> 참조)

트랜시트 믹서 트럭이 유황 콘크리트용으로 개조된 것이다. 잔골재 및 굵은골재는 각각의 계량 빈(bin)에 적재되어지고 적절한 량의 모래와 자갈비에 따라 투입구를 거쳐 가열없이 이송되어 진다. 투입구를 거쳐 로터리 킬른으로 투입된 후 모래

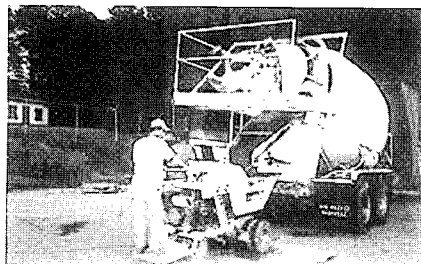


사진 2. 이동식 생산설비(가열 믹서)

와 자갈은 혼합되어 LPG나 디젤 버너에 의해 수분이 제거되고 골재의 온도를 유황의 용융점 이상으로 올리기 위해 가열되어 진다. 시스템 중 일부는 통풍 및 굴뚝 장비가 연소가스를 배출시키고 배출 미립자들을 포집한다. 이 미립자들은 킬른의 배출구 끝부분에서 혼합되고 가열된 골재들로 되돌아간다. 킬른에서 배출된 후 가열된 골재들은 어떤 종류의 골재를 버켓 체인 혹은 컨베이어 시스템을 통하여 믹서나 운반장비에 적재된다. 믹서나 운반 장비에 적재하기 전 중간 단계로 가열된 골재들은 정확한 계량을 위하여 계량 호퍼나 저울에 배출된다.

골재는 최종 유황혼합물의 온도가 132 ~ 141°C가 되도록 가열되어야 한다. 일반적으로 고체 유황 시멘트를 사용할 때 골재는 177 ~ 204°C로 가열하여 최종적인 골재-액체유황-충전재 혼합물의 온도는 132 ~ 141°C가 되어야 한다.

3.3 믹서/운반장비

믹서/운반장비에 요구되는 사항은 유황 콘크리트의 독특한 열가소성 특성에 따라 정의된다.

- (1) 유황 콘크리트는 적은 온도범위에서 용융 상태를 유지되어야 한다.
- (2) 콘크리트 혼합물은 녹은 유황 시멘트가 굵은골재, 잔골재, 광물첨가물(filler)을 충분히 피복할 수 있도록 완전히 혼합되어야 한다. 혼합물에서 골재분리가 최소화되어야 한다.

만족스러운 품질관리를 위해서 재료는 다음의 순서에 따라 혼합되어야 한다.

- (1) 가열된 잔·굵은골재
- (2) 개질된 유황 시멘트 혹은 유황 및 농축물
- (3) 미립 광물충전재, 플라이 애쉬 또는 실리카 분말
- (4) 기타 섬유(필요할 경우)

3.4 거푸집 및 철근배근

목재 및 금속제 거푸집이 사용될 수 있다. 석유계 박리제가 벽체에는 사용되어져야 하나 슬래브 거푸집에는 필요하지 않다. 대규모 표면과 접하는 거푸집(예를 들면 벽체)을 재사용이 가능한 철제 거푸집으로 하는 경우 유황 콘크리트가 차가운 거푸집과 접촉하여 급결에 의해 유황 시멘트가 박리하는 것을 방지하기 위해 미리 가열되어져야 한다.

유황 콘크리트는 철근, 에폭시코팅 철근, 또는 유리섬유로 보강이 가능하다. 포틀랜드 시멘트 콘크리트에서 철근의 상세 표준이 유황 콘크리트의 설계에 있어서 추천된다. 거푸집과 철근 순간격은 철근에 유황 콘크리트가 접촉하여 굳어 발생하는 타설의 어려움을 피하기 위해 약간 증가되어야 한다. 순간격을 증가시키는 대신에 유황 콘크리트 타설에 앞서 거푸집과 철근을 간접적인 방법, 예를 들면 적외선 히터 등을 이용해 미리 가열하는 것도 가능하다.

3.5 타설과 마무리

3.5.1 일반사항

성공적인 유황 콘크리트 타설 및 마무리를 위한 핵심은 유황 콘크리트를 타설시 132 ~ 141 °C로 가열되어야 하고, 타설 및 마무리가 신속히 이루어져야 한다.

콘크리트용 수레가 가열된 유황 콘크리트를 거푸집으로 운반하는 데 사용될 수 있다. 이러한 수레는 유황 콘크리트의 열손실을 방지하기 위해 단열하기도 하나 일반적으로 필수적인 것은 아니다. 이들 수레들은 안전하게 취급할 수 있는 범위 내에서 가득 채워지도록 하여 작업자들은 수레를 빨리 비우도록 한다. 유황 콘크리트의 타설은 가능한 빨리 이루어져서 평탄작업과 마무리를 콘크리트가 충분히 뜨거울 때 이루어지도록 하여야 한다.

3.5.2 바닥판 시공

유황 콘크리트 다짐, 표면 평탄작업 및

마무리는 통상적인 포틀랜드 시멘트 콘크리트 수작업 공구들을 사용할 수 있다. 유황 콘크리트는 온도를 유지하기 위해 가능한 큰 덩어리로 작업을 하는 것이 좋다. 슬래브의 최대 크기는 마무리 작업자가 콘크리트가 충분히 뜨거운 동안 작업을 마칠 수 있는 한계 내에서 정해진다.

타설부분이 유황 콘크리트로 채워지면 간단한 스크리드(screed)의 표면고르기를 한다. 적절한 배합의 혼합물에 있어 봉상진동다짐기(probe vibrations)는 보통 불필요하다. 진동 스크리드는 비교적 매끈하고 수밀성의 표면 마무리에 유용하다.

슬래브의 표면고르기가 완료되면, (기온 조건에 따라) 표면 마무리가 가능한 시간은 몇 분 정도이다. 51 mm 두께의 층을 타설하는 데 있어 표면이 딱딱해져서 굳기 전까지 2 ~ 20분 정도가 마무리 작업에 유용한 시간이다. 102 ~ 203 mm 슬래브에 있어 마무리에 사용할 수 있는 시간은 5 ~ 20분 정도이다. 마무리 작업은 통상적인 건축기능공과 재래 방법으로 행한다.

고품질 목재와 금속 흡손이 마무리 작업에 추천된다. 슬래브 표면이 아직 용융 상태일 때 평탄히 하고 마감하는 것이 요구된다. 표면이 굳기 시작할 때 마감작업을 계속하면 겉표면에 균열이 가서 파손된다. 이런 경우엔 LPG 토치로 그 부분을 용융시켜 재마감 하도록 한다.

3.5.3 벽체 시공

유황의 몇 가지 특성 때문에 벽체의 시공은 특별히 고려해야 한다. 우선 유황 콘크리트와 배근 철근 및 거푸집간의 온도차를 고려해야 한다. 배근 철근과 거푸집을



사진 3. 유황 콘크리트 마감장면

적외선 히터나 다른 적절한 가열기로 미리 가열하는 것은 유황 콘크리트의 급결에 따른 부실한 다짐 발생 예방을 위해 필요하다. 유황 콘크리트 타설 중에 보온을 위한 벽체 거푸집 외부의 단열재 사용 역시 검토되어야 한다. 단열은 연속적인 층에 대한 다짐을 가능케 하는 작업온도에 부가적인 시간을 제공하여, 일체적으로 벽을 만들게 한다. 벽체 거푸집 표면의 얇은 박리제 막은 유황 콘크리트의 냉각 경화 후에 거푸집의 탈형이 용이하도록 하는데 필요하다. 확실한 다짐을 위해 경미한 내부 진동기가 사용될 수 있다. 외부 진동기가 다짐에 더욱 효과적이다.

4. 유황 콘크리트의 적용분야

유황 콘크리트는 신규 바닥면, 기초부, 구조부재, 배수시스템, 특히 다른 종류의 건설재료가 실패한 부식성 전해질, 무기산 그리고 염분용액에 노출된 지역에서 프리캐스트나 현장타설용 재료로서 사용이 가

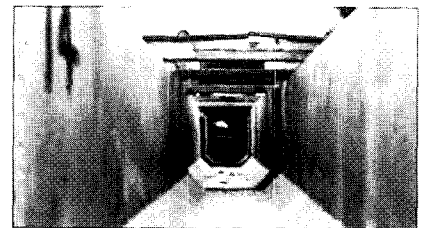


사진 4. 내황산용 PC 유황 콘크리트 수로

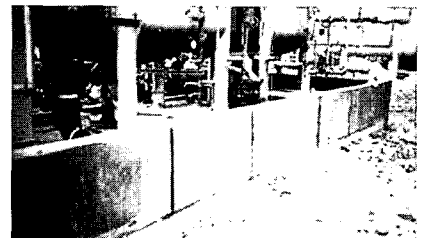


사진 5. 산 저장설비

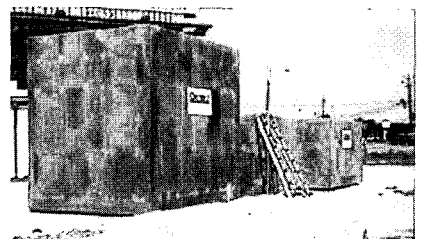


사진 6. 유황 콘크리트를 이용한 대규모 용액 저장탱크

능하다. 전형적인 사용분야는 화학, 금속, 비료 그리고 댐 및 제지공장 등과 같이 유황은 산업현장에 폭 넓게 사용 되어왔다.

개질된 유황 시멘트로 생산된 콘크리트는 50 가지 이상의 다른 산업환경에서 성공적으로 적용되었다(〈사진 4 ~ 6〉 참조). 가장 오랫동안 존재하는 구조물로서는 황 산용액 및 구리의 전해질 용액에 약 10년 노출 후에도 어떤 품질 저하도 없었다.

4.1 적용 산업현장

만족할만한 장기간 시험결과를 보인 산업환경은 다음과 같다.

- ① industrial test environments
- ② sulfuric acid - copper sulfate/sulfuric acid
- ③ magnesium chloride - hydrochloric acid
- ④ nitric acid - zinc sulphate /sulfuric acid
- ⑤ nickel sulphate - vanadium sulphate/sulfuric acid
- ⑥ potash brines - uranium sulphate/sulfuric acid
- ⑦ nitric/citric acid - hydrochloric acid/nitric acid
- ⑧ boric acid - ferric - chlorate ion
- ⑨ citric acid - hydrofluoric acid
- ⑩ sewage - glyoxal - acetic acid/formaldehyde
- ⑪ ferric chloride/sodium chloride/hydrochloric acid

4.2 구조물 형태에 따른 적용분야

적용에 추천되는 산과 염기성 구조물의 일부의 목록은 다음과 같다.

- ① structure type
- ② bases and pedestals - loading decks

- ③ beams - piling
- ④ catch basins - pipe
- ⑤ containment areas - pump foundations
- ⑥ curbs - slab
- ⑦ railway foundations - storage ponds
- ⑧ drainage channels - sumps
- ⑨ electrolytic cells - support columns
- ⑩ floors - tanks
- ⑪ foundations - trenches, walls

4.3 잠재적 적용분야

4.3.1 폐기물 처리분야

유황 콘크리트는 폐기물 처리분야에서 잠재적인 이점을 가지고 있다. 개질된 유황 시멘트 콘크리트의 폐기물 처리 응용과 관련한 다양한 시험과 특허 활동이 진행중이다. 유황 콘크리트의 강도, 내구성, 무투수성, 동결융해 저항성과 흙과 바닷물에 의한 부식저항성은 방사능과 기타 유해 폐기물을 외부와 차단시킬 수 있는 matrices, containers 그리고 barriers 등을 제작할 수 있는 가능성을 보여준다. 그러나, 고방사능 재료와 과도한 열을 발생시키는 물질(온도 88 °C 이상)에 대한 적용은 추천되지 않는다.

4.3.2 기타 적용분야

고속도로 교각 캡, 교량 바닥판, 철도 교차 플랭크(planks), 내식성 파이프와 파이프 라이닝, 하수처리시설 부재 그리고, 해양 구조물에의 사용에 대해서 제안되거나 연구를 통한 유황 콘크리트의 적용이 고려되고 있다.

5. 결 론

이상으로 유황 콘크리트에 대한 기술의 현황에 대하여 살펴보았다.

유황 콘크리트는 미국과 캐나다에서는

상당히 오래전부터 사용해왔으나 국내에서는 비교적 새로운 재료이다. 이것은 무엇보다도 유황의 가격이 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 경쟁력이 생겼기 때문이다. 개질된 유황으로 제조된 유황 콘크리트는 앞에서 살펴본 바와 같이 보통 포틀랜드 시멘트에 서는 얻을 수 없는 우수한 특성을 가지고 있다. 즉 빠른 강도발현성과 고강도, 산과 염 및 염분에 대한 강한 저항성 및 동결기 시공이 가능하며 그리고 무엇보다도 장기간 사용 후 재사용이 가능하여 환경보전과 에너지절약의 측면에서 환경친화적인 재료이다. 또한 공장바닥 등 보수재료로서의 가능성도 높다고 사료되어 앞으로의 유황 콘크리트의 활약이 기대된다. 그러나 높은 열감수성 및 경화수축 등의 약점도 있으므로 이와 같은 약점을 개선하여 유황 콘크리트의 장점을 발휘할 수 있는 분야에서 활용이 기대된다고 하겠다. □

참고문헌

1. ACI 548.2R-88, "Guide for Mixing and Placing Sulfur Concrete in Construction," ACI MATERIALS JOURNAL.
2. S.S. Pickard, "Sulphur Concrete-Understanding/application," Concrete International, Vol.3, No.10, Oct. 1981, pp.57~67.
3. 수원대학교 산업기술연구소, "유황 콘크리트의 배합설계 및 물리화학성능에 관한 실험적연구", 제1차연구보고서, 2002. 5.
4. 水上國男 외, "硫黄モルタルの諸性状とその利用" セメント技術年報, No.38. 1984, pp.491~497.
5. 西 晴, 哉 田辺正人, 水上國男, 今井友安, "硫黄コンクリートの諸性状," 小野田セメント株式会社, セメント技術年報, No.37. 1983, pp.533~536.
6. "Chempruf Concrete," CHEMPRUF 2000.
7. "유황 콘크리트 문헌조사보고서", 2002, SK주식회사, 씨엠펜코리아(주).