

Cement Kiln의 축조용 Mortar에 관한 연구

손동환*·장보국·박훈근

〈포철로재(주) 기술연구소〉

1. 서론

1.1 개요

내화 Mortar는 요로 축조시 연화를 접착하여 로벽에 강도 및 밀폐를 주고 연화면의 변형을 조정하여 이의 균등한 지지 목적으로 사용되며, 특히 Rotary Kiln의 경우는, 상온에서 경화하는 기경성(자경성) Mortar가 사용되고 있다. 이의 연구 및 개발을 위해, 내화재에의 Binder 첨가시험과 수용액으로 액체규산소다를 사용하여 시공시험, 강도시험, 침식시험, 온도변화시험 등을 실시하여 그 결과에 대하여 검토하고자 한다.

1.2 종류

Mortar는 크게, 상온에서 경화하여 연화를 지지하는 기경성 Mortar와 일반적으로, 연화축조 및 열간 변형을 조정하는 열경성 Mortar로 대별한다. Bond에 의한 Mortar의 분류로는, ① Phosphate Bond, ② Silicate Bond, ③ Carbon Bond Mortar가 있다. 이는 Bonding의 재질에 의한 분류로, Phosphate Bond의 경우 1,200°C 이상의 온도에서 연화와 연화간의 강고한 접착성을 발휘하며, 제철, 제강용기의 축조용 Mortar는 대부분 이에 속한다. Carbon Bond Mortar의 경우, 주로 Carbon질 연화와 같은 물이 첨가되지 않아야 하는 부위의 축조시 사용하는 Mortar로 1,600°C 이상의 고온에서 연화와 연화간의 Bonding을 형성한다. 한편, Silicate Bond의 경우, Silica류 즉 점토, Silica Fume, Chemical인 규산염 등을 사용하여 상온이나 저온에서 연화를 지지하며 변형을 조정한다. 하지

만 각종 Mortar의 경우, 시공성이나 기타 특성을 목적으로 재질과 관계없이 기타 무기질 Binder를 첨가하여 보충한다. Cement Rotary Kiln 축조의 경우, 상온에서 경화하는 기경성 Mortar이어야 하며, Silicate Bond Mortar가 주로 사용된다.

2. 본론

2.1 시공성 시험

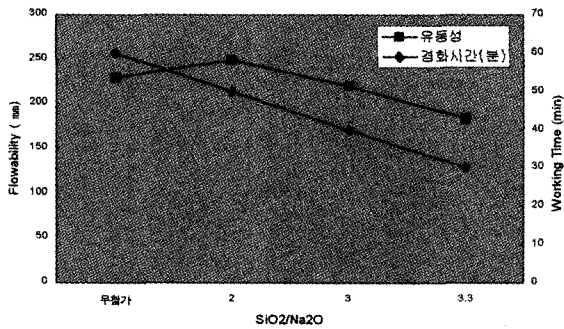
2.1.1 Binder 종류에 따른 시공성

Rotary Kiln 연화축조시 Mortar의 요구특성으로는 시공성과 강도가 우수하여야 한다. 이는 Mortar 분말에 물이나 기타 액상으로 혼련한 Slurry를 흙손으로 연화에 발라 시공한다.

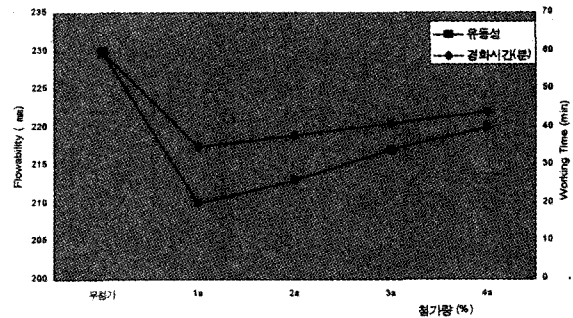
이때 Slurry가 장시간의 작업시간 동안 건조나 경화가 되지 않아야 하며, 특히 유동성이 양호하여야 한다. 작업시간 확보 및 유동성은 Mortar 분말에 첨가하는 Binder의 종류에 가장 큰 영향을 미친다.

따라서 본 시공성 시험은 점토 Binder로 인산염, 규산염, 점토, 기타 Chemical을 적용하여 작업시간 및 유동성을 시험하였다. 작업시간의 경우 침입도 시험기를 사용하여 10분마다 측정하여 300~500의 수치를 가사시간으로 하였으며, 유동성의 경우, 혼련한 일정량의 Slurry를 50φ의 유동도 시험기에서의 퍼짐경을 측정하였으며, 그 퍼짐경이 200mm 이상을 유동성 check 기준으로 하였다.

시험결과, 인산염의 경우, 유동성은 양호하나 경화되지 않으며, 점토 등 기타 Binder 또한 가



<Fig. 1> SiO₂/Na₂O비에 따른 작업시간과 유동성



<Fig. 2> Binder 함량에 따른 작업시간과 유동성

사시간 등 요구특성을 저해하였다. 한편 규산염, Silica Fume 외 Chemical인 CMC (Carboxy Methyl Cellulose) 등을 조합하여 작업시간 및 유동성을 시험하였다. 그 결과를 <Fig. 1>에 나타낸다.

시공성인 가사시간과 유동성의 경우, 작업시간은, 혼련 수용액의 농도, 첨가된 규산염의 SiO₂/Na₂O비에 가장 큰 영향을 미친다.

동결기 및 42Be' Water Glass를 혼련 수용액 일 경우 시공성이 저하하며, 23℃ 상온 및 38Be' Water Glass (SiO₂/Na₂O=3.0) 조건의 시공성 시험에서, 규산계 Binder 무첨가일 때는 재료와 Water Glass의 분리, 점력저하 및 가사시간 지연으로 시공성이 불량하였으며, SiO₂/Na₂O≤2.0인 경우, 표면의 두꺼운 피막형성, 3.3인 경우는 경화시간이 지연되어 축조시 상온에서 연와지지가 곤란하였다.

따라서 SiO₂/Na₂O가 3.0인 Silicate계 Binder를 선정하여 함량에 따른 시공성의 변화를 관찰하였다.

2.1.2 Binder 함량에 따른 시공성

규산염의 경우, SiO₂/Na₂O=3.0의 제품이 시판되지 않아 2.0 및 3.3의 제품을 조합하여 함량에 따른 시공성 시험을 실시하였다. 그 결과를 <Fig. 2>에 나타낸다.

Silicate계 Binder 첨가량 증가에 따른 유동성 및 경화시간 변화는 완만한 상승을 나타낸다. 하지만 적정량 이상을 첨가할 경우, 시공성은 양호하나 축조후 경화시간이 길어 강도발현이 늦어짐에 따라 함량은 3a%로 결정하여 강도시험을 실시하였다.

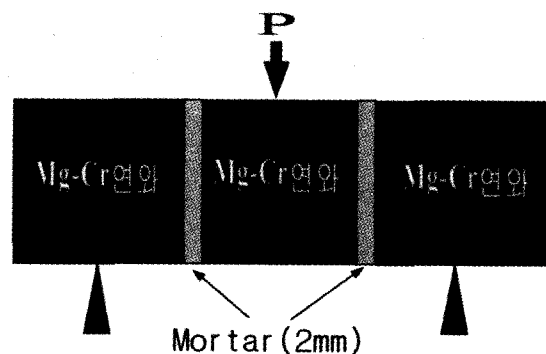
한편 기타 Binder로 첨가한 Silica Fume 외 Chemical 또한 시공성에 많은 영향을 주어, 과다량 첨가시는 축조후 경화시간이 길어 장시간 양생하여야 하는 문제점이 발생하였으며, 혼련수용액 및 Silicate계 Binder의 경우 Na⁺ion의 미끄러운 특성에 의해 시공시 연와와 미끌림 현상이 발생하였다. 따라서 Mortar의 입자크기에 대한 별도의 검토가 요구된다.

2.2 강도시험

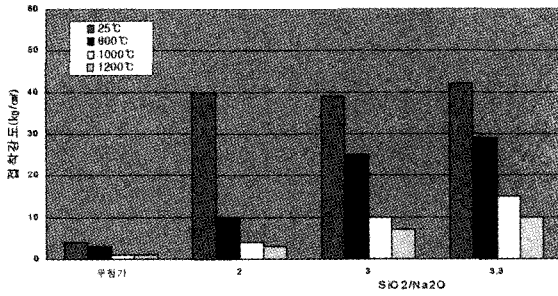
Rotary Kiln 연와축조용 Mortar의 가장 중요한 특성인 강도를 측정하기 위해, 염기성 연와인 Mg-Cr 연와 및 Spinel 연와를 Cutting하여, 시공후 상온 및 전기로에서 800℃, 1,000℃, 1,200℃ 온도로 2시간 keeping한 후 꺼내어 강도시험기에서 <Fig. 3>과 같이 접착강도를 측정하였다.

2.2.1 Binder 종류에 따른 강도변화

시공성 시험시 적용한 Silicate Binder에 대하여 강도변화 시험을 행하였다. 그 결과를 <Fig. 4>에 나타낸다.



<Fig. 3> 강도 시험



〈Fig. 4〉 SiO₂/Na₂O비에 따른 강도변화

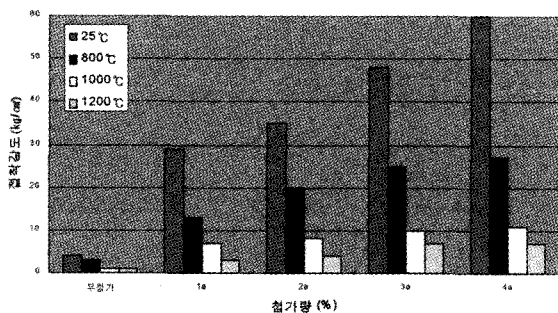
강도 또한 혼련 수용액의 농도, 첨가된 규산염의 SiO₂/Na₂O비에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

42Be' Water Glass를 혼련 수용액은 38Be' 품대비 강도가 증가하며, Silicate Binder를 첨가하지 않고 38Be' Water Glass (SiO₂/Na₂O=3.0) 만을 사용한 경우, 가동중 축조된 연와의 지지가 불가할 정도로 강도가 저하하며, 시공후 자연건조(25°C)시의 강도는 SiO₂/Na₂O비가 다른 어느 것도 높은 강도를 보인다. 하지만 800°C 이후는 Silicate계 Binder 종류에 관계없이 점차 강도저하를 나타낸다.

하지만 800°C 이상의 경우, SiO₂/Na₂O비가 높을수록 온도구간별로 높은 강도를 나타내, SiO₂ 함량이 많을수록 Silicate Bond 형성이 용이하여 강도가 증가됨을 알 수 있다. 따라서 시공성을 감안하여 SiO₂/Na₂O=3.0의 배합에 대해 함량증가에 따른 강도시험을 실시하였다.

2.2.2 Binder 첨가량에 의한 강도

SiO₂/Na₂O=3의 Binder 첨가량을 증가함에 따른 상온, 800°C, 1,000°C, 1,200°C의 접착강도



〈Fig. 5〉 Binder 함량에 따른 강도변화

를 측정하였다. 그 결과를 〈Fig. 5〉에 나타낸다.

Binder 첨가량이 증가함에 따라 접착강도는 증가하며, 3a% 이상의 경우 유사한 강도를 보인다. 한편 상온강도의 경우 3a% 첨가배합 대비 4a%가 증가하나 110°C 건조 이후는 유사한 강도를 보여 첨가량 선정에 있어 3a% 배합품을 선정하였다.

2.3 침식시험

2.3.1 시험방법

R/K용 연와인 MgO-Cr 연와를 시편으로 선정, Cutting한 다음, 절단면에 시험품 및 비교품 Mortar를 혼련하여 시공한 후 회전침식기에 장착하여 Setting, Cement Clinker와 Alkali와 혼합 주입하여 20ch' 실시한 후 연와에 대한 Mortar의 침식 pattern을 비교·관찰하였다.

시험품으로는 SiO₂/Na₂O=3의 Binder 3a% 첨가품을 사용하였으며, 비교품으로는 국내에서 사용중인 외산품(R사품)을 비교·시험하였다. 그 결과를 〈Photo 1, 2〉에 나타낸다.

Alkali에 대한 침식성 및 Cement Clinker에 대한 내마모성 시험 결과, 연와와 접착된 Mortar의 목지부위에서의 침식차이는 없었으며, 시험품



〈Photo 1〉 회전침식후 외산품 및 개발품 가동면 형태



〈Photo 2〉 회전침식후 절단면 사진(좌: 개발품, 우: 외산품)

및 비교품 공히 동등한 상태를 나타냈다.

한편 Mortar의 Slurry를 600°C까지 올린 상태의 절단면 관찰결과 기공이 85% 이상을 나타냈으며(〈Photo 2〉의 상부 사진), 침식시편의 Mortar 접착부위의 기공을 비교 결과, 열간에서 형성된 기공은 연와의 수축·팽창 및 Kiln의 Ovality 증가에 대한 조정으로 연화에 유연성을 주는 것으로 판단된다.

2.4 온도변화 시험(Water Glass)

국내 Cement Rotary Kiln의 경우, 주로 석회석이 산재한 중부 산간지방에 위치하고 또한 이의 축조가 동절기에 이루어지는 경우가 종종 있다. 따라서 혼련 수용액으로 사용하는 Water Glass가 온도 변화에 따라 점도에 차이를 보여 동절기에 시공이 불가능한 경우가 있어, Water Glass의 온도별 점도시험을 실시하였다.

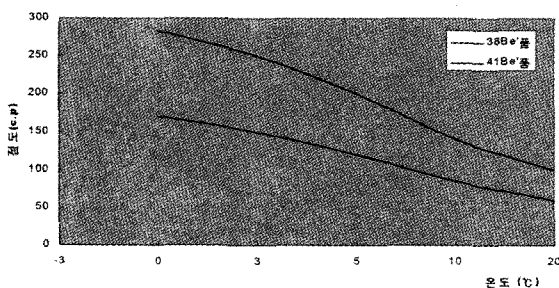
Sample은 시판되고 있는 42Be' Water Glass ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=3.3$) 품과 38Be' Water Glass ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=3.0$) 품에 대해 온도변화에 따른 점도변화를 측정하였다. 그 결과를 〈Fig. 6〉에 나타낸다.

Water Glass의 점도변화 시험결과, 41Be' 품의 경우, 0°C 이하에서는 시공이 불가능한 점도를 나타내며, (시공 가능한 점도: 250c.p 이하) 38Be' 품의 경우, 0°C에서 시공 가능하나 -3°C 이하에서는 온도저하에 따른 용해도의 저하로, 침전물 생성이 생성되는 것이 관찰되었다.

혹한기(-3°C 이하)의 경우, Water Glass를 수용액으로한 Mortar 축조는 불가하여, 이를 대체할 수 있는 혼련 수용액이 요구된다.

2.5 고 찰

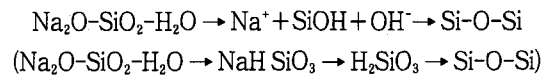
Cement Kiln 연와축조용 Mortar는 시공성 및



〈Fig. 6〉 Water Glass의 온도변화에 따른 점도변화

강도시험 결과, 규산염을 사용하는 Silicate계 ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}=3$)의 Mortar가 가장 유효하였다. 또한 혼련수용액으로 42Be' 품의 경우, 접착강도에서 38Be' 품대비 우수하나 동절기 점도저하 및 시공성을 감안하여 38Be' 품 적용이 현장에서 보다 선호할 것으로 판단된다.

Mortar 시공시 가장 중요한 요구특성인 축조 후 강도에 대한 접착기구로는, 거론된 문헌은 거의 없으나, Glasser 등이 TG-DTA 실험에 의해 밝힌 바와 같이 Si-O-Si , Na^+ , OH^- , H_2O 로 구성된 Water Glass가 상온에서는 하기와 같은 Silolisen Bond (Si-O-Si)를 이루어 종합한다.



현장에서 기온저하 및 가사시간 연장을 위해 추가로 첨가하는 물(공업용수)의 경우, 상기 반응인 탈수현상에 도움을 주나, 열간에서 내부기공 형성을 저해하여 연와의 수축·팽창 및 Kiln의 Ovality 증가에 대한 조정을 방해할 것으로 사료된다.

한편 열간에서 강도는 120~130°C 근방에서 가장 높은 강도를 나타낸다. 이는 Silokisen Bond (Si-O-Si)의 종합도가 이 온도영역에서 가장 높기 때문이다. 실제로 접착강도 측정시 Mortar의 접착부위가 아닌 연와가 파괴되는 경우는 여기에 기인한다.

또 600~1,200°C의 열간거동에서는 접착부위의 H_2O 의 증발에 따른 기공형성 및 연와의 팽창, Kiln의 Ovality 증가에 의해 접착강도가 저하한다. 하지만 기계적 결합 및 Mortar 중의 MgO , SiO_2 는 연와의 Ceramic Bond를 이루어 연와의 지지와 변형을 조정하는 것으로 추정된다.

따라서 Rotary Kiln의 조업이 가혹한 경우는 기존의 Steel Plate가 장착된 연와축조에 비해 Mortar 축조가 안정적인 것으로 판단된다.

한편 Steel Plate가 장착된 연와축조의 경우 작업이 용이하여 지금까지 선호하여 축조되어 왔으나 사용중의 불안정, 사용후의 재활용 측면에서 근래 국내외, Mortar 축조가 확대추세이다.

다만 Mortar 시험 중 문제점으로 지적된 미끌림 현상 및 혹한기 시공불가는 향후 풀어야 할 과제이다.

미끌림 현상을 방지하기 위해, Mortar 재료를 다소 조립화하여 시도하였으나 두껍게 발리는 등 작업성이 저하하였다. 따라서 현장에서는 축조된 연와의 미끌림을 방지하기 위해 Kiln을 경동하면서 축조하여 문제점을 해결하고 있으며, 흑한기를 피하여 축조하고 있다. 하지만 로 가동계획상 흑한기에 축조해야 하는 경우가 빈번하므로 이의 대체물질 개발이 시급하다.

3. 결 론

Cement Rotary Kiln의 연와축조용 Mortar

로, Water Glass를 사용한 Silicate계 Mortar 시험 결과,

- (1) 시공성을 위한 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 비(중량비)는 3.0 근방이 양호하였으며,
- (2) 강도 및 기타 특성을 감안하여 적당량의 Binder 첨가량(3a%)이 요구됨.
- (3) 또한 Water Glass를 수용액으로한 Mortar 축조는 -3°C 이하에서는 시공 불가하여, 흑한기 시공을 피해야 하며, 이의 대체물질의 개발이 요구됨.