

친환경적 건축재료로서 수경성석회 모르타르의 소개

글 _ 김정환, 노현승, 서신석 | 한일시멘트 중앙연구소
ssseo@hanil.com

1. 서론

석회(lime)는 고대부터 수십세기 동안 훌륭한 건축재료로 사용되어졌음에도 불구하고 19세기 건축재료의 혁명이라 할 수 있는 보통포틀랜드시멘트의 출현으로 말미암아 건축재료로서 이들의 사용방법과 함께 역사속으로 거의 사라져가고 있는 추세였다. 그러나, 1980년대부터 지구환경 이슈로 온난화의 주범인 이산화탄소 방출 저감 대책이 전세계적으로 실시되면서, 선진유럽에서는 시멘트 제조산업에서 발생하는 이산화탄소 방출량(약 15억 톤/년; 전세계 총 이산화탄소 방출량의 약 10% 차지)을 저감시키기 위한 대책의 일환으로 대체 건축재료를 검토 하던중 고대 건축재료로 사용되어왔던 석회가 환경친화적 건축 재료로 부각되면서 건축 마감재료로 석회계 모르타르의 부활을 일으키는 동기가 되었으며, 최근 선진 유럽에서는 수경성석회(hydraulic lime)를 base로 한 다양한 pre-mixed dry mortar type의 석회계 모르타르가 개발되어 상용화 되어지고 있다.

이들 석회 모르타르는 통기성이 우수하여 옛부터 흙과 함께 숨쉬는 건축재료로 알려져 있으며, 근래 고건축물 보수용으로 주로 사용되어지다가 최근 유럽에서는 점토 벽돌 신축건물 조적용으로 시멘트계 모르타르 대신 석회계 모르타르가 그 일부를 차지하고 있으며, 사용량도 증가되고 있는 추세이다.

한편, 최근 국내에서는 실내공기질 관리법 시행 및 웰빙 중요성이 강조되고, 건강에 대한 사회적관심이 높아짐에 따라, 주거환경에 있어서도 환경친화적인 건축마감재가 다양하게 요구되어지고 있으며, 이러한 국내외 건축환경 변화로 살펴볼 때, 시멘트계 모르타르가 주를 이루고 있는 국내 건축시장에서도 석회계 모르타르의 도입 가능성은 매우 높다 할 수 있다.

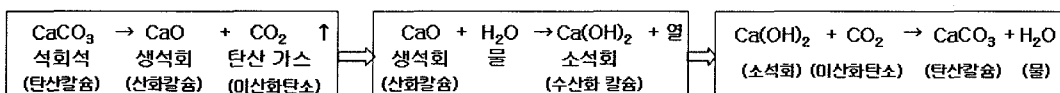
따라서 본고에서는 유럽에서 상용되고 있는 석회계 모르타르의 핵심소재인 “수경성석회(hydraulic lime)”의 재료적, 기술적 속성을 이해함과 동시에, 수경성 석회 모르타르가 갖고 있는 재료적 특성을 검토해 봄으로써 국내 건축시장 도입시 기초자료로 활용코자 한다.

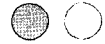
2. 본론

2.1 Lime의 정의

Lime(석회)는 통상 생석회(CaO)와 소석회(Ca(OH)₂)를 총칭하지만, 넓은 의미로는 석회석(CaCO₃)까지 포함한 의미로 사용되며, 아래와 같은 반응을 거쳐 상온에서 존재하게 된다.

일반적으로, lime을 건축재료로 사용할 경우에는 주로 생석회 및 소석회형이 사용되며, 이들 lime에 물과 모래를 혼합 교반시켜 lime mortar화 함으로써 경화시키게 된다. 즉, lime은 주로 소석회형의 석회가 공기중의 탄산





가스로 인하여 탄산석회로 되어 경화하는 것으로 수중에서는 경화하지 않는 기경성재료로, 경화는 표면에서부터 일어나 내부로 진행되기 때문에 경화가 매우 느린 특징을 가지고 있다. 한편, 수경성 석회(Hydraulic lime)라 하여, lime에 일부 점토분을 혼합하여 하소 시킬 경우, 수경성 광물인 규산석회 및 알루미늄석회가 소량 함유하게 되므로써, lime이 가지고 있는 기경성외에 일부 수경성을 부여시켜, 초기 경화속도 및 강도를 보완시킨 경우로, lime계 mortar 소재로 주로 사용되어지고 있다.

2.2 Lime의 역사

Lime은 이미 5,000년전 이집트의 피라미트 및 중국의 만리장성 등 고대 건축물 축조에 사용되어져 왔으며, 로마제국에서는 석회에 화산회를 혼합하여 토목건축재료로 사용되어져 왔다. 우리나라 역시 lime을 성벽축조, 능실등에 사용된 예를 볼 수 있으며, lime제조에 대하여도 세종실록지리지에 “소성석회의 제조방법”이 설명되고 있다. 고대 우리나라에서 lime이 가장 많이 사용된 것은 성벽축조였으며, 다음으로 건축기초를 다지는데 사용되었으며, 묘지축조, 시체안장, 흙담벽 회칠 등 다양하게 사용되어져 왔다.

그러나, 19세기 초 포틀랜드시멘트의 출현과 함께 건축양식의 변화 등으로, 건설재료의 대부분을 시멘트에 양보하게 되면서, 건축재료로서의 lime의 수요는 급속히 감소하게 되었으며, 그 대신 근래에는 토질 안정재, ALC 원료, 건축용 혼합재 및 공업적으로는 중화, 응집, 가성화, 탈수, 기수분해, 흡수 탄산화 등을 목적으로 하는 환경

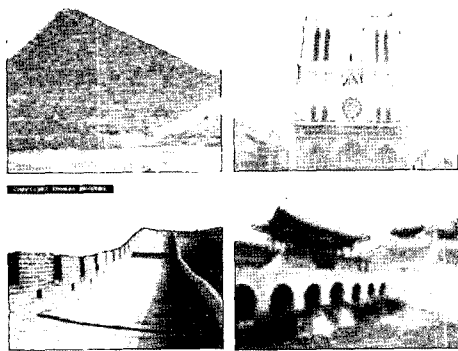


Fig. 1. 석회(Lime)를 이용한 고대건축물 축조에.

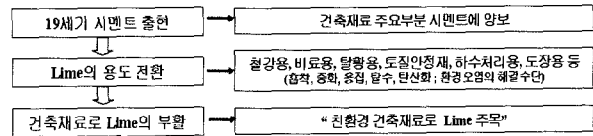


Fig. 2. 석회(Lime)의 용도변천.

Table. 1. 유럽 Lime based mortar 상품종류 및 용도

Product Group	Brand Names	Uses
Lime Raw materials	NHL (Natural Hydraulic Lime 2)	Masonry
	NHL (Natural Hydraulic Lime 3.5)	
	NHL (Natural Hydraulic Lime 5)	
Lime Dry mortars	HYDRAULIC LIME MORTAR	Render / Plaster
	PREPARED LIME PUTTY MORTAR	
	HIGH LIME HYDRATE MORTAR	
Lime Plasters	LIME PUTTY STUCCO / PLASTER	Spray
	HYDRAULIC LIME STUCCO / PLASTER	

오염의 해결수단으로 그의 용도가 변화되어져왔다.

이후 고건축 보수사업의 증대와 1980년대 말부터 유럽의 환경 법규가 강화됨에 따라, 친환경 건축재료로서 lime이 주목받게 되었으며, 현재는 유럽, 미주 등 내장 마감재료로서 lime계 mortar사용이 점차 증대되고 있는 추세이다.

2.3 Lime의 특징

Lime은 옛부터 사용되어온 전통적 건축재료로서, 익히 흙과 함께 숨쉬는 재료로 널리 알려져 있으며, 대기중의 이산화탄소(CO₂)와의 지속적인 탄산화(기경성)로 자연적 암석화(석회석화)가 진행되는 자연친화적 재료이다.

Fig. 3의 lime 순환 모식도에서도 보는 바와 같이, 천

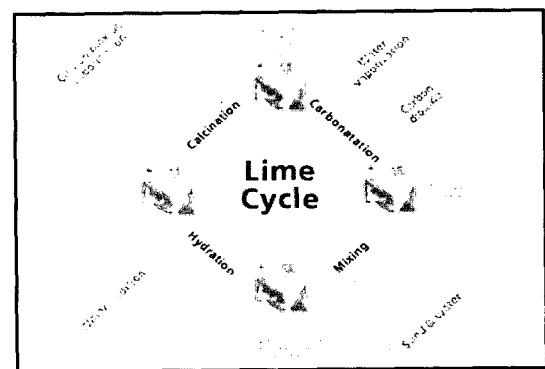


Fig. 3. Lime 순환 모식도

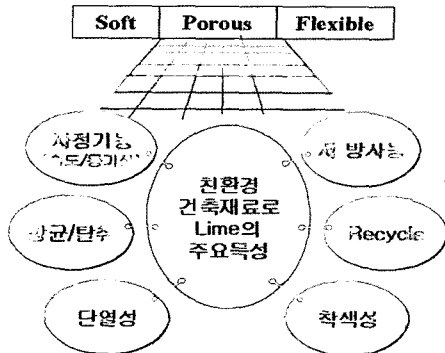
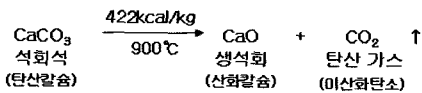


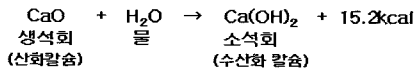
Fig. 4. 친환경 건축재료로서 Lime mortar의 주요특성.

연 석회석에서 시작하여 열적 가공에 의해 건축재료화 한 후, 모르타르화 함으로써 다시 자연의 석회석화로 순환되는 환경친화적 cycle을 가지고 있음을 알 수 있다.

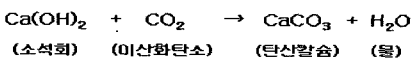
1) 석회석의 열분해(quick lime화)



2) Quick Lime의 소화(slaked lime화)



3) Slaked lime의 탄산화(석회석화)



한편, 그 기능적 특성면에 있어서도 다음과 같은 특징이 있다.

2.3.1 통기성 / 습도조절 / 단열성 / 결로방지

Fig. 5에서 보는바와 같이 lime 경화체는 다량의 모세공극을 형성하고 있어, 공기와 함께 기체교환이 될 수 있는 통기성이 우수하며, 실내의 수분을 원활히 저장하고, 확산 유지시켜주는 습도조절 기능 및 공기층 형성에 의한 단열성/내외벽 온도차에 의해 발생하는 벽면 결로 현상등을 방지하는 효과가 있다고 알려져 있다.

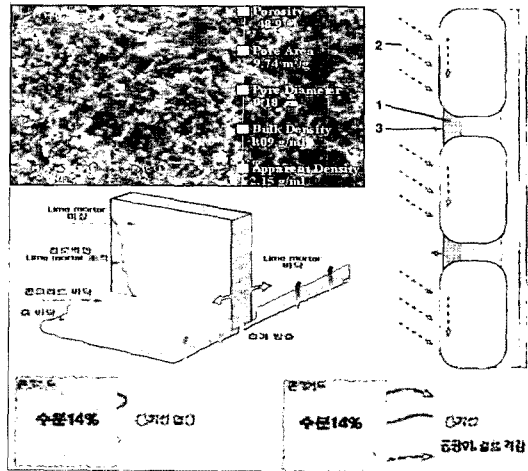


Fig. 5. Lime의 특징(통기성/습도조절/결로방지).

2.3.2 탈취

Lime의 주성분인 수산화칼슘[Ca(OH)₂]의 수산기(OH; 수산화라디칼)는 산화력이 높아 냄새물질 및 유해가스등을 분해하는 역할을 하며, lime 경화체의 주특징인 다공성구조로 인해, 실내유해가스 및 각종 냄새를 물리적으로 흡착제거하는 역할을 한다.

2.3.3 향균 / 항곰팡이

통기성/다공성 구조 및 재료자체의 높은 pH(알카리도)에 의해, 곰팡이류 및 대장균의 서식을 완전히 억제하는 효과가 있으며, lime의 수산화라디칼(OH)에 의한 높은 산화력은 세균의 세포막을 파괴하므로써 세균의 활동을 억제한다.

2.3.4 치수안정성

Lime은 cement계에 비해 보다 soft / flexible한 특성을 가지고 있어, 건조수축 변이에 의한 크랙발생율이 적으며, lime의 장기적인 탄산화작용(대기중의 CO₂와 결합)에 의해 내구성이 점차 증진되며, 크랙 역시 자가회복되어진다고 보고되고 있다.

한편, Table 2 및 Table 3에 lime계와 cement계 mortar과의 물성을 비교한 예로, lime계가 cement계에 비해 강도가 매우 약한(약 1/10) 단점을 가지고 있기 때문에, 건축재료로서 lime계 mortar의 용도는 제한적이라 할 수

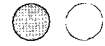


Table 2. Lime계 & Cement계 mortar의 물리적 특성비교

항목		단위	Lime계 mortar	Cement계 mortar
단위용적중량	Dry	kg/m ³	1,200~1,300	1,400~1,500
	Wet		1,700~1,800	1,900~2,000
백색도		L	80~90	50~60
단위수량		%	20~22	17~19
공기량		%	8~10	5~6
응결	초결	hr:min	8:30~9:30	6:00~7:00
	종결	hr:min	13:30~14:30	12:00~14:00
압축강도	7일	kgf/cm ²	11~13	160~180
	28일		19~21	220~240
흡수율		%	15~16	6~7
길이변화		%	0.05~0.07	0.10~0.12
보수성		%	60~70	60~70

Table 3. Lime계 & Cement계 mortar의 개략적 특성비교 예

항목	비교
강도	Cement > Lime
수밀성	Cement > Lime
내구성	Cement ≒ Lime
치수안정성	Lime > Cement
통기성	Lime > Cement
항균·항곰팡이	Lime ≒ Cement
단열성	Lime > Cement
습도조정성	Lime > Cement
탈취	Lime > Cement

있으며, 따라서 현재 유럽에서는 주로 비내력구조재용(미장용/조적용/코트용)으로 적용되어지고 있다.

2.4 Lime계 mortar 배합설계시 주요인자

Lime계 mortar은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 주재료인 lime 또는 hydraulic lime의 특성, 골재의 종류, 특성개선제의 첨가량등에 의해 그 제반적인 특성이 좌우되므로, 각 용도별 제품의 최적 배합선정을 위해선 각 재료의 특성을 충분히 이해할 필요가 있으며, 따라서, 보고된 자료를 인용하여 언급코자 한다.

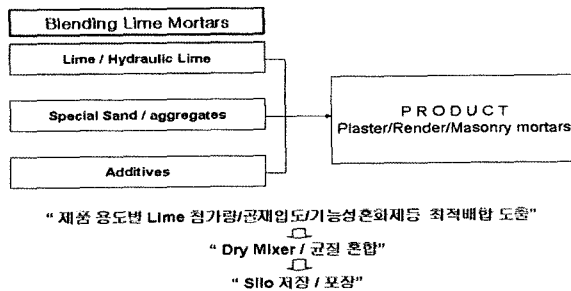


Fig. 6. Pre Mixed Lime Mortar 배합 flow chart.

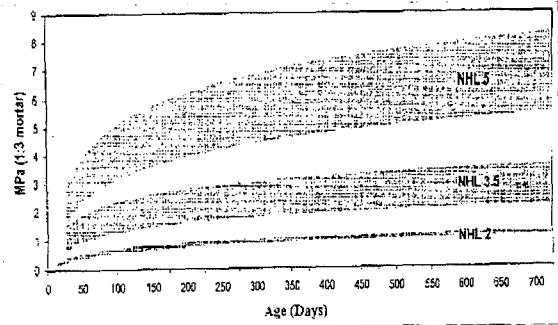


Fig. 7. Hydraulic Lime 종류에 따른 Lime mortar(1:3) 강도변화.

2.4.1 Lime(Hydraulic lime)의 종류에 의한 영향

현재 유럽, 미주에서 시판되고 있는 lime계 mortar용 lime으로는 기경성 및 수경성을 동시에 가지고 있는 hydraulic lime 또는 Natural hydraulic lime(약칭 NHL)이 주로 사용되어지고 있으며, 그 종류는 수경성 광물의 함량에 따른 강도치의 구분으로 NHL2.0, NHL3.5, NHL5.0 등이 있다. Fig. 7에 각 hydraulic lime 종류에 따른 lime mortar의 강도변화 결과로, 각 mortar 용도별 적정 lime 선정이 필요함을 보이고 있다.

2.4.2 골재 선정

Cement계 mortar에서와 마찬가지로 lime계 mortar에 있어서도 적용 모래의 입도에 따라 작업성 및 강도, 크랙, 표면상태 등에 영향을 미치게 된다. 따라서, Lime계 mortar 용도에 따라 모래선정 역시 달라져야하며, 일반적으로 미장용에 적용될 경우, 적정 모래로는 Table 4 및 Fig. 8에서 보는바와 같이, 수축 및 크랙의 원인이 되는

Table 4. Lime계 mortar(미장용)에 사용되는 적정 모래입도

1차미장 or 거친 마감미장시 3mm~0.075mm 0.15~0.075mm 15%이하 유지		매끄러운 마감 마감시 2.36~0.075mm 0.15~0.075mm 20%이하 유지	
예	(잔율%)	예	(잔율%)
5 mm	0	5 mm	0
3.35 mm	0	3.35 mm	0
2.36 mm	4	2.36 mm	0
1.18 mm	10	1.18 mm	6
0.60 mm	20	0.60 mm	12
0.30 mm	35	0.30 mm	34
0.15 mm	20	0.15 mm	30
0.075 mm	11	0.075 mm	18

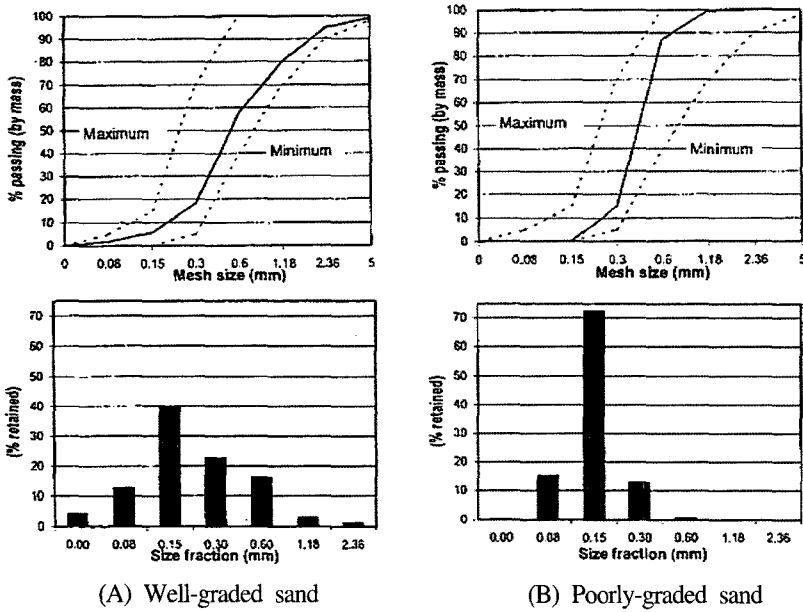


Fig. 8. Lime계 mortar 적용 적정 모래입도분포

토분, 침니성분(0.075mm이하)이 가능한 없어야하며, 입도는 일반적으로 3.0~0.075mm사이의 넓은 입도분포를 갖으면서, 주입도가 1.18/0.6/0.3/0.15mm 범위에 있는 것이 양호하다고 보고되어지고 있다.

한편, 모래가 미세할수록 마감면상태는 매끄러울수 있으나, 물흡수력이 높아 수축변이 가능성이 높으며, 크랙을 유발하는 원인이 되기 때문에, 미세분(0.075mm이하)이 다수 존재할 경우, 상대적으로 lime 바인더양을 줄여 주는 방안이 있다.

2.4.3 Lime/sand 비에 의한 영향

Lime/sand비와 강도와의 상관관계를 Fig. 9에 나타내

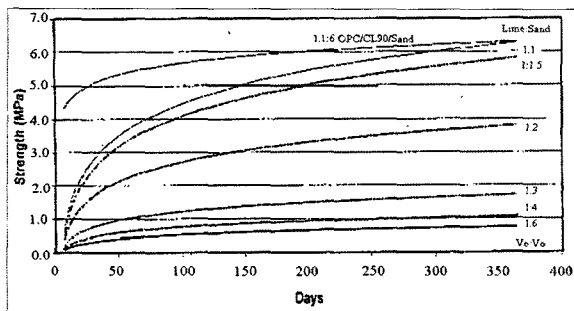


Fig. 9. Lime:Sand비에 따른 Lime계 mortar 강도변화.

었으며, lime 함량이 높을 수록 강도는 증가되는 경향을 보이고 있다. 그러나, lime/sand비가 높을수록 작업성 및 크랙 발생에 원인이 되기 때문에, Table 5에 제시한 예와 같이 용도별 적정 lime/sand비가 요구되어진다 할 수 있다.

2.4.4 특성개선제의 영향

일반적으로, lime계 mortar에 사용되는 특성개선제로는 작업성 개선 및 장기 내구성 향상을 위해 AE제 사용이 추천되어지고 있으며, lime내 존재하는 Ca(OH)₂성분과 반응할 수 있는 pozzolan 물질(Metakaolin, Slag, Fly ash, Microsilica 등)을 첨가시킴

으로써, 경화속도 및 강도증진, 내구성 향상 등을 보완시킬 수 있다.

2.5 Hydraulic lime의 제조공정

현재 유럽의 lime계 mortar 제조시 원재료로 사용되는

Table 5. Lime계 mortar 용도별 적정 lime/sand비 예

바탕면	뿔칠마감	1차 미장	2차 미장	마감
전처리 : 취핑/물흡수 처리	흡수가 적고 매끈한 바탕면에 시공뿔칠상태로 마감/보호양생 1~2일	뿔칠/손미장 바탕면 전처리/거친 면마감/보호양생 4~7일	뿔칠/손미장면 물뿌림 처리/매끈/거친면마감/보호양생 7~10일	뿔칠/손미장면 물뿌림 처리/매끈/거친면마감/보호양생 3~10일
콘크리트면	Mix A, S5 두께 : 3~5mm	Mix B, S3 두께 : 10~15mm	Mix C, S2 두께 : 8~12mm	Mix C, S1 두께 : 5~8mm
석재/블록면	Mix A, S5 두께 : 3~5mm	Mix B, S3 두께 : 10~15mm	Mix C, S2 두께 : 8~12mm	Mix C, S1 두께 : 5~8mm
연한/다공성 벽돌면		Mix B, S3 두께 : 10~15mm	Mix B, S2 두께 : 8~12mm	Mix C, S1 두께 : 5~8mm

[lime:sand 혼합비]

구분	A	B	C	D
질량비	1:3	1:4	1:5	1:6
부피비	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3

[sand 입자크기]

구분	입도
S5	5.00mm ~ 0.075mm
S3	3.35mm ~ 0.075mm
S2	2.36mm ~ 0.075mm
S1	1.18mm ~ 0.075mm

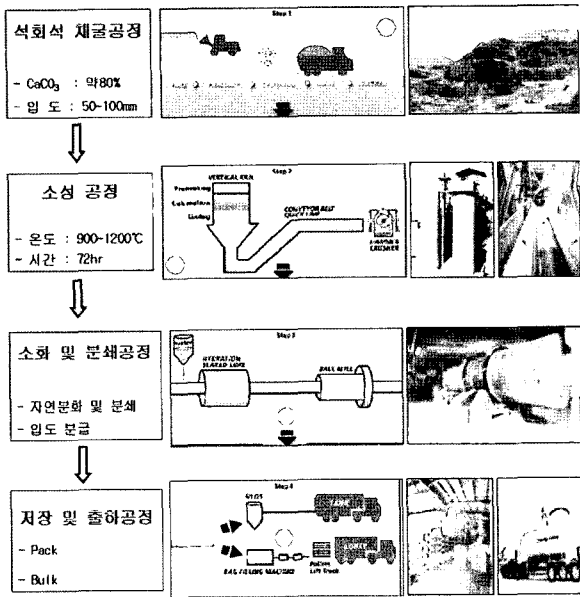


Fig. 10. Hydraulic lime 제조 공정도

hydraulic lime은 대부분 천연석회석을 소성하여 얻고 있으며, 그 제조 공정도를 Fig. 10에 나타내었다. 공정도에서 보는 바와 같이 알루미늄 및 실리카원이 약 20% 혼합된 천연석회석을 채굴, 일정크기로 조쇄 후, 900~1200°C에서 72시간동안 소성공정을 거쳐, 건식소화시킴으로써 hydraulic lime을 제조하고 있다.

결국, hydraulic lime을 제조하기 위해선, 상기와 같은 원재료의 엄격한 품질관리 및 정교한 소성기술들이 요구되며, 복잡한 제조공정을 거쳐야 하기 때문에 일반 cement에 비해 가격이 높은(약 6배) 단점을 가지고 있다.

따라서, 상기와 같은 복잡한 소성공정을 거치지 않고, 이들 hydraulic lime의 재료분석을 통해, 구성된 조성광물의 함량을 계산함으로써, 각 구성광물을 국내 무기재료로 활용 배합설계 한다면, 매우 경제적으로 hydraulic lime을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

2.6 Hydraulic lime mortar의 특성

2.6.1 강도특성

모르타르 기본특성인 강도특성에 있어서는 lime계 mortar이 cement계에 비해 약 1/10정도의 낮은 강도특성

을 나타내고 있으며, 이는 lime이 갖고 있는 soft한 기본 특성으로, hydraulic lime의 경우, 대부분 기경성의 석회 성분으로 이루어져 있고 일부 소량의 수경성광물이 함유되어 있어, 순수 석회 보다는 높은 초기강도 특성을 보인다.

2.6.2 길이변화율

시공후 크랙에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 치수안정성에 있어서는 lime계 mortar이 cement계 mortar보다 다소 안정성을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

2.6.3 흡수율

습도조절 기능에 대한 간접 평가분석방법으로 흡수율을 측정 한 결과, cement계에 비해 2~4배 정도의 매우 우수한 흡수특성을 보이고 있어, lime계 mortar이 cement계에 비해 습도조절 자정기능이 매우 우수한 것으로 판단되며, 이 결과는 내·외부 온도차에 의해 발생하는 벽체 결로현상을 억제하는데 우수한 효과를 발휘 할 수 있을 것으로 판단된다.

2.6.4 통기성

Lime계 mortar의 주요 특성인 통기성 평가를 위해, 습기투과 저항성을 측정 한 결과, lime계 mortar이 cement계 mortar에 비해 약 2~3배 이상의 우수한 통기성을 보이고 있다. 즉, lime mortar이 숨쉬는 재료로서 실내외 공기의 순환을 일정부분 가능하게 함으로써, 실내 유해가스의 축적을 억제하는 효과도 있음을 의미하는 바이다.

2.6.5 탈취율

실내유해가스 탈취성능을 살펴보기 위한 암모니아 가스(NH₃) 탈취율에 있어서도 cement계 mortar에 비해 20~30% 이상의 탈취효과를 보이고 있음을 볼 때, 실내 유해공기의 정화효과 역시 기대된다 할 수 있다.

2.6.6 방사능 유해지수 평가

유럽 환경 위원회에서는 “건축재료의 자연방사능에 관한 방사보호 규정”을 1999년 제시하여, 모든 무기물 건

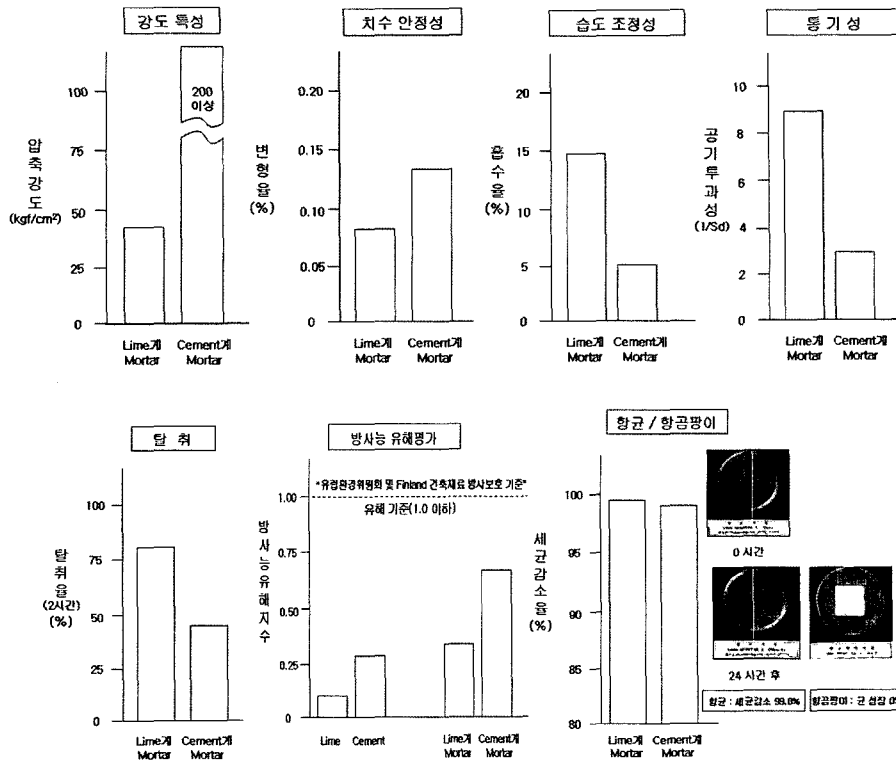


Fig. 11. Hydraulic lime mortar의 모르타르 특성.

축자재의 방사능 유해지수(I)를 평가 규제토록 하고 있다. 즉 Ra²²⁶, Th²³², K⁴⁰과 같은 방사능 물질을 측정, 이를 index화 함으로써, 방사능 오염 건축자재를 식별하고 있으며, 본 index를 이용하여 lime계 mortar의 방사능 유해지수를 평가해 본 결과, 유럽에서 제시한 기준치 1.0 내에 들고 있음을 확인 할 수 있었으며, 또한 cement계 보다 낮은 방사능 유해지수를 갖고 있어, 친환경 mortar로서의 기본 조건을 갖추고 있음을 알 수 있다.

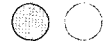
$$I = \frac{C_{Ra}}{300 B_q kg^{-1}} + \frac{C_{Th}}{200 B_q kg^{-1}} + \frac{C_k}{300 B_q kg^{-1}} ; I \leq 1.0$$

3. 맺음말

최근 국내에서는 친환경건축물 인증제도 및 실내공기질관리법이 시행되면서 각종 건축자재에 있어서도 환경친화적 건축자재로의 전환을 꾀하고 있다. 이는 우리의

주거생활에 직접적으로 영향을 미치는 주택성능, 특히 건강에 영향을 미치는 부분에 대해서 현재 소비자의 반응은 매우 민감하며, 주거생활의 수준이 높아지고 주택에 대한 가치판단의 기준이 건강하고 쾌적한 삶으로 변화하면서 주거성능에 대한 소비자의 요구수준도 보다 높게 나타나고 있기 때문이다.

이러한 친환경 건축문화로의 변화는 이미 유럽에서는 1980년대 후반부터 이루어졌으며, 그의 일환으로 친환경 건축재료로서의 수경성석회 모르타르가 부활 되었다 보며, 이에대한 평가로 친환경 건축재료로서의 유럽에서 사용되어지고 있는 수경성석회(Hydraulic lime) 모르타르의 기술적, 재료적 특성을 살펴본 결과, 시멘트계 모르타르에 비해 낮은 강도특성을 보이고 있으나, 치수안정성, 흡수율, 통기성, 탈취성은 우수한 특성을 보임으로써, 친환경 건축 내장마감재로서 적용이 가능한 건축재료임이 확인 되었다. Cement계 mortar이 주를 이루고 있는 국내 건축시장에서 lime계 mortar의 시장반응은 현재 다소 생



소할 수 있으나, 국내 웰빙붐 및 건강에 대한 사회적 관심이 높아지는 현 시점에서, lime계 mortar은 작금 또 하나의 고부가가치 내장용 건축제품으로 출현되어질 수 있는 제품으로 평가 되어진다.

참고문헌

1. Hydraulic Lime Mortar, DONHEAD, UK LIMES, 2003.

◎◎ 김정환



- 1984년 인하대학교 요업공학과(학사)
- 1986년 인하대학교 요업공학과(석사)
- 1991년 인하대학교 요업공학과(박사)
- 1986년 한일시멘트 중앙연구소
-현재 연구소장

◎◎ 노현승



- 1988년 서울대학교 자원공학과(학사)
- 1996년 충남대학교 소재제조전공(석사)
- 1991년 한일시멘트 중앙연구소
-현재 건설재료2팀장

◎◎ 서신석



- 1994년 충남대학교 화학공학과(학사)
- 1997년 충남대학교 공업화학과(석사)
- 1997년 한일시멘트 중앙연구소
-현재 주임연구원