

갯벌모르타르의 내화성능에 관한 실험적 연구

A study on the fire resistance characteristics of mud flat mortar

Seonghwan Yang^{a,1}, Huidoo Kim^{b,*}

^a Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University, 169, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon 22012, Republic of Korea

^b Division of Architecture and Urban Design, Incheon National University, 169, Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon 22012, Republic of Korea

ABSTRACT

As urbanization progressed along with quantitative expansion of the construction industry, concrete has developed diversely as a material that is the most extensively used in the construction industry. However, aggregate resources that are an essential element of concrete production are gradually being depleted and the phenomenon of aggregate shortage has been intensifying due to the reinforcement of regulations on environmental issues. Therefore, in the present study, environment friendly mortar was made by replacing aggregate with mud that is dumped when dredging sand is dumped. To identify the dynamic characteristics of the mortar and to identify its fire resistance efficiency, the mortar was heated and its residual compressive strength was measured. In the results, the residual compressive strength values of MM1, MM2, and MM3 were 45%, 95%, and 57.7% respectively and the mix MM2 showed the highest fire resistance efficiency.

KEYWORDS

Brittle fatigue
Mud flat
Compressive Strength
Tensile Strength
Coefficient of
brittleness
Fire Resistance

건설산업의 양적팽창과 함께 도시화가 진행되면서 콘크리트는 건설재료로서 가장 많이 사용되는 재료로서 다양한 발전을 해왔다. 하지만 콘크리트를 제작하는데 필수 요소는 골재자원이 점점적으로 고갈되고 있으며 환경문제에 대한 규제의 강화로 인해 골재부족현상은 갈수록 커지고 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 준설토 투기로 인해 버려지는 갯벌을 골재로 치환하여 사용한 친환경 모르타르를 제작하여 그 역학적 특성을 규명하고 또한 내화성능을 확인하기 위해 가열을 한 뒤 잔존압축강도를 측정하였다. 그 결과 MM1, MM2, MM3의 잔존압축강도는 각각 45%, 95%, 57.7%의 강도를 발현하였으며 MM2의 배합에서 내화성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

취성파괴
갯벌
압축강도
인장강도
내화성능
취도계수

© 2015 Korea Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-32-835-4870. Fax.82-32-835-0776
Email. hd1116@inu.ac.kr

1 Tel. 82-32-835-8784. Email. shyang@inu.ac.kr
2 Tel. 82-32-835-4870. Email. hd1116@inu.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Nov. 17, 2015
Revised Nov. 25, 2015
Accepted Dec. 04, 2015

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라 갯벌은 김이나 백합, 바지락 등이 생산되는 매우 중요한 어업의 장을 제공해왔으며 최근에는 많은 생물들이 살아가는 서식처이자 주변 연안 해역을 정화시키는 역할을 하며 그 중요성이 더욱 부각되고 있으며 철새들이 도래하고 생활하는 장소로서 중요한 역할을 하고 있다.[4] 하지만 근래 들어 세계 각국은 자원고갈의 심각성에 대비하여 육지 자원의 가치 및 활용성의 3~15배에 달하는 해양자원 확보 경쟁을 전개하고 있으나 우리나라는 세계 5대 갯벌의 소유국가임에도 불구하고 갯벌의 기능과 가치에 대한 인식부족으로 인해 많은 지역의 갯벌을 매립지로 이용하고 있는 실정이다.[6] 영종도 지역에서도 준설토 매립으로 인하여 많은 양의 갯벌이 매립되고 있으며 이에 따라 매립되는 갯벌을 사용하여 건설재료로서의 사용성에 대한 검증을 하고자 한다.

산업화와 함께 건설산업의 양적팽창이 이루어지면서 도시화가 급격히 진행되었으며 이러한 과정에서 콘크리트는 건설재료 가운데 가장 많이 사용되는 재료 중 하나로서 현재까지 우리나라의 건설산업 발전에 큰 기여를 하여왔다. 그러나 최근 들어 콘크리트를 제작하는데 필수요소인 골재 자원이 점진적으로 고갈되고 있는 추세이며 더불어 환경문제에 대한 규제가 강화됨에 따라 골재의 부족현상은 갈수록 커지고 있는 실정이다.[1] 또한 서해안의 도서지역에서의 골재의 수급은 선박을 이용하여 골재를 수급하게 되는데 이러한 과정에서 운반비 등으로 인해 높은 공사비가 초래되기에 갯벌을 통한 건설재료의 사용성의 검증도 필요하다. 따라서 본 연구는 친환경적 재료인 갯벌을 골재 대용으로 치환한 모르타르를 제작하고 그 역학적 특성과 표준가열곡선에 따른 내화실험을 통한 잔존강도를 확인하여 건축재료로서의 사용가능성 여부를 파악하고자 한다.

1.2 이론적 고찰

갯벌은 육지로부터 흘러 들어오는 무기염류 및 유기물을 제거하고 해수를 정화하여 연안환경을 양호한 상태로 유지시켜 높은 생산성을 갖는 갯벌 표면의 부착성 미세조류가 먹이사슬을 통해 여러 동물에게 이용되도록 하며 인류에게 중요한 먹이공급의 장소로서 중요한 역할을 수행하고 있으며 또한 중금속, 영양염류, 유기물에 대한 정화능력이 탁월한 것으로 보고되고 있다.[3,4] 갯벌의 정화능력은 조간대로 유입된 오염물질이 먼저 조석과정을 거치면서 갯벌에 흡착이 일어나고 흡착된 오염물질은 미생물작용에 의한 분해과정을 거치면서 정화능력을 가지게 된다.[5]

우리나라의 갯벌의 총면적은 2,393km²로서 국토면적의 2.4%에 해당되며 이중 서해안에 발달된 갯벌은 1980km²로 전체의 83%를 차지하고 있다. 특히 서해안 갯벌은 광활하고 완만한 지형적 특징으로 매립과 간척이 용이하기 때문에 많은 면적이 매립되었으며 계속적으로 매립되고 있다.[3] 서해안 영종도 지역에서는 Table. 1 과 같이 준설토를 매립을 통해 갯벌이 매립되고 있으며 그면적은 약 9.002km²로 채취가능한 갯벌의 양은 약 9,000,000m³정도 될 것으로 보인다. [7]

Table. 1 Dredged soil area plan

구분	명칭	면적(km ²)	추진현황	개발방향
매립 확정	아암물류단지	3.626	운영/매립중	컨테이너처리 및 물류단지
	골든하버	1.324	매립중	여객터미널 및 관광복합시설
	청라투기장	0.171	매립 완료	일반화물처리단지
	북항투기장	0.564	매립 완료	물류단지
	영종항만시설1	3.150	매립중	국제관광레저허브 (한상드림아일랜드)
매립 예정	영종항만시설2	4.163	매립 예정	첨단산업단지
	거침모래부두	0.134	매립 예정	수리조선단지 및 모래부두 (제3차 전국항만 기본계획)
	경인항준설토투기장	0.800	매립 완료	친수공간 및 워터프론트 (정서진 연계)
	작약도 해상공원	0.500	매립 예정	작약도 유원지 조성 (제3차 전국항만 기본계획)
	월미도친수공간	0.021	매립 완료	친수공간(중구)

구분	명칭	면적(km ²)	추진현황	개발방향
	인방사이전적지	0.218	기매립	복합상업·문화시설, 수산물유통센터 등
	송도보안/해경부두	0.300	매립 예정	보안시설 등 (제3차 전국항만 기본계획)
	영종2지구	3.905	매립 예정	미단시티 등과 연계한 친수공간 및 워터프론트

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

잔골재를 갯벌미분말로 치환한 모르타르의 역학적 특성과 내화특성에 대하여 비교 분석하기 위한 실험 계획은 Table 2 와 같다. 물시멘트비는 Plain 기준 48.5%에서 발현한 플로우값을 기준으로 하여 물시멘트비를 조정하였고 1:2.45, 1:3, 1:4 3수준으로 정하였다. 갯벌미분말의 입도는 300 μ m의 체가름을 통과한 분말을 사용하였다.

Table. 2 Experimental plan

Type	Experimental details
Mixture proportions	48.5%, Plain flow test value is Equivalent to W/C
	1:2.45, 1:3, 1:4

2.2 사용 재료

2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5021(포틀랜드 시멘트)에 규정된 1종 보통 포틀랜드 시멘트로서 S사에서 제조한 제품을 사용하였으며 물리적·화학적 성분은 Table 3~4 와 같다.

Table. 3 Chemical properties of cement (Unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

Table. 4 Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time(min)		Compressive strength(MPa)		
			Initial	Final	3days	7days	28days
3.15	3468	0.08	230	649	34.5	41.6	51.1

2.2.2 갯벌 미분말

갯벌 미분말은 인천 송도지역에서 채취한 뒤 일광건조 시키고 믹서를 통해 분말화를 하였다. 분말화 된 갯벌 미분말은 체가름을 통해서 300 μ m 수준으로 분류하였으며 화학적 성분은 Table. 5와 같다.

Table. 5 Chemical properties of Mud flats soil (단위 : %)

Na	Mg	Al	Sl	K	Ca	Ti	Fe	O
1.47	0.71	8.89	31.52	3.61	0.70	0.54	4.46	48.10

2.2.3 잔골재

잔골재는 주문진산 표준사를 사용하였으며 실험에 따른 표준사의 골재입도는 Table. 6과 같이 체가름을 통해 입도분포를 조정하여 사용하였다.

Table. 6 Characteristic of Standard sand

Items	Aggregates size(%)				Volume weight(kg/l)
	850 μ m	600 μ m	300 μ m	Remaining aggregates (%)	
Tensile strength	less than 1.0	more than 95.0	-	less than 0.4	1.53~1.60
Compressive strength	-	less than 1.0	more than 95.0	less than 0.4	

2.3 실험방법

본 연구에서의 실험방법으로는 Table. 7 과 같으며 모르타르 제작을 위한 모르타르 비빔은 KS L 5109에 규정되어 있는 모르타르 교반기를 사용하여 혼합하였다. 굳지 않은 모르타르의 플로 시험 및 염화물함유량 시험은 각각 KS L 5111, KS F 2715 에 의거 실시하였으며 경화 모르타르의 압축강도 시험은 계획된 재령(3, 7, 14, 28일)에 따라 KS L 5105에 따라 실시하였고 fig. 1 과 같은 KS F 2257-1에서 규정하는 표준가열곡선에 따라 1시간 가열을 실시하여 내화시험 후의 잔존강도를 측정하였다.

Table 7. Standards for tests conducted

Test Method	Standard
Flow test	KS L 5111
Tensile strength test	KS L 5104
Chloride content test	KS F 2715
Compressive strength test	KS L 5105
Fire resistance test	KS F 2257-1

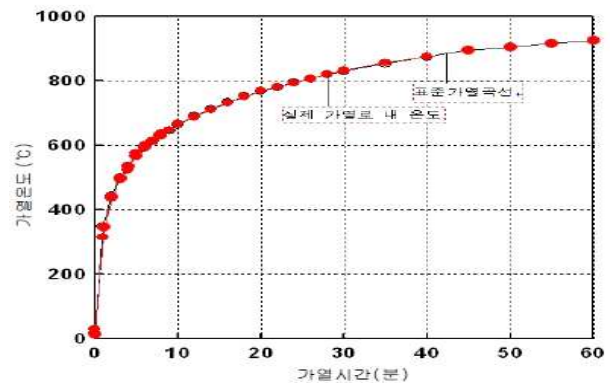


Fig. 1 Standard fire resistance test

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 모르타르의 특성

3.1.1 플로우 테스트

Table 8. Fresh mortar result and Mixture proportions of the mortars

No.	Flow (mm)	W/C (%)	B:S	Unit Weight(kg/ m ³)			
				W	C	M	S
Plain	110	48.5	1:2.45	282.3	582	-	1163
MM1	111	115	1:2.45	669.3	582	1163	-
MM2	113	135	1:3	589	436.25	1308.75	
MM3	110	190	1:4	663.	349	1396	

Plain은 물시멘트비 48.5%에서의 플로우 값은 110mm로 측정되었으며, 동일한 물시멘트비인 48.5%에서는 갯벌이 혼합된 MM1, MM2, MM3의 배합에서 플로우치가 100mm로 변화가 없어 유동성이 매우 떨어지는 양상을 나타냈다. 이는 갯벌 미분말은 시멘트와 비슷한 분말도를 가지고 있는 미립분이며, 건조시키는 과정에서 흡수율이 골재보다 월등히 높아졌기 때문으로 분석되었다.

이에 따라 Plain의 플로우값과 상응하는 수준의 플로우값을 목표로하여 물시멘트비를 증가시킨 결과 MM1, MM2, MM3 각각 115%, 135%, 190%의 물시멘트비를 나타내었다. 이는 동일한 배합비인 1:2.45에서 단위수량이 약2.4배 더 높은 것으로 확인되었다. 이를 분석한 결과 역시 갯벌골재의 높은 흡수율 때문에 갯벌의 비율이 증가함에 따라 물시멘트비가 상승하는 것으로 나타났으며 갯벌도 바인더 역할을 하여 전체 중량비에 따른 물의 양은 비슷한 수준으로 나타났다.

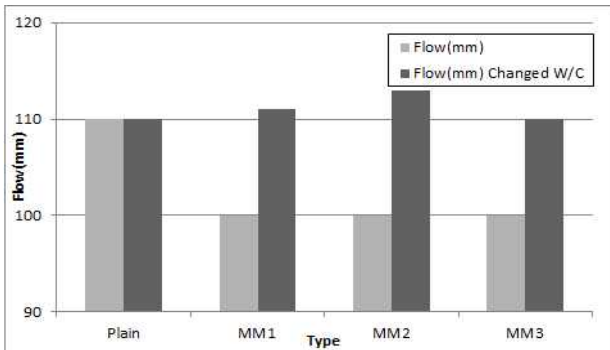


Fig 2. Flow test result

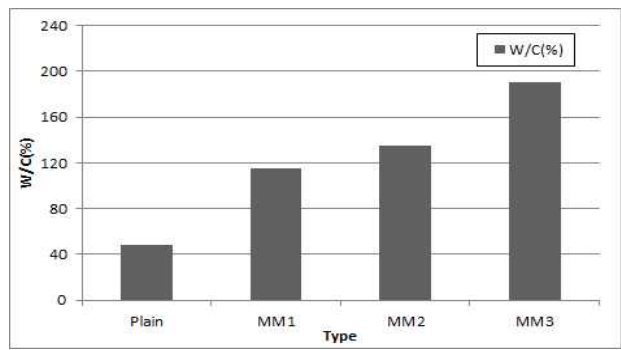


Fig 3. W/C result

3.1.2 염화물 함유량

염화물 함유량을 측정한 결과 Plain의 경우 한국건축표준시방서 기준인 0.05%를 만족하는 수치를 보였으나 갯벌골재를 사용한 경우 염분함유량이 기준치에 비해 월등히 높은 값을 나타냈으며 시멘트대비 골재의 비율이 커질수록 염화물 함유량 역시 상승하였다. 갯벌로 골재를 치환한 모르타르의 경우 염화물 함유량이 크므로 이 특징을 이용하여 활용하고 연구 개발이 필요한 것으로 나타났다.

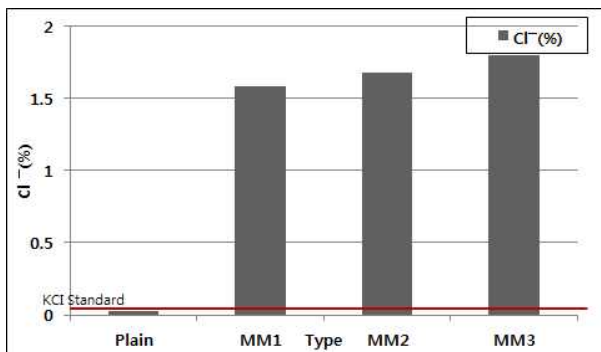


Fig 4. Chloride Test (Cl⁻)



Fig 5. Chloride test Experiment

3.2 경화 모르타르의 특성

경화 모르타르의 압축강도 및 인장강도, 내화실험 잔존압축강도의 결과는 Table 9 와 같다.

Table 9. Experimental result

	Compressive strength (MPa)				Tensile strength (MPa)	Fire resistance Compressive strength (MPa)			
	3day	7day	14day	28day	28day	3day	7day	14day	28day
Plain	14.10	18.32	22.14	24.87	3.29	2.65	3.15	3.46	3.92
MM1	6.42	7.47	7.47	10.30	1.84	2.63	3.73	3.73	2.25
MM2	4.82	5.70	6.95	7.67	1.36	5.20	6.67	7.65	2.70
MM3	2.75	3.67	3.67	6.11	1.10	2.69	2.82	2.82	1.69

3.2.1 압축강도 및 인장강도

압축강도 실험결과 재령에 따른 강도상승률은 갯벌을 혼입한 모르타르가 Plain에 비해 다소 떨어지는 것으로 확인 되었으며 28일강도 기준으로 하여 Plain은 약 24.9MPa의 수치를 발현하였고 동일비율인 MM1에서는 Plain의 압축강도의 45%의 강도를 발현하였으며 MM2와 MM3에서는 각각 30.8%, 24.6%의 강도를 발현하였다. 인장강도 실험결과 28일 강도를 기준으로 Plain의 경우 약 3.27MPa의 수치를 나타냈으며 MM1, MM2, MM3 실험체는 각각 약 1.83, 1.36, 1.1MPa의 수치를 나타냈다. MM1 공시체의 경우 벽돌의 압축강도 기준인 8MPa을 만족하는 값을 나타내어 벽돌 또는 블록 등으로의 사용이 가능할 것으로 판단된다. 하지만 MM2, MM3 공시체는 8MPa 수준에 미달되는 값을 나타내어 벽돌로서의 사용도 어려운 것으로 확인 되었다. 이는 Plain과 동일한 플로치를 목표로 하는 과정에서 물시멘트비 상승이 강도를 저하시킨 것으로 판단된다. 따라서 물시멘트비를 저감시키기 위해 감수제의 사용을 고려하거나 골재에 대한 갯벌의 치환율을 조정하여 모래와 함께 혼입해야 할 것으로 판단된다. 또한 갯벌의 응집력이 크므로 고성능 믹서를 통해 모르타르 내에 갯벌미분말의 응집력을 저하시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

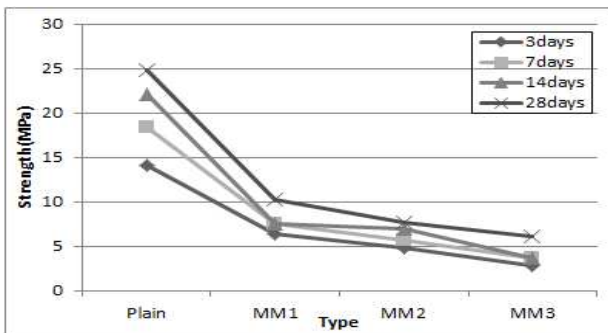


Fig 5. Compressive strength

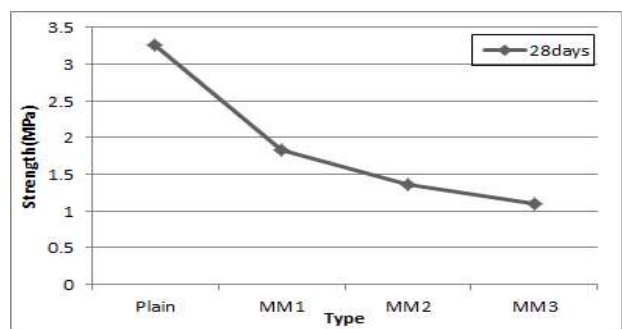


Fig 6. Tensile strength

3.2.2 취도계수

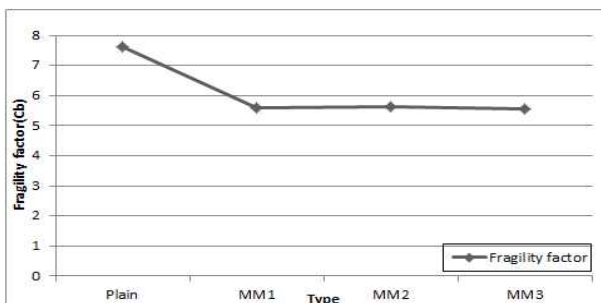


Fig 7. Coefficient of brittleness



fig 8. Fire resistance test specimens

취도계수에 대한 결과는 Fig. 7과 같으며 갯벌을 혼입한 모르타르의 취도계수가 Plain에 비해 더 낮은 수치를 나타냈으며 일반 콘크리트의 평균 취도계수인 10과 비교하여 보았을 때도 더 낮은 수치를 나타냈다. 이는 갯벌모르타르가 Plain에 비해 취성과파괴가 덜 나타내는 것으로 분석된다.

3.2.3 내화실험 잔존압축강도

표준가열곡선의 의거 1시간동안 전기로를 통해 가열하고 자연냉각을 한 뒤 잔존압축강도를 측정한 결과 Plain의 경우 압축강도가 28일강도 기준 약 84.2% 감소한 값을 나타냈으며 갯벌을 혼입한 MM1, MM2, MM3 시험체의 잔존압축강도는 28일강도를 기준으로 하여 각각 4.73, 7.35, 3.53MPa의 수치를 나타내어 각각 45%, 95%, 57.7%의 잔존압축강도를 발현하였다. 갯벌 모르타르는 높은 물시멘트비로 인해 가열 이후 다량의 표면 방사형 균열이 발생했으나 Plain의 강도감소율보다 낮은 강도감소율을 보여주었다. 특히 MM2의 경우는 28일강도 기준으로 할 때 강도의 감소가 거의 없는 것으로 확인 되었다. Plain에 비해 갯벌모르타르의 강도감소율이 더 낮기 때문에 갯벌모르타르가 Plain보다 내화성능이 더 뛰어난 것으로 확인되었다. 또한 MM1, MM2, MM3 시험체 중 MM2가 잔존압축강도는 가장 높게 나타내어 MM2의 비율이 내화실험에서 가장 유리한 것으로 확인 되었다.

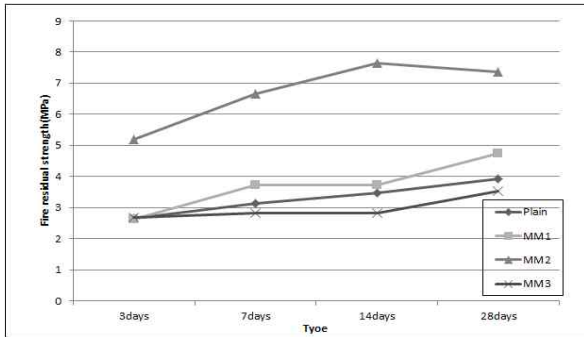


Fig 8. Fire residual strength

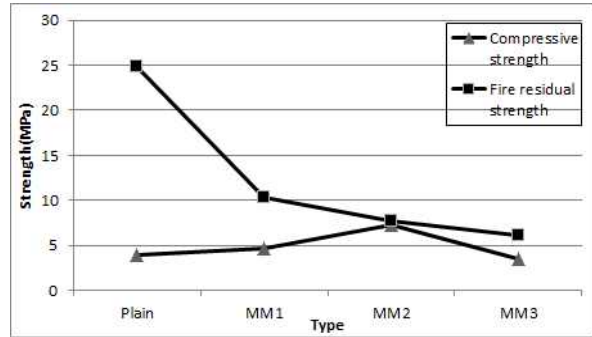


Fig 9. 28days Fire residual strength

4. 결론

갯벌을 골재로 사용한 시멘트 모르타르의 역학적 특성 및 내화성능에 대하여 실험을 통해 연구된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 갯벌을 혼입한 모르타르는 갯벌의 높은 흡수율로 인해 Plain과 동일한 48.5%의 물시멘트비에서 KS기준에 따른 모르타르 교반기로는 비빔이 잘 되지 않는 것으로 확인 되었으며 MM1, MM2, MM3시험체가 Plain과 동일한 플로우치를 갖기 위해서는 물시멘트비는 각각 115%, 135%, 190%로 나타났다. 이는 동일한 배합에서 약 2.4배 정도 높은 수치이며 갯벌모르타르의 단위수량은 Plain과 동일한 플로우치를 가질 때 매우 높은 것으로 판명되었다.
- 2) 염화물함유량 실험결과 Plain은 한국건축표준시방서 기준 0.05%를 만족하는 수치를 나타냈지만 갯벌을 혼입한 모르타르의 경우 기준치를 초과하는 매우 높은 수치를 나타냈다. 이에 따라 갯벌모르타르의 경우 철근과의 이격거리를 두거나 무근콘크리트로서의 사용이 고려된다.
- 3) 압축강도 실험결과 갯벌을 혼입한 모르타르 MM1, MM2, MM3시험체의 압축강도는 28일 강도기준으로 하여 각각 10.3, 7.7, 6.11MPa의 강도를 발현하였으며 Plain과 비교하였을 때 동일배합에서 약 45%정도의 수준이었다. 1:2.45시험체는 벽돌의 강도기준인 8MPa를 만족하는 값을 나타내어 벽돌등의 사용이 가능할 것으로 판단된다. 높은 흡수율로 인한 Plain과 동일한 플로치의 나타내기 위한 높은 물시멘트비가 낮은 강도의 원인으로 분석되며 이에 따라 감수제의 사용 또는 잔골재와 갯벌미분말의 혼합사용을 통해 강도를 증진시켜야 할 것으로 판단된다.

4) 인장강도 실험결과 MM1, MM2, MM3 각각 1.83, 1.36, 1.09MPa의 수치를 나타냈다.

5) 표준가열곡선에 따른 내화실험 결과 Plain은 3.92MPa로 잔존압축강도가 15.8%를 발현한 반면, 깃벌을 혼입한 MM1, MM2, MM3 시험체의 잔존압축강도는 각각 4.73, 7.35, 3.53MPa의 수치를 나타내어 각각 45%, 95%, 57.7%의 압축강도를 발현하여 잔존압축강도는 깃벌모르타르가 더 우수한 것으로 나타났다. 특히 MM2는 잔존압축강도가 기존의 강도와 큰 차이가 없는 강도를 나타내어 내화성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

친환경 재료인 깃벌을 혼입한 모르타르의 역학적 특성에 대한 구체적이고 다양한 연구와 최적의 배합선정이 필요할 것으로 판단되며 지속적인 실험을 통해 성능평가를 통한 다양한 건축재료의 개발 및 활용이 기대된다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2014년도 자체연구비지원에 의하여 연구되었음.

References

- Chmura, G.L., The global carbon sink in tidal salt marshes. Am Geophys. Union, Spring Meeting, abstract #B53A-01. (2004).
- J.G Kim,S.J You ,(2000). "Evaluation to Purification Capacity of Pollutants by Column Test wit the tidal flat sediment.", Journal of the Korean Environmental Sciences Society, Vol.3, pp223~228.
- J.S Hong, (2000). "Biodiversity of Macrofauna on Macrotidal flats, Incheon, Korea", The Korea Society of Phycology, Vol-, pp45~59.
- J.S Hong, "Mud flats in Korea", Daewonsa, (1998).
- S.J You,J.G Kim, (1999). "Evaluation on the Purification Capacity of Pollutants in the Tidal Flat.", J. Korean Fish. Soc, Vol.32(4), pp409~415.
- Y.H Back, "Living Mud flats story", Chang jo munhwa, (1999).
- Incheon city planning released (2014).