

文學碩士 學位論文

한국 조적식 근대문화재에 사용된
벽돌의 보존에 관한 연구
-칠곡가실성당의 벽돌을 중심으로-

慶州大學校 大學院

文化財學科

嚴 相 昱

2018年 12月

한국 조적식 근대문화재에 사용된
벽돌의 보존에 관한 연구

-칠곡가실성당의 벽돌을 중심으로-

指導教授 도 진 영

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

2018年 12月

慶州大學校 大學院

文化財學科

嚴 相 昱

嚴相昱의 碩士學位論文을 認准함

審査委員長 강영진 印 

審査委員 장영수 (附) 

審査委員 조진영 (附) 

慶州大學校 大學院

2018年 12月

목 차

<표 차례>	iv
<그림 차례>	vi
I. 서론	1
1. 연구목적	3
2. 연구배경	3
(1) 칠곡가실성당 건축물의 역사	3
(2) 칠곡가실성당 건축물의 손상양상	5
(3) 선행연구	6
3. 연구방법	9
II. 시료선정 및 분석방법	11
1. 시료선정	11
2. 분석방법	16
(1) 광물성분 분석	16
(2) 물성분석	16
1) 색도분석	16
2) 표면 경도	17
3) 초음파속도에 의한 추정압축강도	18
4) 압축강도	19
5) 흡수율, 공극, 밀도	19
6) 강화제 특성	21

III. 연구결과	22
1. 벽돌의 특성	22
(1) 벽돌의 구성 화학성분	22
(2) 벽돌의 구성 광물성분	23
1) 실체현미경 하 구성광물의 입자모양과 크기	23
2) 편광현미경 관찰결과	25
3) X-선 회절분석결과	26
(3) 벽돌시편의 물성	28
1) 색도	28
2) 흡수율, 공극, 밀도	33
3) 모세관흡수율	35
4) 경도	37
5) 벽돌의 강도	38
(a) 초음파속도에 의한 추정압축강도	38
(b) 파쇄법에 의한 압축강도	41
2. 강화처리 후 벽돌의 특성변화	44
(1) 강화제 적용방법 및 처리과정	44
(2) 강화처리 후 벽돌 표면의 조직	47
1) 실체현미경 관찰 결과	47
2) 전자현미경 관찰 결과	47
(3) 물성변화	51
1) 강화처리 후 색도변화	51
2) 강화처리 후 흡수율, 공극율, 밀도	53
3) 강화처리 후 모세관흡수율	55
4) 강화처리 후 경도	56
5) 강화처리 후 벽돌의 강도	58
(a) 초음파속도에 따른 추정압축강도	58

(b) 파쇄법에 의한 압축강도	60
IV. 고찰	63
V. 결론	71
참고문헌	74
Abstract	77

〈표 차례〉

표 1. 실험을 위해 선정한 벽돌	11
표 2(a). 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-1, 신 벽돌)	12
표 2(b). 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-2, 구 벽돌)	13
표 2(c). 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-3, 구 벽돌)	13
표 2(d). 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-4, 구 벽돌)	14
표 2(e). 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-5, 구 벽돌)	14
표 2(f). 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-6, 구 벽돌)	15
표 2(g). 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-7, 구 벽돌)	15
표 3. 색상별 구 벽돌의 화학성분 함량	22
표 4. 벽돌 부재의 색도	29
표 5. 칠곡가실성당 벽돌시료의 색좌표에 의한 근사색	31
표 6. 벽돌시료의 흡수율, 공극율, 밀도 결과표	33
표 7. 벽돌시료의 모세관흡수율	36
표 8. 벽돌시료의 표면경도	37
표 9. 벽돌시료의 초음파속도 측정결과	39
표 10. 강화처리 전 측정한 압축강도 결과	41
표 11. 3회 강화처리 과정 중의 중량변화	45
표 12. 강화처리 후 최종 중량변화	45
표 13. 강화처리 후 구 벽돌의 평균색도	50
표 14. 강화처리 후 벽돌시료의 색좌표에 의한 근사색	53
표 15. 강화처리 후 구 벽돌의 흡수율, 공극율, 밀도 결과	53
표 16. 강화처리 후 구 벽돌의 모세관흡수율	55
표 17. 강화처리 후 벽돌의 표면경도	56
표 18. 강화처리 후 구 벽돌의 초음파속도	58
표 19. 강화처리 후 측정한 압축강도 결과	60
표 20. 강화처리 후 모세관흡수율 변화율	64
표 21. 강화처리 후 흡수율, 공극, 밀도의 변화율	65
표 22. 강화처리 후 경도 증가율	66

표 23. 강화처리 후 색도 변화.....	67
표 24. 강화처리 후 초음파속도의 변화율.....	68
표 25. 강화처리 전과 후의 압축강도 비교분석 결과.....	69

<그림 차례>

그림 1. 건립 당시의 칠곡가실성당과 현재의 모습	5
그림 2. 주변의 수목 및 초본류와 당시대의 벽체의 풍화 및 균열	6
그림 3. 경도측정에 사용한 경도계	17
그림 4. 초음파속도 측정기와 직접법에 의한 측정	19
그림 5. 강화제로 사용한 독일 Wacker社의 Silres BS OH 100	21
그림 6. 색상별 구 벽돌의 화학성분 비교	23
그림 7. 신 벽돌과(GSC-1) 구 벽돌의(GSC-2 ~ 7) 미세조직	24
그림 8. 편광현미경 상으로 관찰된 광물성분	25
그림 9. 신 벽돌(GSC-1)의 X-선 회절패턴	26
그림 10. 구 벽돌과 신 벽돌의 X-선 회절패턴 비교	27
그림 11. 칠곡가실성당 벽돌시료의 색좌표	30
그림 12. 칠곡가실성당 벽돌시료의 분광반사도	32
그림 13. 벽돌시료의 흡수율, 공극율, 밀도	34
그림 14. 모세관흡수율 측정과정	35
그림 15. 벽돌시료의 평균경도	38
그림 16. 신 벽돌과 처리 전 구 벽돌의 평균 초음파속도 그래프	40
그림 17(a). GSC-1의 압축강도 그래프	41
그림 17(b). GSC-2의 압축강도 그래프	42
그림 17(c). GSC-3의 압축강도 그래프	42
그림 17(d). GSC-4의 압축강도 그래프	42
그림 17(e). GSC-5의 압축강도 그래프	43
그림 17(f). GSC-6의 압축강도 그래프	43
그림 17(g). GSC-7의 압축강도 그래프	43
그림 18. 강화제에 침적한 구 벽돌과 진공함침 과정	44
그림 19. 강화처리 후 구 벽돌(GSC-2 ~ GSC-6)의 X-선 회절패턴	46
그림 20. 강화처리 후 구 벽돌의 실체현미경 하 미세조직	47
그림 21. 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 미세조직	48
그림 22. 강화처리 후 구 벽돌의 색좌표	51

그림 23. 강화처리 후 구 벽돌시료의 분광반사도	52
그림 24. 강화처리 후 구 벽돌의 흡수율, 공극율, 밀도	54
그림 25. 강화처리가 완료된 벽돌의 평균경도 그래프	57
그림 26. 강화처리 후 구 벽돌의 평균 초음파속도 (m/s) 그래프	59
그림 27(a). 강화처리 후 GSC-2의 압축강도 그래프	60
그림 27(b). 강화처리 후 GSC-3의 압축강도 그래프	61
그림 27(c). 강화처리 후 GSC-4의 압축강도 그래프	61
그림 27(d). 강화처리 후 GSC-5의 압축강도 그래프	61
그림 27(e). 강화처리 후 GSC-6의 압축강도 그래프	62
그림 27(f). 강화처리 후 GSC-7의 압축강도 그래프	62
그림 28. 강화처리 전·후 모세관흡수율 비교	64
그림 29. 강화처리 전·후 흡수율, 공극, 밀도의 변화	65
그림 30. 강화처리 전·후 경도 비교	66
그림 31. 강화처리 전과 후의 색도 비교	67
그림 32. 강화처리 전·후 초음파속도 비교	68
그림 33. 강화처리 전·후 벽돌시료의 압축강도와 증가율 비교	69

I. 서론

우리나라의 조적식¹⁾ 근대 건축물은 개화기 이후 지어지기 시작 하였으나 전근대 목조 건축물과 비교할 때 문화재로서의 가치 인식이 상대적으로 부족하였다. 따라서 지금까지 대다수의 조적식 근대 건축물들은 관리소홀 및 노후화와 수리기술 부족으로 원형이 훼손 되거나 무분별한 개발로 인해 역사 속으로 사라져 갔다. 이런 상황을 타개하기 위해 문화재청은 2001년 7월부터 ‘문화재 등록제도’를 시행하여, 현존해있던 중요 근대 건축물들을 사적으로 지정 · 관리하고 국가적인 차원에서 보존하고자 하는 노력을 하고 있다.²⁾

우리나라에 최초로 조적식 근대 건축물들이 지어진 때는 19세기 말 일본과의 강화도 조약을 체결한 후, 미국 · 영국 · 독일 · 프랑스 등의 제국주의 열강들과의 통상조약을 체결하면서 부터이다. 특히 1886년 프랑스는 정식으로 조선과의 수호통상조약 체결로 가톨릭 선교의 자유를 얻었다. 이에 따라 청나라에 들어와 있던 프랑스의 가톨릭 신부들이 조선으로 들어와 선교활동을 위해 고딕 및 로마네스크 양식으로 조적식 근대 건축물의 성당, 사제관 등을 세웠다.³⁾

성당과 사제관의 경우 설계는 프랑스 신부들이 맡았지만, 당시 국내에는 조적식 근대 건축물을 지을 수 있는 기술자들이 없어서 청나라의 벽돌공, 미장이, 목수 등에게 시공을 맡기는 경우가 많았다. 이 시기에 제작한 벽돌의 공통적인 문제점은 벽돌 공사 및 제작기술 수준이 매우 낮아, 시간이 지남에 따라 벽돌의 강도저하로 인한 균열, 외부 환경 등에 의한 풍화현상이 많이 발생하는 것이다. 이러한 벽돌 강도저하는 오늘날 개화기

1) 조적식(組積式)은 돌이나 벽돌 등을 쌓아 올리는 건축방법이다.

2) 이정은 (2010) 한국 조적식 근대문화재에 사용된 벽돌의 재질특성과 손상메커니즘 해석, 공주대학교 대학원 문화재보존과학과 박사학위논문, p. 1.

3) 우남식 (2010) 문화재 지정 벽돌조 건축물의 보수보강기법에 관한 연구, 청주대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문, p. 1.

조적식 건축물의 보수과정에서 가장 흔한 현상 중 하나가 되었다.

개화기 이후 지금까지 조적식 근대 건축물에 적용되어 왔던 보수방법은 다음과 같은 물리적인 방법이 주를 이루어 왔다. 첫째, 오랜 세월 동안 풍화된 벽돌의 약화된 표면을 깎아낸 후 깎아낸 두께만큼의 타일형태 벽돌을 부착하는 방법, 둘째, 당시에 사용되었던 훼손된 벽체의 벽돌을 반대쪽으로 끼워 넣어 내부의 빈 공간만큼의 모르타르를 채워 넣는 방법, 셋째, 유사한 색상과 크기로 제작된 새로운 벽돌로 교체하는 방법 등이 있다. 하지만 이런 보수방법들은 현대의 재료들을 무분별하게 적용함으로써 건축물 자체의 역사적인 측면뿐만 아니라 안정성, 내구성, 원 부재들과의 이질감 등의 문제가 보고되고 있다.

요컨대 우리나라의 조적식 근대 건축물의 상당수는 국가의 제도적 차원의 노력과 유지보수를 위한 노력에도 불구하고, 보존상태는 그리 양호하지 않다. 게다가 보수를 했다하더라도 이전의 부재들과의 조화를 쉽게 이루지 못해 이질감이 느껴지기도 한다.

그러므로 본 연구에서는 우리나라의 조적식 근대 건축물 중 하나인 칠곡가실성당을 사례로 하여 훼손된 벽돌을 교체하거나 강화처리를 하는 과정에서 발생한 문제점을 파악하고, 향후 취해야 할 바람직한 보존방법에 대해서 고찰하고자 한다. 1923년에 건축한 칠곡가실성당은 경상북도 칠곡군 왜관읍 낙산 1리 764번지에 위치한 성당으로 그 문화적 가치를 인정받아 경상북도 유형문화재 제348호로 지정되었다. 하지만 성당 건축에 사용된 벽돌은 시간이 지나면서 건물의 하중과 자연현상 (초분류 생장, 습기, 겨울철 동결융해작용 등)에 의해 많이 훼손되어 보존처리가 시급한 상황이다.

1. 연구목적

본 논문은 경상북도 칠곡군 왜관읍 낙산 1리 764번지에 위치하고 있는 칠곡가실성당에 사용된 적벽돌에 관한 보존과학적 연구이다. 이 성당은 1923년에 건축한 것으로 건축물에 사용된 벽돌이 시간이 지나면서 자연현상 (초분류 생장, 습기, 겨울철 동결융해작용 등)에 의해 많이 훼손되었다. 이렇게 훼손된 벽돌을 교체하거나 혹은 강화처리를 하는 과정에서 발생하는 문제점을 파악하고, 향후 취해야 할 바람직한 보존방법에 대해 고찰하고자 한다.

연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 칠곡가실성당이 어떤 건축재료로 지어졌으며, 보존처리 이력이 어떻게 되는지를 알아보고자 한다.

둘째, 칠곡가실성당 건축물의 보존상태와 손상양상을 파악하고자 한다.

셋째, 벽돌이 함유하고 있는 팽윤성 점토광물의 검출여부를 확인하여 보존처리여부와 보존방법을 검토하고자 한다.

넷째, 분석결과를 토대로 보존처리가 필요하다고 판단될 시, 벽돌을 강화처리를 하여 물성변화를 파악하여 가장 적합한 보존처리 방법을 밝히고자 한다.

구 벽돌에 강화제 적용이 가능할 때 칠곡가실성당 건축물은 새로운 벽돌로의 교체 등으로 인해 발생하는 이질감과 중량으로 인한 압력을 줄일 수 있을 것이다. 이는 칠곡가실성당의 고풍스러운 옛 모습을 최대한 유지할 수 있는 보존처리 방법의 하나가 될 것으로 기대된다.

2. 연구배경

(1) 칠곡가실성당 건축물의 역사

칠곡가실성당은 경상북도유형문화재 제348호로 경상북도 칠곡군 왜관읍

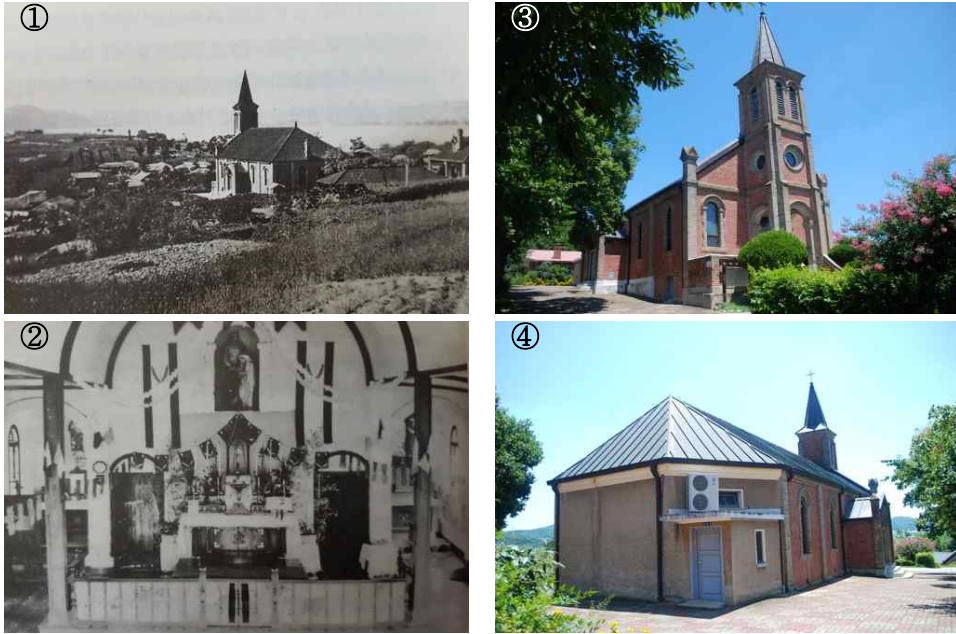
낙산 1리 764번지에 있는 대구대교구 소속의 가톨릭 성당이다. 1923년에 지은 로마네스크양식과 고딕양식이 결합된 형태의 조적식 근대 건축물로 설계는 명동성당을 비롯한 30년간 우리나라의 거의 모든 성당을 설계한 박도행(Victor Louis Poisnel) 신부가 하였다. 벽돌은 칠곡가실성당 공사장 현지에서 직접 생산하였고, 당시 칠곡가실성당의 5대 주임신부였던 여동선(Victor Tourneux) 신부는 완성된 벽돌을 한 장 한 장 두드리면서 튼튼한지 아닌지를 확인하였다고 한다.

본격적인 공사는 1920년 1월 초에 기초공사를 시작하였고, 같은 해 6월 14일 제8대 조선교구장이었던 민덕호(Gustave Charles Marie Mutel)주교에게 올린 성당 신축 보고서의 기록에는 중국의 양옥 기술자 10명과 보조자 4 ~ 5명을 불러 시공을 하도록 하였으며, 이들이 생산한 벽돌의 품질이 제일 좋은 것은 아니지만 공사일을 잘 하기 때문에 건축은 튼튼할 것이라고 기록되어 있는 것으로 보서는 그 당시만 해도 현장에서 고품질의 벽돌을 생산하는 기술력이 부족했던 것으로 추측할 수 있다.⁴⁾

지어질 당시 성당 중앙부 출입문 상단에는 1개의 종탑이 있었으며 양측면에는 부출입문, 성당 지하에는 포도주를 저장하는 지하실이 설치되어 있었다. 하지만 현재 칠곡가실성당 후면에는 1964년 확장공사로 인해 콘크리트 벽체로 된 제의실이 지어져 과거의 모습을 볼 수 없다 <그림 1>.

2008년 5월 6일자로 칠곡가실성당은 다시 한번 대수리를 하게 되는데 이때는 기초 및 지붕을 중심으로 하였으며, 지붕은 기존의 합석 재질이 아닌 동판으로 교체를 하게 된다. 그 후 8년 뒤인 2016년에는 사제관의 벽돌과 지붕, 바닥 마루판을 교체 하였다. 현재 칠곡가실성당의 외벽은 지어질 당시의 벽돌의 훼손이 상당히 진행된 상태이며, 수리가 시급한 상황이다.

4) 현익현(바르톨로메오)신부 (2011) 가실(낙산)성당 100년사, 천주교 대구대교구 가실(낙산)성당, pp. 171-172.



<그림 1> 건립 당시의 칠곡가실성당(①, ②)⁵⁾과 현재의 모습(③, ④).

(2) 칠곡가실성당 건축물의 손상양상

보통 조적식 근대 건축물에 발생하는 벽돌재료의 파손 및 탈락의 경우, 일반적으로 풍화와 같은 물리적 침식에 의해 연쇄적으로 발생하는 것이 가장 큰 원인이며, 위에서 언급된 내용과 같이 재료의 품질이나 축조된 위치에 따라 습기, 자생식물과의 마찰, 겨울철 동결융해작용, 인위적 행위, 부착불량 등의 원인에 의해 발생한다.⁶⁾

콘크리트로 조성된 기단 위에 벽돌을 쌓아 올리는 방식으로 시공된 칠곡가실성당 주변에는 현재 수목과 초본류 등의 식물들이 성장하고 있어 주변의 습기를 머금을 수 있는 환경이 조성되기 쉬운 상태이다. 이에 따

5) 현익현(바르톨로메오)신부 (2011) 가실(낙산)성당 100년사, 천주교 대구대교구 가실(낙산)성당, pp. 188, pp. 228.

6) 우남식, 김태영 (2013) 벽돌조 건축문화재 외벽체의 훼손현황 및 원인 조사 -나주노안천주교회를 중심으로-, 한국농촌건축학회논문집, 15(1), p. 34.

라 당시에 사용된 벽돌의 표면에는 수목과, 초본류 등이 생장하고 있는 주위를 중심으로 벽체의 약화와 풍화현상이 관찰되고 있다 <그림 2>.



<그림 2> 주변의 수목 및 초본류(①, ②)와 당시대의 벽체의 풍화 및 균열(③, ④).

(3) 선행연구

지금까지 벽돌의 수리·보수는 직접적인 시공방식을 위주로 한 것과 구 벽돌을 강화처리하여 활용한 보존처리로 나누어 볼 수 있다. 시공방식의 연구로는 우남식 외 2명의 근대 벽돌 건축문화재 보수 기법에 대한 것이 있으며, 구 벽돌을 강화처리하여 보존에 활용하는 연구로는 이정은의 조적식 근대문화재에 사용된 벽돌의 재질특성과 손상메커니즘을 분석한 것이 있다.

먼저 우남식 외 2명은 근대건축문화재의 벽돌조 건축물 보존기술 기법에 관한 연구⁷⁾에서 성당·교회건축물 등에 적용된 벽돌 수리 방법을 소개

하였다. 그 방법은 아래의 4가지로 나누어진다.

첫째, 시멘트 바름 시공 및 타일벽돌을 제작하는 방법으로 벽돌 표면의 파손 또는 균열시 시멘트를 사용하여 보수하거나 벽돌 표면을 갈아내고, 모르타르를 바른 후 갈아낸 표면 두께만큼의 타일벽돌을 부착하는 방법이다. 이 방법은 공사가 쉬우며 빠른 시공이 가능하다는 장점을 가지고 있지만, 기존 벽체와 색이 맞지 않고 벽돌표면을 갈아낼 경우 충분한 두께가 확보되지 않아 구조적 약화 및 타일벽돌 부분의 탈락이 발생할 수 있다.

둘째, 훼손된 벽체의 벽돌 표면을 갈아내어 반대쪽으로 끼워 넣은 후 빈 공간을 모르타르로 채워 넣는 방법으로, 이 기법은 1984년 명동성당에 적용되었다. 당시 훼손된 벽돌 표면을 0.5B(Brick) 두께만큼 제거한 후 사용되었는데, 기존 벽체와의 색상차이가 많이 나지 않는다는 장점이 있다. 다만 제거된 벽체 두께만큼 채워진 모르타르의 강도와 벽돌의 강도차이로 인해 하중의 불균형이 발생하여 균열의 원인이 되기도 한다.

셋째, 유사한 색상과 크기로 제작된 신 벽돌로 교체하는 방법이다. 이 방법은 현재까지 알려진 시공방법들 중 가장 원형 가치를 최대한 유지할 수 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 해당 벽돌을 크기 및 색상에 맞춰 특별주문을 해야 하며, 신 벽돌이 상부에 위치할 경우 신 벽돌의 무거운 중량으로 인하여 하부의 구 벽돌이 훼손될 수도 있다.

넷째, 변색 벽돌을 세척하거나 표면의 페인트를 제거하는 방법이다. 벽체 표면의 색이 변하거나 보수에 의해서 이질적인 색을 띤 벽돌에 행해지는 방법으로, 세척의 경우 스팀세척을 실시하는 것과 벽체가 페인트로 마감된 경우 그라인더를 이용하여 표면을 벗겨내는 방식으로 진행된다. 하지만 그라인더를 이용한 방법은 공사가 쉽고 페인트제거가 확실하지만, 건축물 외관의 손상과 벽돌 표면의 마모로 풍화를 촉진시킬 수 있다.

7) 우남식, 권순찬, 김태영 (2011) 근대건축문화재의 벽돌조 건축물 보존기술 기법에 관한 연구, 한국농촌건축학회논문집, 13(1), pp. 38-41.

이들의 연구는 다양한 벽돌 건축물 보존처리 방법을 제시하고, 명동성당, 용산신학교, 나주노안천주교회, 구 서울구치소 등에 적용된 사례를 보여 주었다는 데 의의가 있다. 아울러 각 보존처리 방법의 부작용에 대한 충분한 설명으로 각 기법이 가지는 한계점도 함께 보여주어 기술적용 시 유념할 수 있도록 하였다.

다음으로 한국 조적식 근대문화재에 사용된 벽돌의 재질특성과 손상메커니즘 해석⁸⁾을 하면서 석재용 강화제를 이용한 구 벽돌의 강화처리 방법을 소개하였다. 명동성당(사적 제258호), 용산신학교와 원효로성당(사적 제255호)의 구 벽돌에 대한 수리의 일환으로 보존처리법인 강화처리의 가능성을 연구하였다. 강화제로는 규산염질 석조문화재에 많이 사용되는 독일 Wacker社의 Silres OH 100과 Remmers社의 Funcosil KSE 300을 사용하여 24시간 침적하는 방법으로 구 벽돌을 강화처리 하였다.

강화처리를 진행한 구 벽돌의 압축강도 변화는 비파괴법인 초음파속도 법으로 추정하였다. Silres OH 100을 적용한 경우 초음파속도가 일정한 수준으로 상승하여 강화처리 효과가 입증된 반면, Funcosil KSE 300이 적용된 시편에서는 강화처리 효과는 있지만 초음파속도의 편차가 심하여 적용하기 어렵다는 결과를 도출하였다.

실제로 조적식 건축물에 강화제를 적용을 할 때는 표면 도포법을 주로 하기 때문에 강화제가 벽돌의 표면에 국한되는 것이 단점으로 거론되었다.

위의 연구는 석재용 강화제가 약화된 벽돌재질에도 강화효과가 있다는 것을 입증했다는 데 의의가 있다. 하지만 초음파속도 측정을 통한 추정압축강도 분석결과만을 도출하였으며, 파쇄법인 정밀 압축강도 결과와 추정압축강도와의 상관성을 파악하지 못해 강화효과를 정량적으로 제시하지 못한 점이 있다.

8) 이정은 (2010) 한국 조적식 근대문화재에 사용된 벽돌의 재질특성과 손상메커니즘 해석, 공주대학교 대학원 문화재보존과학과 박사학위논문, pp. 288-312.

이와 같은 내용을 바탕으로 볼 때 약화된 벽돌의 수리에 시공방법에 따른 수리법과 강화제 적용 등의 보존처리는 이미 시도되었다고 볼 수 있다. 하지만 강화처리법의 경우 벽돌의 압축강도에 대하여 추정치만 확인하였을 뿐 정확한 압축강도에 대한 분석은 이루어지지 않았다. 그러므로 이 연구에서는 벽돌 내부까지 강화제를 침투시킬 수 있는 진공함침 방법과 보다 명확한 압축강도를 분석할 수 있는 파쇄법을 적용하여 정량적인 결과를 도출하고자 한다.

3. 연구방법

본 연구는 칠곡가실성당의 손상된 벽돌에 강화제를 적용하는 보존처리를 진행함으로서 구 벽돌을 재사용할 수 있는 새로운 보존처리 방법을 구명하는 데 목적이 있다. 이를 위해 필자는 먼저 2018년 4월 ~ 7월까지 칠곡가실성당에 3차례 방문하여, 주임 사제와 면담하였고, 칠곡가실성당의 역사와 연혁이 기록된 자료와 구 벽돌 6점, 신 벽돌 1점을 주임 사제로부터 인수받았다. 이렇게 확보한 자료를 바탕으로 칠곡가실성당의 역사와 당시에 제작된 벽돌에 대한 과학적인 분석을 하였다.

칠곡가실성당의 역사와 연혁이 기록된 자료에서는 건축물의 건설 당시 벽돌제조 방식을 확인하고 벽돌의 품질을 추측하였다. 입수한 구 벽돌⁹⁾은 독일 Wacker社의 Silres BS OH 100 강화제로 진공함침방법을 적용하여 강화처리하였다. 그리고 신 벽돌¹⁰⁾은 구 벽돌과의 강화처리 전·후 재질 특성을 비교하기 위한 표본으로 활용하였다.

구 벽돌의 강화처리 전과 후로는 실체현미경을 활용하여 시편 표면의

9) 구 벽돌은 칠곡가실성당 성전이 지어질 당시 함께 지어진 칠곡가실성당 사제관을 2016년 보수하는 과정에서 나온 것으로 선정하였다.

10) 신 벽돌은 2016 칠곡가실성당 사제관을 보수하면서 훼손된 구 벽돌을 제거하면서 해당 위치에 교체할 때 사용되었다.

광물크기, 광물의 입자모양, 공극상태를 확인하며, 강화처리 후 강화제가 광물간에서 어떻게 양생되었는지를 확인한다. 아울러 편광현미경을 통해 강화처리 전 구 벽돌의 조성광물 종류와 형태를 분석하였으며, 강화처리 후 전자현미경을 통해 강화처리 된 시편의 상태를 분석하였다.

현미경 분석 외에도 X-선 회절분석에서 확인된 피크를 통해 팽윤성 점토광물의 검출여부를 점검한 후 강화처리 적용 여부를 판단하였다. 그리고 분광측색계를 활용한 색도분석에서는 구 벽돌의 강화처리 전과 후의 색도변화를 확인하고 그 차이를 확인한다. 색도분석은 강화처리 한 구 벽돌의 색상과 그렇지 않은 구 벽돌이 가지는 색상의 이질감을 고려하여 보다 옛 모습에 가깝도록 건축물을 보존처리 하기 위함이다.

구 벽돌의 표면의 단단한 정도를 분석하기 위해서 휴대용 경도계로(Equotip) 구 벽돌의 강화처리 전과 후의 반발경도를 측정하고, 강도를 측정하기 위해서는 비파괴법인 초음파속도에 의한 추정압축강도 분석을 우선 진행하였다. 비파괴법에 의한 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 처리 전·후의 시편을 만능기계(IMADA社 SDWS-2013-R3)로 파쇄하여 압축강도를 분석하고 시편에 가해지는 하중을 측정하였다.

이밖에도 구 벽돌과 신 벽돌의 흡수율을 측정하기 위한 실험을 진행하였다. 먼저 모세관흡수율 측정을 구 벽돌의 강화 처리 전·후로 진행하였고, 신 벽돌에서도 측정하여 구 벽돌과 비교하였다. 다음으로는 강화처리 전·후로 시편을 침수시켜 흡수율과 공극, 밀도를 비교하였다.

위와 같이 강화제 적용에 따른 색도변화, 물성변화 결과를 통해 강화제의 적용가능 여부를 판단하여 상황에 따른 보존처리의 방법을 정할 수 있다. 실제로 현장에서 적용될 강화제와 기타 다른 처리제와의 상호작용에 대해서도 다양한 각도로 연구하여 바로 그 문화재에 적절한 강화제와 처리방법을 선택하여야 과학적 보존처리로서의 접근이 가능할 것으로 여겨진다.

II. 시료선정 및 분석방법

1. 시료선정

연구 신뢰성의 향상 및 보편적 결과의 확보를 위해 우선적으로 벽돌에 대한 과학적 분석이 이루어져야 한다. 2016년 칠곡가실성당 사제관의 보수공사를 하는 과정에 사용되었던 신 벽돌 1점(수리를 위해 새로 제작된 벽돌)과 신 벽돌로 교체를 하면서 제거되었던 구 벽돌 6점 등 총 7점을 수습하여 시료명은 GSC(Gasil Catholic Church)로 명기하여 벽돌 보존시험의 연구대상으로 선정하였다. 신 벽돌의 시료번호는 GSC-1, 구 벽돌은 GSC-2 - GSC-7로 명시하였다 <표 1>.

<표 1> 실험을 위해 선정한 벽돌.

시편명		사진	크기(cm)	가시적 특징
신 벽돌	GSC-1		가로: 24.3 세로: 11.8 높이: 6.1	신 벽돌로 견고하고 매끄러움. 짙은 적색의 색상, 치밀함.
구 벽돌	GSC-2		가로: 24.7 세로: 11.8 높이: 6.2	연한 적색을 띠며 상단에 모르타르 흔적이 남아있고, 구 벽돌 중에서는 표면이 온전함.
	GSC-3		가로: 24.6 세로: 11.9 높이: 6.2	상단에 모르타르 흔적이 남아있으며, 구 벽돌 중에서는 적색으로 색상이 진한 편.
	GSC-4		가로: 24.6 세로: 11.6 높이: 6.4	미색의 색상으로 좌측 표면에 일부 분 풍화되어 마모가 된 상태로 박리현상은 없음.
	GSC-5		가로: 24.4 세로: 11.7 높이: 6.3	황토색이며 좌우 표면이 풍화됨. 표면에 입상분해현상이 발생하여 분말이 묻어남.
	GSC-6		가로: 24.5 세로: 11.7 높이: 6.2	황토색이며 좌우 표면에 풍화가 지속되어 심한 박리현상이 일어남.
	GSC-7		가로: 24.9 세로: 11.7 높이: 6.3	황토색이며 2부분으로 분리 파손된 상태.

수습한 각 구 벽돌을 1점당 8부분으로 나눈 후(가로: 55 - 59mm, 세로: 53 - 61mm, 높이: 61 - 64mm) 벽돌 1점당 3조각을 연구대상 시료로 사용하였다 <표 2>. 이와 같이 한 벽돌 당 3편의 시편으로 시험을 진행하는 이유는 동일한 벽돌시편이라 할지라도 수제작된 벽돌의 특성상 불균질하여 흡수율이나 초음파속도 등 물성의 차이가 존재할 수 있기 때문에 평균적인 결과를 도출하기 위함이다.

<표 2(a)> 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-1, 신 벽돌).

	GSC-1-1	GSC-1-2	GSC-1-3
표면			
단면			
크기 (mm)	59.60×58.96×60.67	57.36×58.65×60.64	57.54×56.38×60.46
내부 특징	표면에 비해 소립의 백색과 유색광물이 소량 산재되어 있으며, 작은 크기의 공극도 관찰됨.		

<표 2(b)> 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-2, 구 벽돌).

	GSC-2-1	GSC-2-2	GSC-2-3
표면			
단면			
크기 (mm)	59.51×58.28×62.25	59.22×58.81×62.64	57.48×57.06×61.64
내부 특징	색상은 황토색으로 표면과 유사하나 표면 근처의 색상과 내부에서는 약간의 차이가 남. 표면 근처 색상은 표면과 유사한 적갈색이나 내부는 약간 더 짙은 적색을 띰. 미립의 바탕에 소립의 백색과 유색 광물이 다수 산재되어 있으며, 다양한 크기의 거정질 입자가 다양한 색상을 띠며 불균일하게 내포되어 있음. 길쭉한 모양의 공극이 다수 발생되어 있음.		

<표 2(c)> 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-3, 구 벽돌).

	GSC-3-1	GSC-3-2	GSC-3-3
표면			
단면			
크기 (mm)	59.18×58.73×62.89	58.68×58.65×63.26	58.09×56.13×63.21
단면의 가시적 특징	적색의 색상으로 표면은 모르타르 흔적으로 인해 단면과 비교하면 색상이 약간 흐린 편. 미립의 바탕에 소립의 백색과 유색 광물이 다수 산재되어 있으며, 다양한 크기와 색상의 거정질 입자가 불균일하게 내포되어 있음. 길쭉한 모양의 공극이 다수 발생되어 있음.		

<표 2(d)> 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-4, 구 벽돌).

	GSC-4-1	GSC-4-2	GSC-4-3
표면			
단면			
크기 (mm)	59.60×55.66×63.56	58.01×56.26×63.91	57.26×57.38×63.99
단면의 가시적 특징	표면의 색상은 미색으로 표면 근처의 색상과 내부에서는 약간의 차이가 남. 표면 근처 색상은 표면과 유사한 색상이나 내부는 약간 어두운 미색을 띠. 미립의 바탕에 소립의 백색과 유색 광물이 다수 산재되어 있으며, 다양한 크기와 색상의 거정질 입자가 불균일하게 내포되어 있음. 길쭉한 모양의 공극이 다수 발생되어 있음.		

<표 2(e)> 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-5, 구 벽돌).

	GSC-5-1	GSC-5-2	GSC-5-3
표면			
단면			
크기 (mm)	58.13×56.64×63.49	55.80×56.25×62.40	59.87×58.54×62.80
단면의 가시적 특징	황토색의 표면에 비해 단면은 약간 진한 편. 미립의 바탕에 소립의 백색과 유색 광물이 다수 산재되어 있으며, 다양한 크기와 색상의 거정질 입자가 불균일하게 내포되어 있음. 길쭉한 모양의 공극이 다수 발생되어 있음.		

<표 2(f)> 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-6, 구 벽돌).

	GSC-6-1	GSC-6-2	GSC-6-3
표면			
단면			
크기 (mm)	56.93×55.95×62.15	59.11×57.12×62.70	58.75×55.22×63.26
단면의 가시적 특징	황토색의 표면에 비해 단면은 약간 진한 편. 미립의 바탕에 소립의 백색과 유색 광물이 다수 산재되어 있으며, 다양한 크기와 색상의 거정질 입자가 불균일하게 내포되어 있음. 길쭉한 모양의 공극이 다수 발생되어 있음.		

<표 2(g)> 시험용으로 제작된 정방형 벽돌시편 (GSC-7, 구 벽돌).

	GSC-7-1	GSC-7-2	GSC-7-3
표면			
단면			
크기 (mm)	59.70×59.28×61.46	58.77×61.08×62.24	56.77×53.33×63.96
단면의 가시적 특징	황토색의 표면에 비해 단면은 약간 진한 편. 미립의 바탕에 소립의 백색과 유색 광물이 다수 산재되어 있으며, 다양한 크기와 색상의 거정질 입자가 불균일하게 내포되어 있음. 길쭉한 모양의 공극이 다수 발생되어 있음.		

2. 분석방법

손상된 벽돌시편에 강화제를 사용하여 재사용하기 위한 시험을 진행하려면, 우선적으로 선정된 시편에 대한 과학적 분석을 실시하여 보존약품 처리 이후 변화된 특성을 비교하여야 한다.

선정한 시료들에 대하여 보존처리 전과 후의 화학성분, 광물성분, 그리고 물성을 다음과 같이 분석하였다.

(1) 광물성분 분석

광물의 종류와 형태는 시편의 소성온도에 따라 변화상태가 다르기 때문에 소성온도에 대한 단서를 제공하기도 한다. 또한 원료 광물이 변질되지 않고 남아 있는 경우, 원료토양 내의 광물형태와 비교하여 산지를 추정하는 실마리가 된다. 시편은 우선 실체현미경으로 광물의 크기, 입자모양, 공극상태 등 벽돌의 조직을 살펴보고, 에폭시수지에 마운팅한 후 박편으로 제작하여 편광현미경을 통하여 조성광물의 종류와 형태를 분석하였다. 이와 더불어 시편을 분말화한 후 X-선 회절분석을 강원대학교 공동실습관(Panalytical사, X'pert-proMPD, 실험조건 30mA, 40kV)에 의뢰하여 결과를 얻은 후 검출된 피크를 JCPDS(Joint Committee on Powder Diffraction Standards) 데이터를 이용하여 동정하였다.

(2) 물성분석

1) 색도분석

벽돌시료의 겉 표면 및 단면 내부의 색도를 측정하여 데이터를 획득하였다. 색도 및 반사도 분석은 분광측색계(Konica Minolta CM-2500d)를 이용하였다. 측정부분의 표면은 가능한 평편하고 이물질이 없는 부분을 중심으로 측정 광원이 새어나오지 않게 하고 표준 광원 D65, 시야각 10°

에서 각 시료의 표면에 대하여 측정하였다.

색도는 일반적으로 L^* , a^* , b^* 로 나타내며, L^* 은 명도로 그 측정 범위가 0 - 100으로 표시되며 50을 기준으로 측정값이 높을수록 백색, 낮을수록 흑색에 가까운 것을 의미한다. 채도를 나타내는 a^* , b^* 는 -60 - +60의 수치로 표시되며 a^* 가 (+)일수록 적색, (-)일수록 녹색, b^* 가 (+)일수록 황색, (-)일수록 청색에 가까운 색상으로 나타나며, 0에 가까울수록 무채색을 의미한다. 가시광선 영역(360 - 720nm)에서 반사도를 측정하여, 파장에 따른 반사율의 변화를 통하여 조성분위기를 추정하였다. 일반적으로 반사도에 따른 조성분위기는 파장 600 - 720nm에서 반사율이 감소하면 환원 조성, 증가하면 산화조성일 가능성이 높다고 추정한다.

2) 표면 경도

에코팁(KAIRDA KH180) 경도시험기는 본래 금속재료의 비파괴 품질 시험 장치로서 개발되었다. 구형의 테스트 팁이 측정 대상의 표면을 타격하는 속도와 반발 후의 속도를 계측하여 경도를 나타낸다. 이에 따라 강화제 처리에 따른 강도 향상 효과를 확인하기 위해 강화처리 전 에코팁 경도계를 이용하여 표면 경도측정을 실시하였다 <그림 3>. 경도는 각 시료마다 총 6면의 표면 중심부를 기준으로 측정하였다.



<그림 3> 경도측정에 사용한 경도계 (Equotip).

3) 초음파속도에 의한 추정압축강도 (비파괴법)

일반적으로 초음파분석은 비파괴적인 분석법으로 주로 암석의 매질강도 및 풍화상태 등의 물성을 분석하는데 사용된다. 벽돌의 경우 점토를 소성하는 과정에 물성이 변하여 암석으로 만들어진 석조문화재와 유사한 강도를 지니기에 암석에 적용되는 비파괴분석을 적용하는데 무리가 없다.

벽돌을 대상으로 한 초음파 분석 사례로 초음파시험에 의한 점토벽돌의 역학적 특성에 관한 실험적 연구 (전경희, 1999)¹¹⁾, 한국 조적식 근대문화재에 사용된 벽돌의 재질특성과 손상메커니즘 해석 (이정은, 2010)¹²⁾, 백제 무령왕릉 벽돌의 고고과학적 특성과 태토 산지 해석 (장성윤, 2012)¹³⁾이 보고된 바가 있지만 사례가 드문 편이다.

초음파속도는 대상 시료의 강도와 물성, 2차적으로 발생한 미세균열의 발달 정도, 풍화 상태에 따라 달라진다. 그러나 벽돌은 암석과는 다르게 추가적으로 태토와 소성온도, 내부에 잔존하는 기포의 양에 따라 강도와 물성이 달라진다. 이 연구에서는 태성엔지니어링(TAESUNG ENG)사의 TS-5000 초음파분석기를 사용하여 벽돌시료 1개당 좌우, 상하, 전후면 중심부를 기준으로 초음파속도를 측정하였다 <그림 4>.

측정된 초음파속도를 일축압축강도 추정식에 대입하여 압축강도로 환산하였으며, 이 때 이용한 경험식은 다음과 같다.

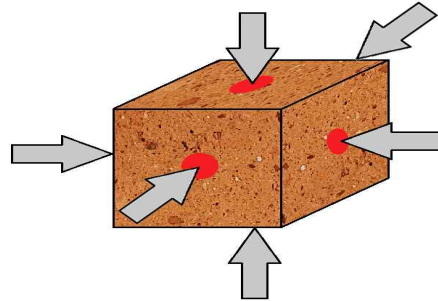
$$\text{경험식 1 : } C_o = 66.039 \times \exp (0.000578598 \times V_p)$$

$$\text{경험식 2 : } C_o = 82.23 \times \exp (0.000422 \times V_p)$$

$$\text{경험식 3 : } C_o = (21.7 \times V_p/1000) + 8.22$$

$$(C_o : \text{일축압축강도, } V_p \text{ 초음파 P파 속도})$$

-
- 11) 전경희 (1999) 초음파 시험에 의한 점토벽돌의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 경기대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문.
12) 이정은 (2010) 한국 조적식 근대문화재에 사용된 벽돌의 재질특성과 손상메커니즘 해석, 공주대학교 대학원 문화재보존과학과 박사학위논문.
13) 장성윤 (2012) 백제 무령왕릉 벽돌의 고고과학적 특성과 태토 산지 해석, 공주대학교 대학원 문화재보존과학과 박사학위논문.



<그림 4> 초음파속도 측정기와 직접법에 의한 측정.

4) 압축강도

시편을 파쇄하여 얻는 압축강도는 KS L 3503¹⁴⁾에 의거하여 측정하였으며,andong대 공동실험실습관에 의뢰하여 만능기계로 (IMADA社 SDWS-2013-R3) 측정하였다. 암석의 압축강도는 부재의 응력에 따라 결정되며, 압축강도는 부재가 압축력에 저항하는 강도로 어떤 부재에 가해지는 하중을 견디는 내부응력을 의미한다.

$$\text{압축강도(Fe)} = w/a$$

w: 최대하중, a: 시편면적

5) 흡수율, 공극, 밀도

시편의 흡수율, 공극율, 겉보기 밀도, 참밀도는 시편의 치밀도를 제시할 수 있는 방법이다. 암석의 물성은 주로 기공(pore)에 의해 결정되고 기공 부피로부터 참밀도, 겉보기 밀도가 계산된다. 암석에 수분의 침투는 기공의 크기와 기하학적 구조에 크게 영향을 받는데, 기공은 고립된 상태 및 표면과 연결되어 열린 형태로 존재한다. 풍화에는 표면과 연결된 기공들

14) 캐스터블 내화물의 강도 시험 방법, 파괴법.

이 주로 영향을 미치며, 이곳에서 수분, 오염물질의 침투, 반응, 이탈 등이 일어난다. 이러한 빈 공간을 기공도로서 표현할 수 있다.

흡수율 $W_{g,a} = (W_a / m_{tr}) \times 100$, (in wt. %)

겉보기 밀도 (bulk density) :

$R = m_{tr} / V_R$: 암석시료의 질량과 부피로부터 산출

V_R : 고립된 기공의 부피, (부력방법 : $V_R = m_1 - m_2$),

m_{tr} : 시료의 건조 무게 (110 °C에서 건조)

m_1 : 진공 하에서 시료가 물에 포화되었을 때의 무게,

m_2 : 물속에서의 시료 무게 (부력법)

참밀도 (absolute density): 조성광물의 밀도와 기공을 고려한 밀도

$\rho_o = m_{tr} / V_o$,

V_o : 열려진 기공의 부피:

($V_o = m_{tr} - m_2$; 시험용액의 밀도가 1 일 때)

기공도 (porosity) : $P = (1 - \rho_R / \rho_o) \times 100$

모세관흡수율은 구 벽돌이 건축물 내에서 수분을 흡수하는 실제양상과 동일한 상황으로 측정하는 흡수율로서 다음의 과정으로 실시하였다. 모세관흡수계수는 시편의 한 면만이 물을 흡수할 있도록 하여 30초, 60초, 180초, 300초, 600초, 1,800초, 3,600초 시점에 무게를 재어, 총 1시간 동안 1 m²의 면적을 통해 물이 흡수되는 정도를 계산하는 방법으로 측정한다.

$$\omega = \frac{W}{t^{\frac{1}{2}}}$$

w : 모세관흡수계수, W : 표면적으로 흡수된 물의 량 kg/m², t : 시간

6) 강화제 특성

사용한 강화제는 암석강화용 ethyl silicate 계열 강화제인 독일 Wacker 社の Silres BS OH 100이다 <그림 5>.

독일 Wacker 社の Silres BS OH 100은 ethyl silicate의 함량이 100%이며, 25℃에서 밀도는 약 0.99g/cm³이다. 물에 용해되지 않으며, 투명무색의 액체이다. 강화제 처리 적정온도는 10 - 30℃로 공극 내부에 침투한 후 시간이 지나면서 반응, 겔을 형성한다. 25℃에서 1.6mPas로 낮은 점성을 가지고 있어 공극으로 깊게 스며들 수 있다.¹⁵⁾



<그림 5> 강화제로 사용한 독일 Wacker 社の Silres BS OH 100.

15) Wacker 社の Silres BS OH 100, 약품설명서.

III. 연구결과

1. 벽돌의 특성

(1) 벽돌의 구성 화학성분

2016년 칠곡가실성당 사제관 수리 시 신 벽돌 제작을 위해 색상별로 시료를 선정하여 화학성분을 분석한 결과를 <표 3>에 나타내었다.¹⁶⁾ 벽돌의 화학성분 분석결과, SiO₂의 함량이 가장 많았으며 함량은 65.8 - 78.1%로 나타났다. 특히 적색 벽돌시료에는 SiO₂의 함량이 78.1%로 가장 높게 나타났다. 이와 같이 벽돌을 비롯한 토기·자기 등의 점토를 이용한 재질의 특성상 SiO₂의 수치가 높게 나오는 것은 소성된 재료들의 공통점이라 볼 수 있다. Al₂O₃는 16.1 - 23.1%로 나타났고, K₂O는 1.3 - 1.7%의 범위를 보였으며, L.O.I.(Loss-On-Ignition)¹⁷⁾는 1.4 - 7.3%로 나타났다.

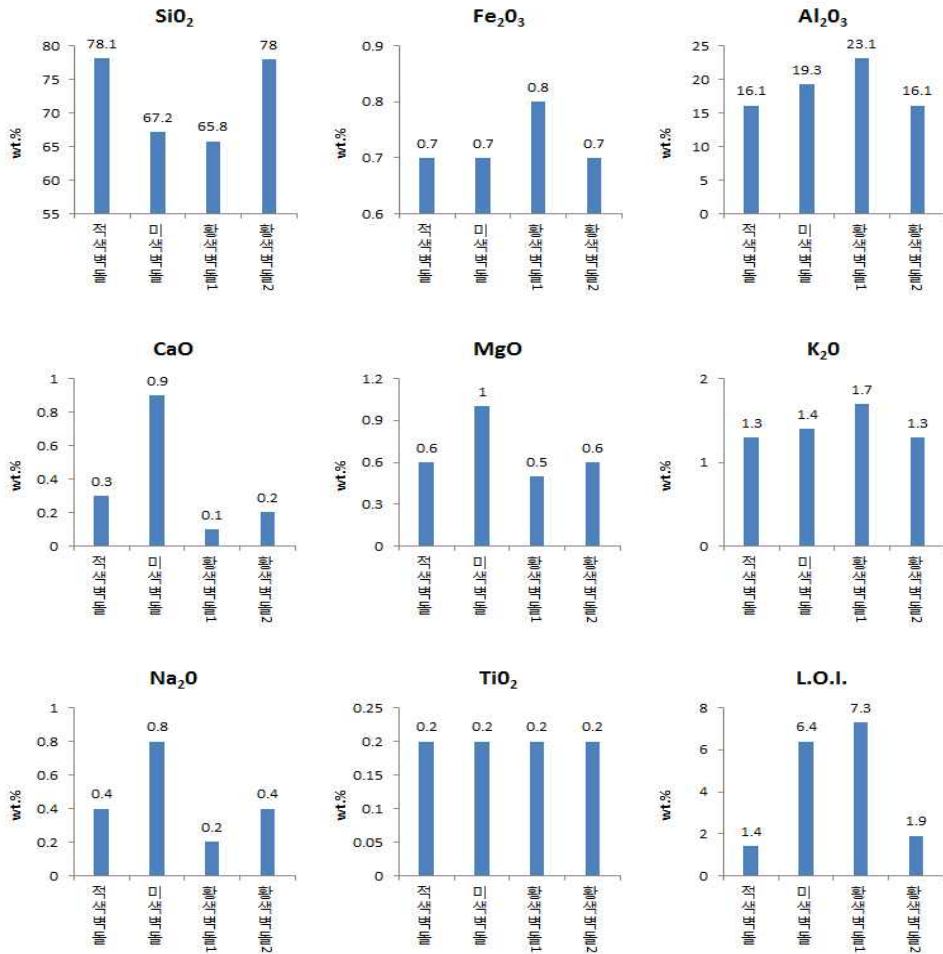
미색 벽돌시료와 황색 벽돌시료1의 화학성분이 비슷한 수치로 나타났으며, 적색 벽돌시료와 황색 벽돌시료2도 화학성분의 함량 거의 유사하게 나타났다. 이는 화학성분의 함량보다 벽돌이 소성될 당시 가마 속의 온도나 위치에 따라 벽돌의 색상에 영향을 주는 것으로 추측된다 <그림 6>.

<표 3> 색상별 구 벽돌의 화학성분 함량 (wt. %).¹⁶⁾

벽돌시료	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	L.O.I.
적색벽돌	78.1	0.7	16.1	0.3	0.6	1.3	0.4	0.2	1.4
미색벽돌	67.2	0.7	19.3	0.9	1.0	1.4	0.8	0.2	6.4
황색벽돌1	65.8	0.8	23.1	0.1	0.5	1.7	0.2	0.2	7.3
황색벽돌2	78.0	0.7	16.1	0.2	0.6	1.3	0.4	0.2	1.9

16) 칠곡군 (2017) 칠곡 가실성당 구사제관 보수공사 수리보고서, 칠곡군, pp. 18-27.

17) 강열감량(強熱減量)으로도 불리며 주로 유기물 함량을 표시한 것으로, 시료 등을 건조한 후의 잔류물을 600±25℃로 강열해서 가스화하여 발산시킨 물질을 말한다.



<그림 6> 색상별 구 벽돌의 화학성분 비교.

(2) 벽돌의 구성 광물성분

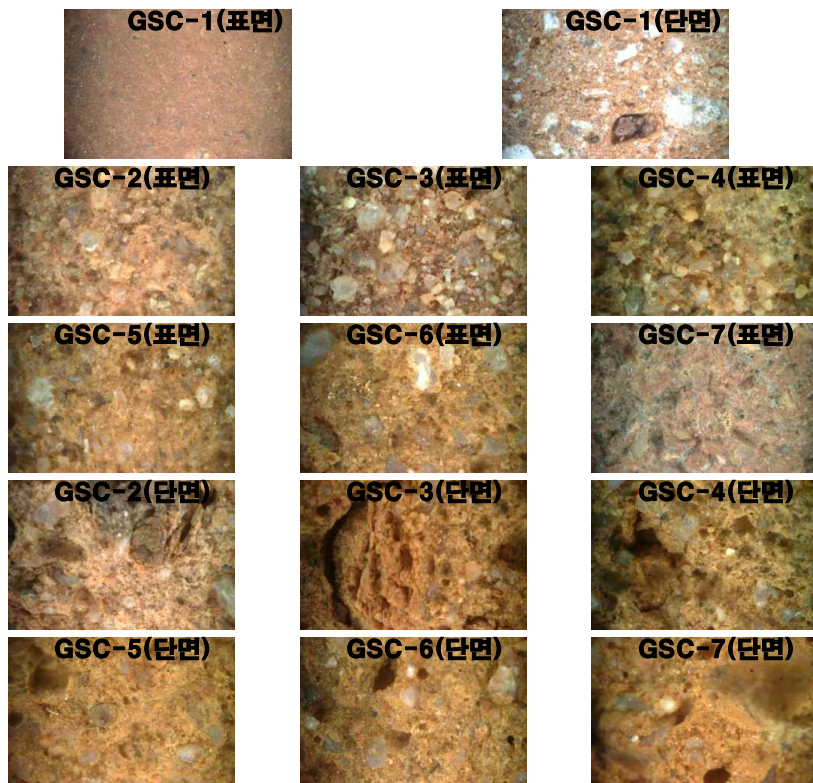
1) 실체현미경 하 구성광물의 입자모양과 크기

구 벽돌과 신 벽돌의 조직과 구성광물의 형태, 크기, 분급도 등을 살펴 보기 위해 실체현미경을 이용하여 표면관찰을 실시하였다.

신 벽돌 GSC-1은 단단하며 구 벽돌에 비해 무겁다. 표면에는 공극이

없고, 광물과 점토 입자의 밀도가 치밀하고 균일한 반면 내부에서는 다양한 크기와 색상의 광물입자들이 산재되어 분급도는 상당히 불량한 편이나 작고 길쭉한 형태의 공극이 일부 관찰되었다.

구 벽돌인 GSC-2 - GSC-7의 조직은 대동소이하며 신 벽돌과 달리 표면과 내부가 유사한 조직을 보인다. 미세한 바탕질의 입자들 사이로 다양한 크기와 색상의 광물들이 관찰된다. 표면에 비해 내부에서는 표면보다 큰 크기와 다양한 색상의 광물 입자들이 불규칙하게 산재되어 있으며, 풍화가 진행됨에 따라 광물들의 박락이 진행되고 있다. 내부에는 공극이 많고, 모양은 길쭉한 타원형으로 성형하는 단계에서 발생된 것으로 보인다 <그림 7>.



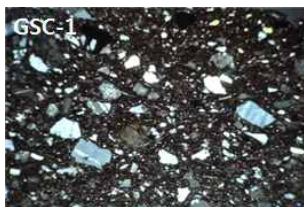
<그림 7> 신 벽돌과(GSC-1) 구 벽돌의(GSC-2 ~ 7) 미세조직.

2) 편광현미경 관찰결과

칠곡가실성당에 사용된 구 벽돌과 신 벽돌의 주요 구성광물의 형태를 알아보기 위하여 시편을 연마하여 박편을 제작하여 편광현미경으로 관찰하였다 <그림 8>.

구 벽돌과 신 벽돌은 공통적으로 비교적 조립물질의 양이 많으며 분급도는 대체로 중간 내지 불량하다. 이들 조립물질들은 아각상 내지 아원형으로 낮은 구형도에서 높은 구형도까지 다양하게 산출된다.

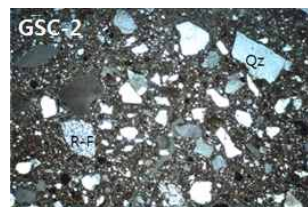
편광현미경 관찰에 의하면 조립물질은 석영(Qz), 암편(R-F), 사장석(Pl), 알칼리장석(A-F), 산화광물(O-M)과 불투명광물(Opm) 등이다. 이를 토대로 벽돌의 조립물질은 원마도와 구형도 등으로 볼 때 대부분 풍화토를 사용한 것으로 판단된다.



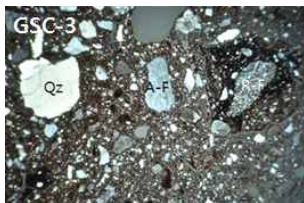
cross nicole, ×40



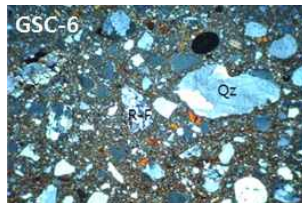
open nicole, ×40



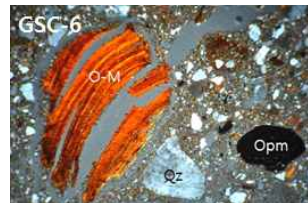
cross nicole, ×40



cross nicole, ×40



cross nicole, ×40

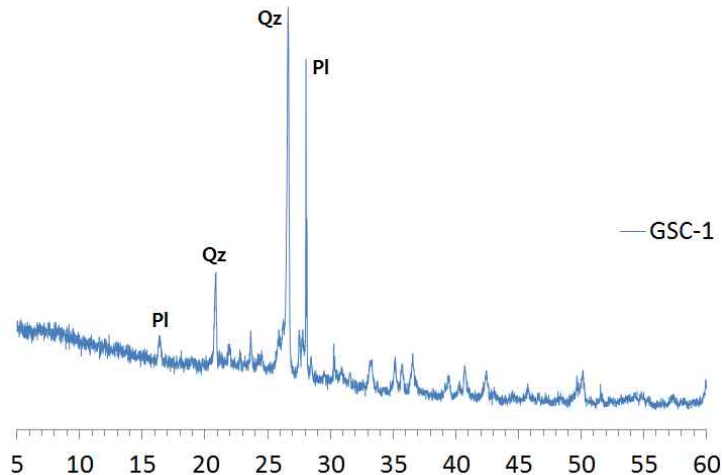


cross nicole, ×40

<그림 8> 편광현미경 상으로 관찰된 광물성분 (Qz: 석영, R-F: 암편).

3) X-선 회절분석 결과

선정한 신 벽돌 GCS-1과 구 벽돌 GSC-2 - GSC-7에 대해서 X-선 회절분석(XRD)을 실시하였으며, 동정된 광물들을 비교분석하였다.

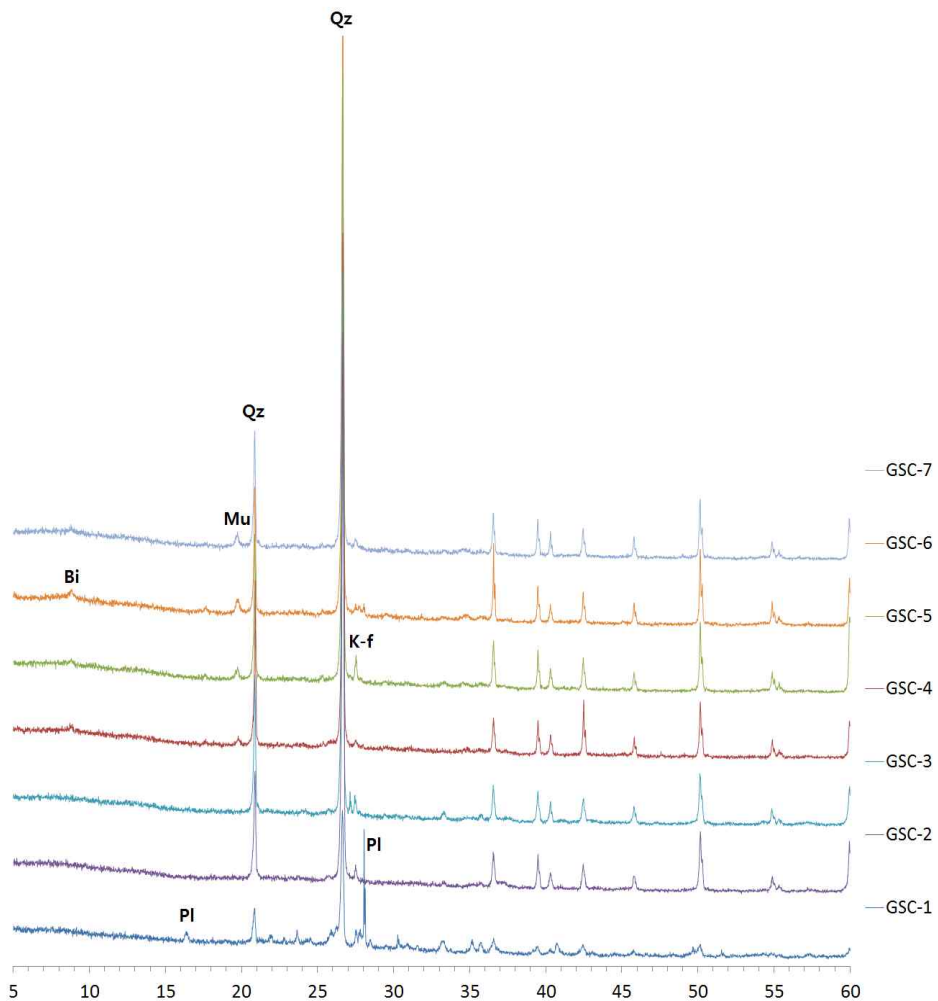


<그림 9> 신 벽돌(GSC-1)의 X-선 회절패턴.

모든 벽돌의 구성광물은 매우 단순하다. 석영이 (quartz) 주성분으로 검출되었으며, 그 외에 사장석 (plagioclase), 정장석 (K-feldspar), 흑운모 (biotite)와 백운모가 (muscovite) 소량 또는 미량 함유되어 있는 것으로 나왔다. 구성광물의 종류에서는 신 벽돌이나 구 벽돌은 큰 차이가 없으나 함유량에 있어서는 차이를 보인다. 신 벽돌인 GSC-1에서는 구 벽돌 보다 현저히 많은 양의 사장석이 검출되었다 <그림 9>.

약화된 구 벽돌을 강화처리하여 재사용할 수 있는가를 판단하기 위해서 살펴보아야 할 중요한 부분은 구 벽돌의 팽윤성 점토광물 함유 유무이다. 스멕타이트나 몬모릴로나이트와 같은 팽윤성 점토광물이 함유되어 있는 경우, 주입된 ethyl silicate 계열 강화제에 의해 점토광물 층간에서 팽윤이 발생하기 때문에 벽돌이 강화제에 의해 강화되었다 하더라도 시간이

지남에 따라 강화제의 효능이 약해지면서 강화제에 의해 팽윤되었던 광물 층간이 다시 수축되며 이로 인해 광물의 풍화가 더 심해지기 때문이다. 다행이도 신 벽돌과 구 벽돌에서 팽윤성 점토광물은 검출되지 않았다 <그림 10>.



<그림 10> 구 벽돌과 신 벽돌의 X-선 회절패턴 비교.
(Qz: 석영, Bi: 흑운모, Pl: 사장석, Mu: 백운모, K-f: 정장석)

(3) 벽돌시편의 물성

1) 색도

벽돌의 색도는 벽돌 전체를 구성하는 광물들의 종류와 소성될 당시의 가마 속 내부 산소의 유무에 따라 영향을 받으며 보통 적갈색에서 갈색, 흑갈색을 띄게 된다. 벽돌이 제작될 당시에는 색상이 어떠했을지는 확실하게 알 수는 없으나 벽돌이 외부 환경에 노출되면서 그 영향으로 열화 및 풍화가 진행됨에 따라 색이 변화될 수도 있다.

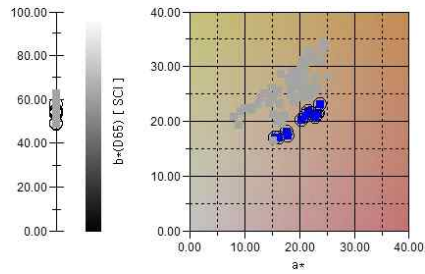
구 벽돌의 표면과 단면 내부의 객관적 색도를 구축하기 위해 색도계로 측정하였다 <표 4>, <그림 11>.

측정결과, 칠곡가실성당 사제관의 보수에 사용된 신 벽돌 GSC-1의 명도 L^* 은 48.64 - 57.74 (평균 51.76), 적녹색도 a^* 는 15.60 - 23.73 (평균 20.47)이며, 황청색도 b^* 는 16.89 - 22.98 (평균 20.00)이다. 구 벽돌 GSC-2~ GSC-7의 색도범위는 신 벽돌에 비해 넓다. 명도 L^* 은 48.62 - 62.54 (평균 56.48), 적녹색도 a^* 는 8.08 - 25.28 (평균 18.71)이며, 황청색도 b^* 는 16.41 - 34.26 (평균 26.43)이다. 신 벽돌과 구 벽돌의 명도는 큰 차이가 없으나 적색도는 평균적으로 구 벽돌이 약간 낮으며, 황색도는 구 벽돌이 높은 편이다.

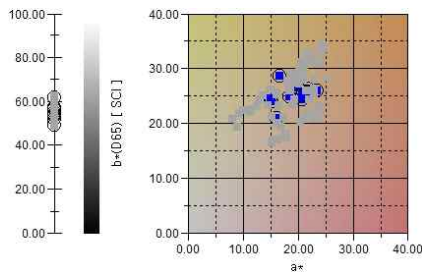
구 벽돌 자체의 색도도 중요하지만 본 연구에서는 색도가 나타내는 의미는 다른 데서 더 크다. 보통 강화처리 후 부재에서 색도의 변화가 나타나는데 그 정도가 어떤지를 살펴보는 것이다. 강화처리 전·후 큰 색차는 전체적인 건축물의 느낌을 변화시키기 때문에 이를 객관적으로 표현할 수 있는 자료가 상당히 중요하다.

<표 4> 벽돌 부재의 색도 (L*a*b*).

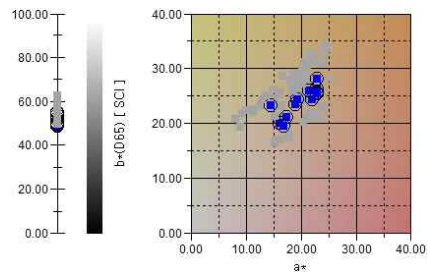
부재	시료번호	측정값 기준	L*(명도)	a*(적녹색도)	b*(황청색도)
신 벽돌	GSC-1	최소	48.64	15.60	16.89
		최대	57.74	23.73	22.98
		평균	51.76	20.47	20.00
구 벽돌	GSC-2	최소	49.26	15.04	20.89
		최대	61.62	23.43	28.50
		평균	54.84	19.19	25.15
	GSC-3	최소	48.62	14.55	19.51
		최대	54.72	22.95	27.97
		평균	51.12	19.82	23.92
	GSC-4	최소	56.39	8.08	16.41
		최대	61.73	16.34	25.98
		평균	59.24	12.03	22.19
	GSC-5	최소	54.14	16.08	23.09
		최대	62.54	23.93	31.47
		평균	59.32	19.65	28.24
	GSC-6	최소	53.89	18.03	25.85
		최대	61.76	22.06	32.94
		평균	58.06	19.65	29.26
	GSC-7	최소	49.59	15.17	21.17
		최대	61.55	25.28	34.26
		평균	56.28	21.90	29.82



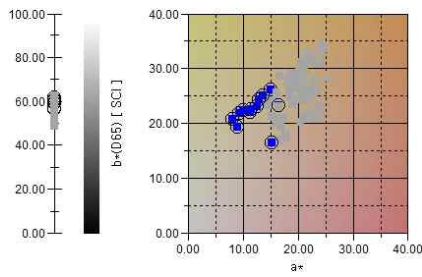
GSC-1



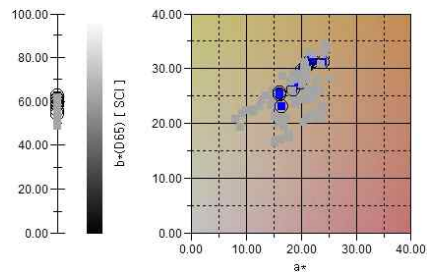
GSC-2



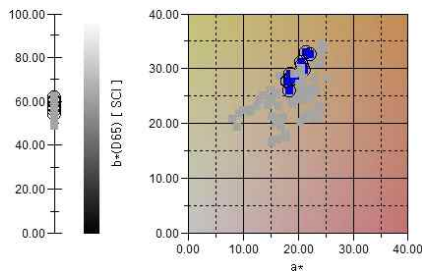
GSC-3



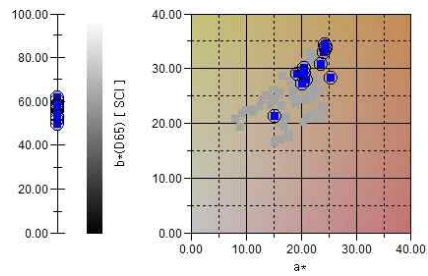
GSC-4



GSC-5



GSC-6



GSC-7

<그림 11> 칠곡가실성당 벽돌시료의 색좌표($L^*a^*b^*$).

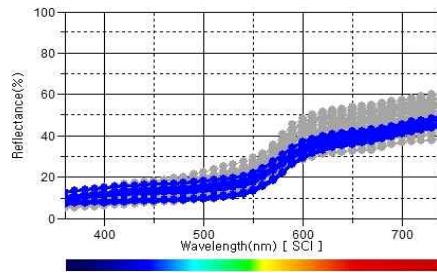
<표 5>는 측정된 색좌표로부터 표현된 근사색으로 신 벽돌이 구 벽돌에 비해 적색도가 높아 보이나 큰 차이는 없다.

<표 5> 칠곡가실성당 벽돌시료의 색좌표에 의한 근사색 (pseudo color).

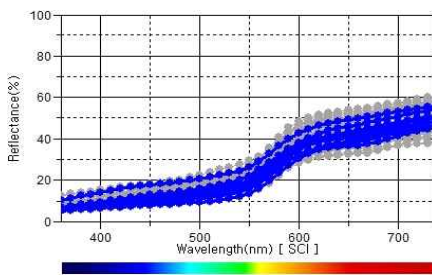
부재번호	근사색	부재번호	근사색
GSC-1		GSC-2	
GSC-3		GSC-4	
GSC-5		GSC-6	
GSC-7			

<그림 12>는 벽돌이 보인 분광반사도로서 모든 구 벽돌의 반사양상이 약간의 차이는 있으나 유사하다. 파장 550nm 부근에서 급격한 상승을 보이며 600nm에서부터 완만한 평행선을 그리는 것은 전형적으로 산화염¹⁸⁾ 분위기에서 소성된 소성체의 반사특성이다.

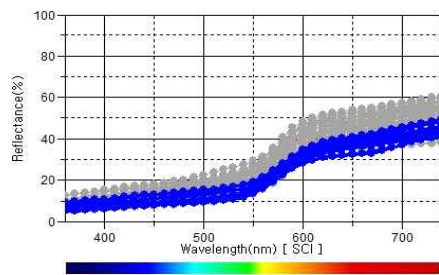
18) 벽돌이나 토기류 등을 굽는 가마 안에 장작 등을 적당한 양을 넣어 내부에 산소가 부족하지 않게 하는 방법으로 소성하는 것.



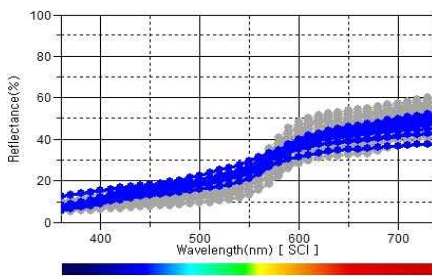
GSC-1



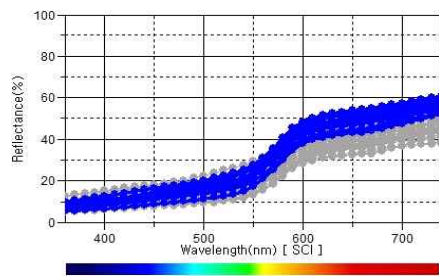
GSC-2



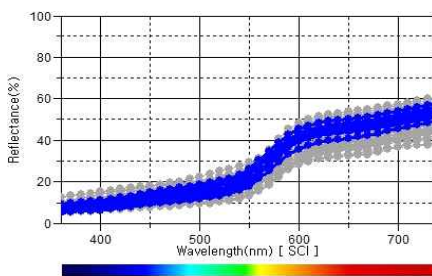
GSC-3



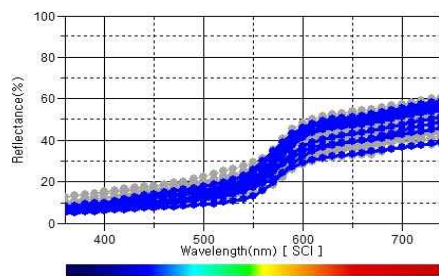
GSC-4



GSC-5



GSC-6



GSC-7

<그림 12> 칠곡가실성당 벽돌시료의 분광반사도.

2) 흡수율, 공극, 밀도

구 벽돌의 흡수율, 공극, 밀도 측정을 위해 부분적으로 시료를 채취하였다. 각 시료들의 분석결과를 아래의 <표 6>에 나타냈다.

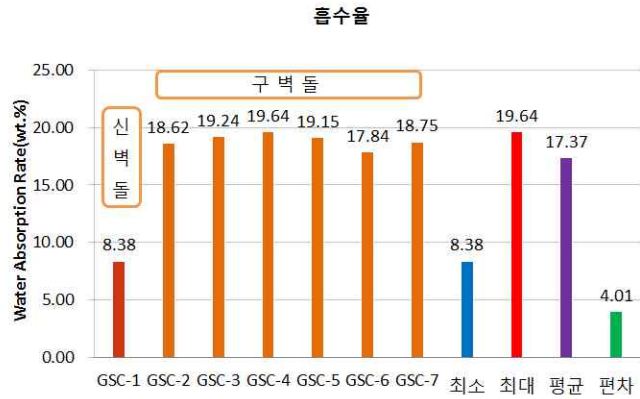
벽돌의 흡수율은 8.38 - 19.64 wt. %이며 평균 17.37 wt. %로 나타났다. 신 벽돌인 GSC-1의 흡수율은 8.38 wt. %, 공극율은 19.38 vol. %로 나타났으며, 밀도는 2.05 g/cm³로 구 벽돌과 현저한 차이를 보였다.

구 벽돌의 흡수율은 17.84 - 19.64 wt. %, 공극율은 33.09 - 36.26 vol. %, 밀도는 1.71 - 1.76 g/cm³로 나타났다. 신 벽돌의 흡수율은 구 벽돌에 비해 현저히 낮고, 공극율 또한 많이 낮으며 밀도는 구 벽돌보다 약간 높은 2.05 g/cm³로 나타났다.

신 벽돌과 구 벽돌 사이의 밀도를 제외한 이러한 큰 차이는 구 벽돌의 풍화상태에서 기인된 것도 무시할 수 없겠지만, 신 벽돌 GSC-1은 현대적인 방법으로 제작된 반면 구 벽돌은 수제작된 것이 근본적인 이유라 할 수 있다 <그림 13>.

<표 6> 벽돌시료의 흡수율, 공극율, 밀도 결과표.

부재	시료번호	흡수율 (wt. %)	공극율 (vol. %)	밀도 (g/cm ³)
신 벽돌	GSC-1	8.38	19.38	2.05
구 벽돌	GSC-2	18.62	33.93	1.76
	GSC-3	19.24	35.85	1.72
	GSC-4	19.64	36.26	1.71
	GSC-5	19.15	34.55	1.75
	GSC-6	17.84	33.09	1.75
	GSC-7	18.75	33.83	1.74
	최소	8.38	19.38	1.71
	최대	19.64	36.26	2.05
	평균	17.37	32.41	1.78
	편차	4.01	5.86	0.12



<그림 13> 벽돌시료의 흡수율, 공극율, 밀도.

3) 모세관흡수율

다양한 환경적 요인에 의해 풍화되어 강도가 약해진 벽돌은 손상되는 과정에서 표면에서부터 내부로까지 미세한 균열과 공극이 형성되며, 이는 벽돌 내부로 수분이 침투하기 쉬운 경로가 된다. 따라서 수분이 내부에 침투하는 정도를 파악하기 위하여 모세관흡수율을 측정하였다 <그림 14>.

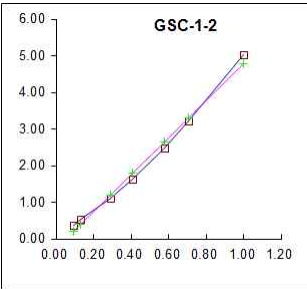
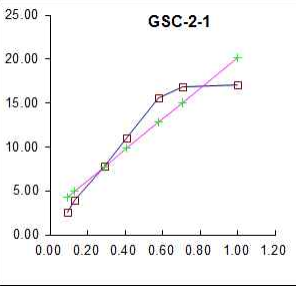
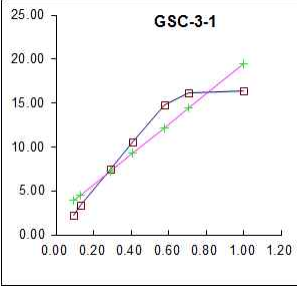
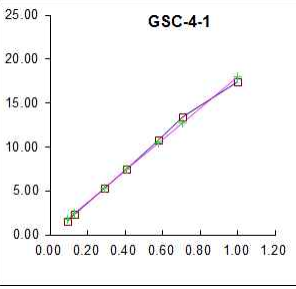
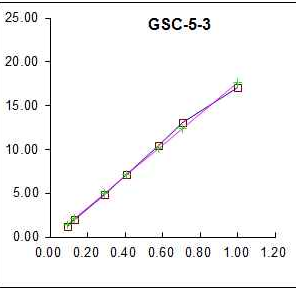
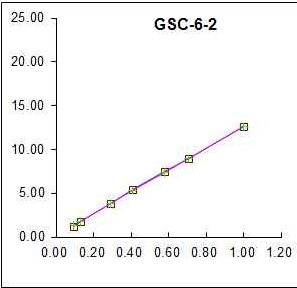
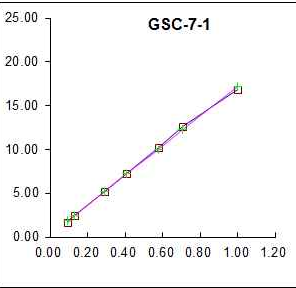
신 벽돌 GSC-1은 시간이 지남에 따라 흡수율이 가파르게 상승하나 흡수량은 매우 적었고, 구 벽돌 GSC-2와 GSC-3은 초기부터 다량의 흡수량을 보이면서 가파른 상승을 이루다가 300초 경과 후에는 상승이 차츰 줄어드는 양상을 보였다. 구 벽돌 GSC-4, GSC-5, GSC-6, GSC-7은 1시간이 경과될 때 까지도 일정한 각도로 상승하는 모습을 보였다 <표 7>.

풍화된 구 벽돌뿐만 아니라 새로 제작된 신 벽돌의 모세관흡수율 또한 상당히 높은 값을 보인다. 신 벽돌은 벽돌표면 m^2 당 4.73 - 5.40kg, 구 벽돌은 m^2 당 16 - 19kg을 흡수하는 것으로 측정되었다. 이 값은 암석부재에 비해 현저히 높은 값으로 (화강암 기준으로 대부분 신선한 암석 0.1 이하, 풍화암 1 이하) 구 벽돌의 경우 우수를 직접 접하였을 때 벽돌 내부까지도 완전히 젖는 정도를 의미한다.



<그림 14> 모세관흡수율 측정과정.

<표 7> 벽돌시료의 모세관흡수율 (ω ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$)).

	 GSC-1 : 4.73 - 5.40	
 GSC-2 : 16.75 - 17.84	 GSC-3 : 16.38 - 17.26	 GSC-4 : 17.65 - 18.03
 GSC-5 : 17.56 - 19.28	 GSC-6 : 12.08 - 13.60	 GSC-7 : 15.97 - 17.36

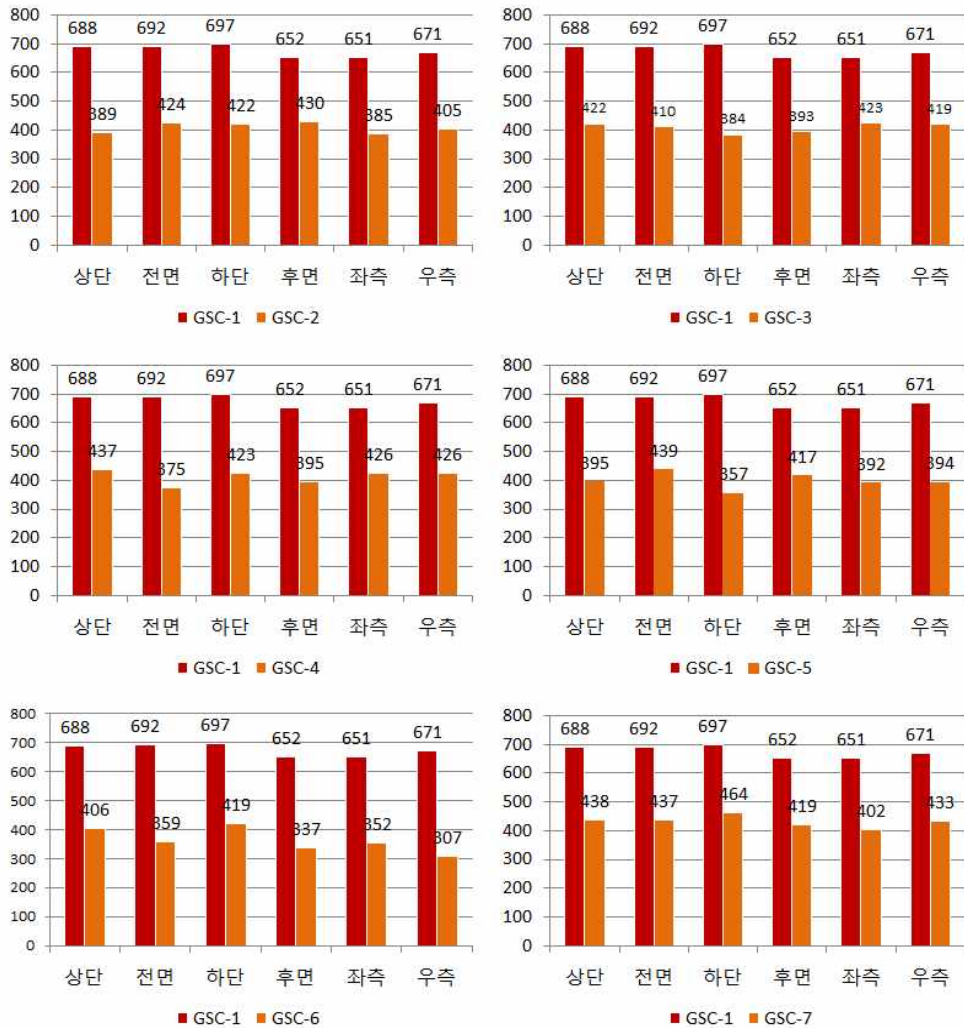
4) 경도

Equotip을 이용한 벽돌시료의 표면 경도측정 결과를 아래의 <표 8>에 나타내었다.

신 벽돌(GSC-1)의 반발경도는 평균 651 - 697 (HLD)로 나타나 상당히 단단한 상태라는 것을 확인할 수 있었다. 반면 구 벽돌의 반발경도는 평균 307 - 464 (HLD)로 나타나 신 벽돌에 비해 현저히 낮은 값을 보였다 <그림 15>.

<표 8> 벽돌시료의 표면경도 (HLD).

부재	시료번호	측정값 기준	상단	전면	하단	후면	좌측	우측
신 벽돌	GSC-1	최소	667	634	672	603	619	623
		최대	706	728	718	681	682	726
		평균	688	692	697	652	651	671
구 벽돌	GSC-2	최소	329	375	357	407	359	387
		최대	420	455	481	469	416	427
		평균	389	424	422	430	385	405
	GSC-3	최소	379	372	309	314	330	379
		최대	444	466	473	477	484	478
		평균	422	410	384	393	423	419
	GSC-4	최소	384	358	340	360	413	410
		최대	476	389	475	422	447	456
		평균	437	375	423	395	426	426
	GSC-5	최소	343	410	330	359	301	330
		최대	428	497	395	473	451	432
		평균	395	439	357	417	392	394
	GSC-6	최소	362	323	407	300	340	278
		최대	466	410	426	359	367	327
		평균	406	359	419	337	352	307
	GSC-7	최소	412	422	437	369	393	422
		최대	481	451	504	475	413	450
		평균	438	437	464	419	402	433



<그림 15> 벽돌시료의 평균경도 (HLD)

5) 벽돌의 강도

(a) 초음파속도에 의한 추정압축강도 (비파괴법)

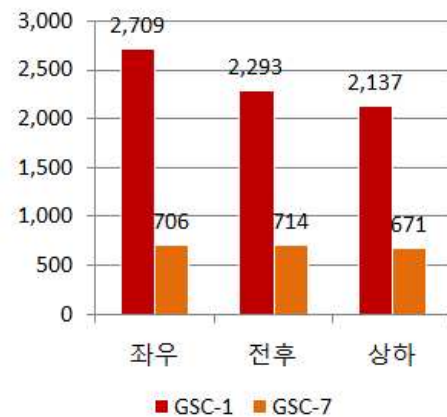
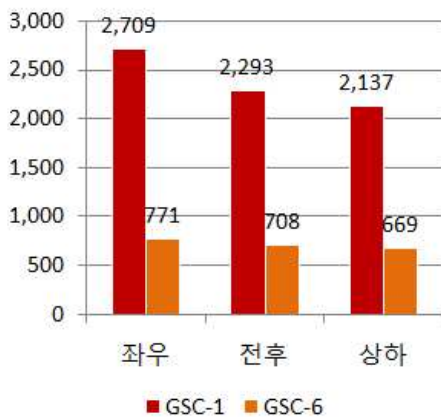
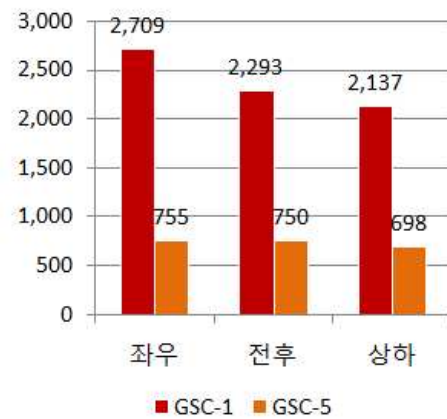
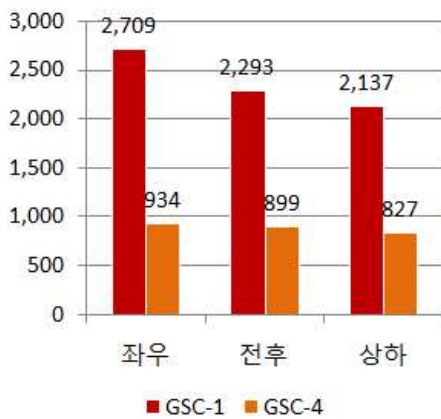
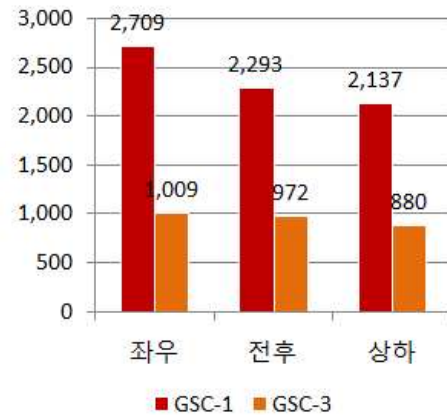
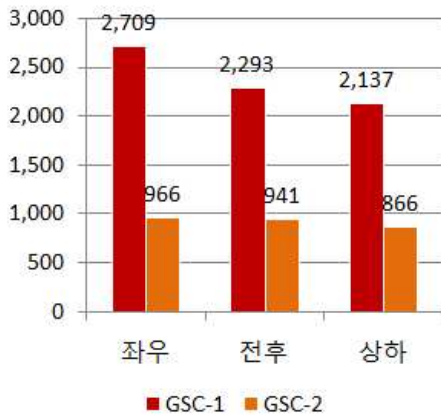
벽돌의 좌우, 전후, 상하면의 초음파속도를 측정하여 평균값을 아래의 표와 그래프로 나타냈다 <표 9>, <그림 16>.

신 벽돌인 GSC-1의 초음파속도는 평균 2,137 - 2,709m/s로 나타났다. 반면 구 벽돌의 평균 초음파속도는 669 - 1,009m/s로 신 벽돌에 비해 현저히 낮기도 하지만 그 자체로서도 상당히 낮은 결과를 보였다. 이들 구 벽돌에 대해 육안관찰과 실체현미경 관찰에서 내부에 공극과 균열이 다수 확인되었기 때문에 이미 이러한 결과는 예상되었다.

GSC-2와 GSC-3의 최대 초음파속도는 각각 1,076m/s, 1,136m/s로 다른 구 벽돌보다 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 벽돌 내부에 발생한 미세 균열과 공극의 분포양상에 따른 차이에 의한 결과로 해석된다.

<표 9> 벽돌시료의 초음파속도 측정결과 (m/s).

부재	시료번호	측정값 기준	좌우	전후	상하
신 벽돌	GSC-1	최소	2,693	2,220	2,077
		최대	2,721	2,368	2,182
		평균	2,709	2,293	2,137
구 벽돌	GSC-2	최소	891	902	819
		최대	1,076	972	953
		평균	966	941	866
	GSC-3	최소	903	890	850
		최대	1,136	1,045	924
		평균	1,009	972	880
	GSC-4	최소	904	876	803
		최대	968	935	840
		평균	934	899	827
	GSC-5	최소	708	723	675
		최대	793	771	716
		평균	755	750	698
	GSC-6	최소	745	542	654
		최대	785	832	686
		평균	771	708	669
	GSC-7	최소	702	691	641
		최대	713	758	715
		평균	706	714	671



<그림 16> 신 벽돌과 처리 전 구 벽돌의 평균 초음파속도 (m/s) 그래프.

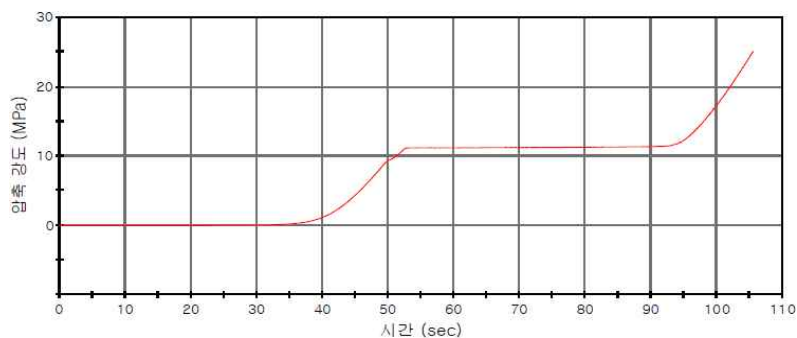
(b) 파쇄법에 의한 압축강도

만능기계로 시편이 파쇄될 때 까지 주어진 압력으로 측정된 압축강도는 신 벽돌 GSC-1이 25 Mpa 이상으로 나타난 반면 구 벽돌은 1.23 - 7.29 Mpa로 신 벽돌에 비해 현저히 낮게 측정되었다 <표 10>.

하단에 해당 압축강도에 대해 최대한 저항하는 시간을 그래프를 통해 확인해본 결과 최대압축강도에 도달했을 시점을 기준으로 구 벽돌의 압축강도는 바로 하락하는 양상으로 나타난다 <그림 17>.

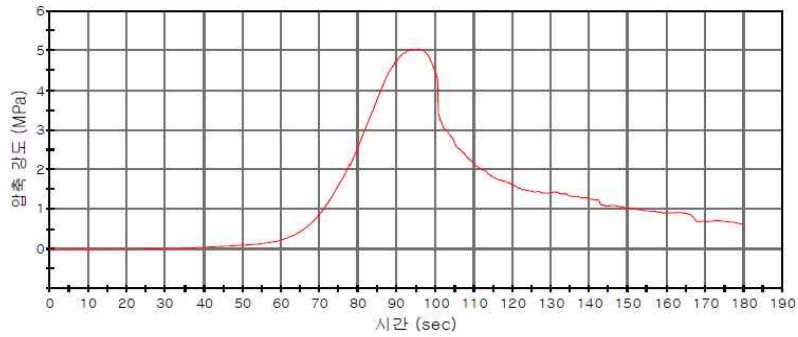
<표 10> 강화처리 전 측정된 압축강도 결과 (Mpa).

부재	시료번호	압축강도 (Mpa)
신 벽돌	GSC-1	>25
구 벽돌	GSC-2	5.04
	GSC-3	5.66
	GSC-4	7.29
	GSC-5	3.25
	GSC-6	1.23
	GSC-7	4.03



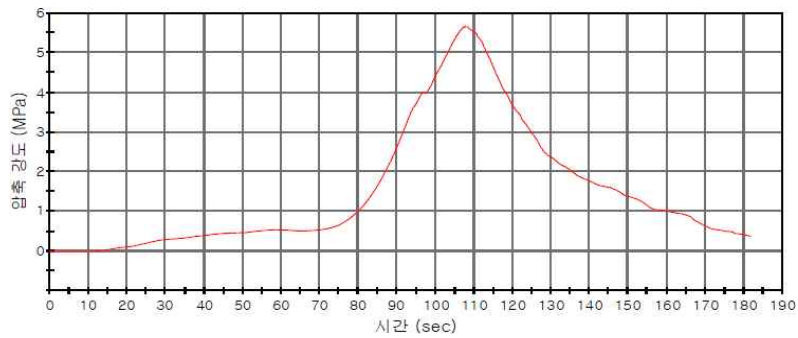
<그림 17(a)> GSC-1의 압축강도 그래프.

신 벽돌 GSC-1은 105초(sec)에 최대압축강도 25Mpa로 측정되었다.



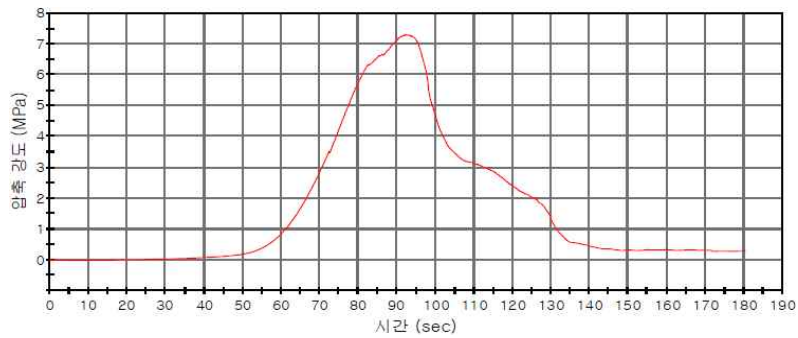
<그림 17(b)> GSC-2의 압축강도 그래프.

GSC-2는 95초(sec)에 최대압축강도 5.04Mpa로 측정되었다.



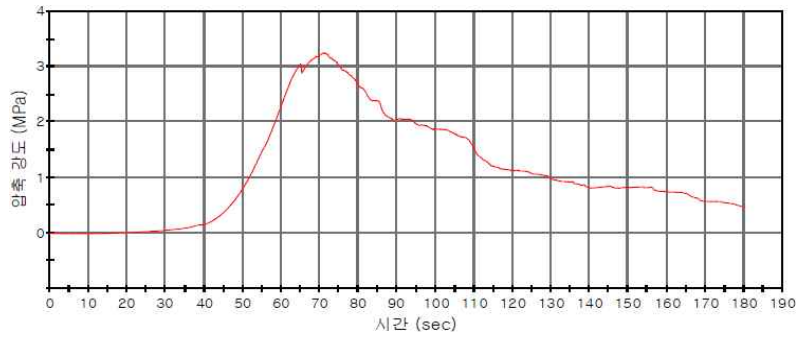
<그림 17(c)> GSC-3의 압축강도 그래프.

GSC-3은 105초(sec)에 최대압축강도 5.66Mpa로 측정되었다.



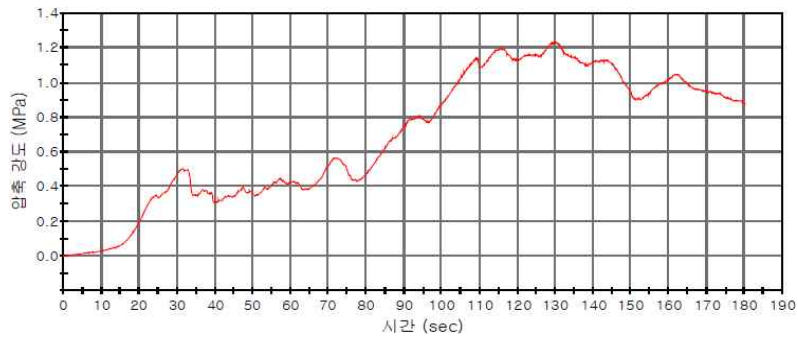
<그림 17(d)> GSC-4의 압축강도 그래프.

GSC-4는 90초(sec)에 최대압축강도가 7.29Mpa로 측정되었다.



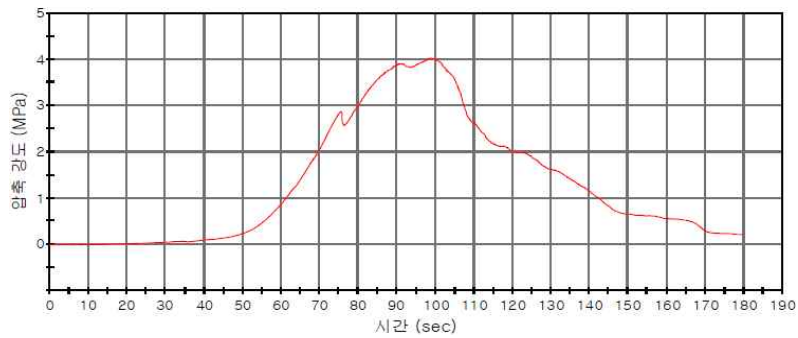
<그림 17(e)> GSC-5의 압축강도 그래프.

GSC-5는 70초(sec)에 최대압축강도가 3.25Mpa로 측정되었다.



<그림 17(f)> GSC-6의 압축강도 그래프.

GSC-6은 130초(sec)에 최대압축강도가 1.23Mpa로 측정되었다.



<그림 17(g)> GSC-7의 압축강도 그래프.

GSC-7은 100초(sec)에 최대압축강도가 4.03Mpa로 측정되었다.

2. 강화처리 후 벽돌의 특성변화

(1) 강화제 적용방법 및 처리과정

X-선 회절분석을 통해 구 벽돌이 팽윤성 점토광물을 함유하지 않음을 확인한 후, 시료를 105℃에서 24시간 건조하여 수분을 완전히 증발시켰다. 신 벽돌을 제외한 구 벽돌을 ethyl silicate 계열 강화제인 Wacker社의 Silres BS OH 100으로 강화처리를 실시하였다 <그림 18>. 벽돌을 강화제에 침적시킨 후 3분간 진공함침을 실시하는 과정을 3일 간격으로 1회, 총 3회 실시하였다.



<그림 18> 강화제에 침적한 구 벽돌(좌)과 진공함침 과정(우).

강화처리 후의 중량변화를 <표 11>에 나타냈다. 약품처리가 완료된 후 공기 중에서 3주 동안 양생시키면서 3일 - 6일 간격으로 구 벽돌의 중량변화를 측정하였다 <표 12>.

강화처리 된 구 벽돌의 무게는 처음의 23% 정도까지 증가하였으나, 양생이 되면서 점차 무게는 줄었으며 4주 후에는 최종적으로 13.6 - 16.8%의 무게 증가율을 보였다. 즉, 강화제가 주입되어 벽돌 내부에서 겔로서 형성된 무게가 상당함을 의미하며, 벽돌 자체의 높은 흡수율을 감안하였을 때 강화제의 주입은 벽돌의 내부까지도 이루어진 것으로 보인다.

<표 11> 3회 강화처리 과정 중의 증량변화.

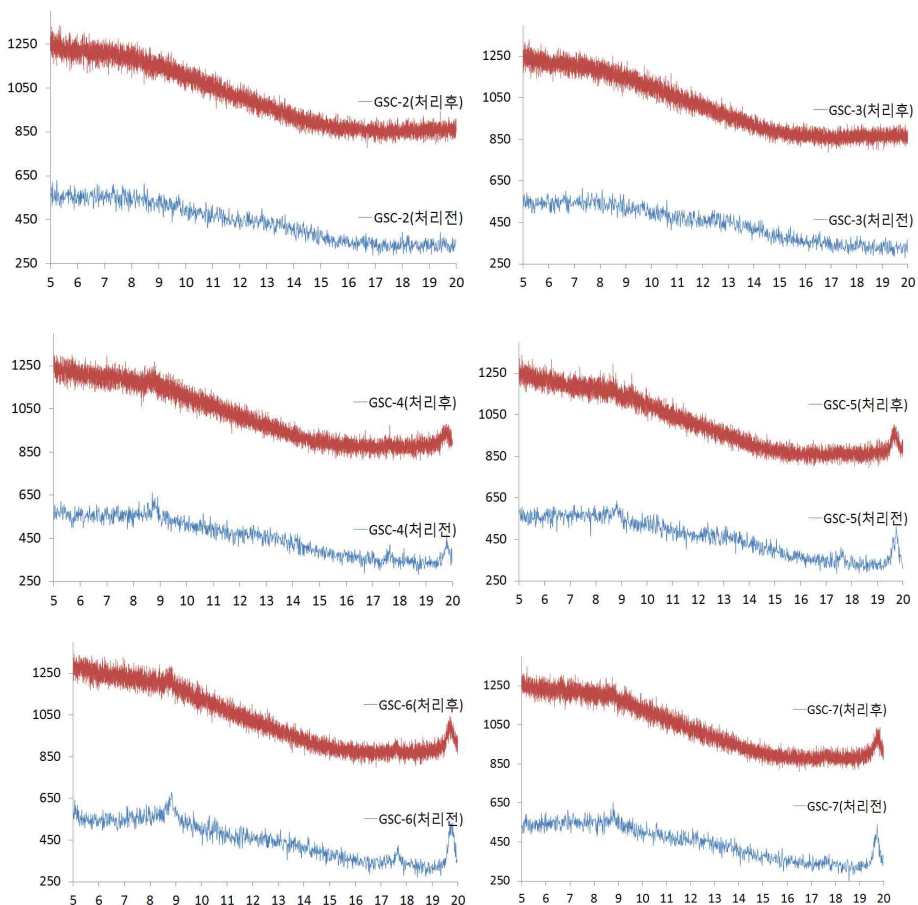
부재	시료번호	측정값 기준	처리 전 (g)	처리 후 (g)			증가율 (%)
				1차	2차	3차	
신 벽돌	GSC-1	최소	389.33	강화처리 안함			
		최대	431.77				
구 벽돌	GSC-2	최소	327.24	392.33	398.57	400.23	22.30
		최대	359.07	429.29	438.25	441.09	23.07
	GSC-3	최소	356.20	423.93	430.69	432.11	21.31
		최대	365.22	437.38	444.22	445.79	22.28
	GSC-4	최소	348.36	395.14	415.58	424.68	21.90
		최대	350.43	402.69	426.17	428.19	22.81
	GSC-5	최소	342.36	391.56	418.75	421.41	20.28
		최대	362.45	422.31	431.81	435.96	23.09
	GSC-6	최소	320.43	351.48	372.59	381.82	19.16
		최대	350.54	393.44	415.09	423.81	20.90
	GSC-7	최소	321.20	376.80	383.26	387.75	20.72
		최대	354.53	417.92	437.06	438.48	23.68

<표 12> 강화처리 후 최종 증량변화.

부재	시료번호	측정값	3차 처리 후(g)	4주 양생 후(g)	최종 증가율(%)
신 벽돌	GSC-1	최소	강화처리 안함		
		최대			
구 벽돌	GSC-2	최소	400.23	373.18	14.2
		최대	441.09	409.88	14.0
	GSC-3	최소	432.11	404.55	13.6
		최대	445.79	417.86	14.6
	GSC-4	최소	424.68	403.92	15.9
		최대	428.19	407.29	16.2
	GSC-5	최소	421.41	399.85	14.5
		최대	435.96	415.01	16.8
	GSC-6	최소	381.82	364.92	13.9
		최대	423.81	403.96	15.2
	GSC-7	최소	387.75	367.40	14.4
		최대	438.48	412.38	16.3

앞서 신 벽돌과 구 벽돌의 구성광물에 팽윤성 점토광물이 함유되어 있지 않음을 X-선 회절분석으로 살펴본 바 있다. 확인 차원에서 강화처리된 구 벽돌이 강화제로 인한 광물 변화, 특히 점토광물의 팽윤이 발생하는가를 살펴보았다.

강화처리된 구 벽돌에서도 팽윤성 점토광물이 검출되지 않아 원광물이 강화처리에 의한 변화가 없었으며, 이에 따라 X-선 회절분석 패턴의 변동이 나타나지 않았다 <그림 19>. 즉, 강화처리로 인해 벽돌이 함유하는 광물에서 광물간의 팽창이나 수축이 발생되지 않았음을 잘 알 수 있다.



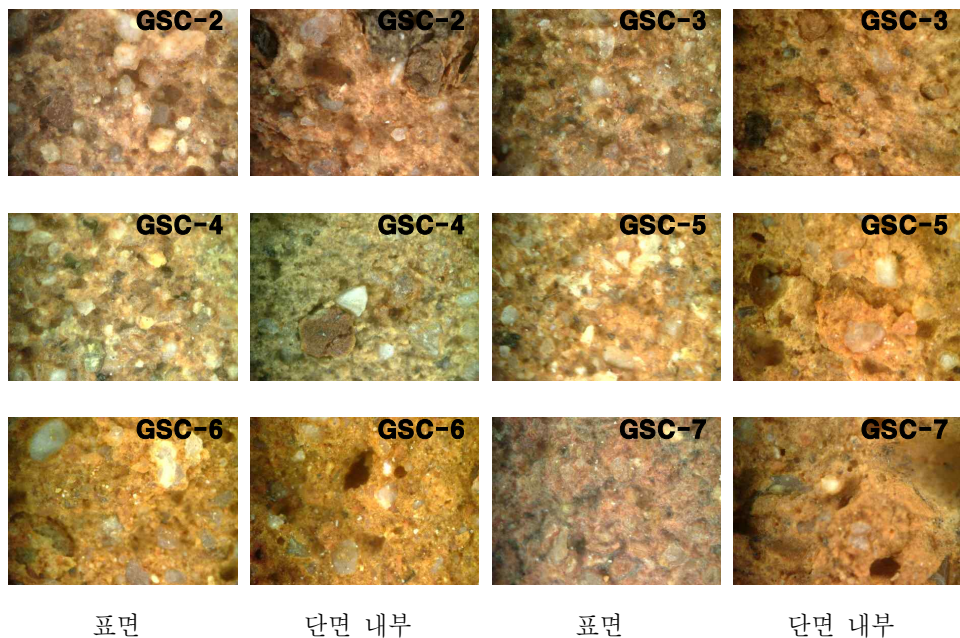
<그림 19> 강화처리 후 구 벽돌(GSC-2 ~ GSC-6)의 X-선 회절패턴.

(2) 강화처리 후 벽돌 표면의 조직

1) 실체현미경 관찰 결과

강화처리가 완료된 구 벽돌 GSC-2 - GSC-7의 표면을 처리 전과 비교하기 위해 실체현미경으로 우선 관찰하였다.

약 4주간 양생된 벽돌의 표면에서는 큰 공극을 제외한 미세공극들이 줄어들었음이 관찰되었다. 미세공극은 강화제가 양생된 겔로 채워졌으며 투명한 막이 형성되어 있음을 확인하였다 <그림 20>.

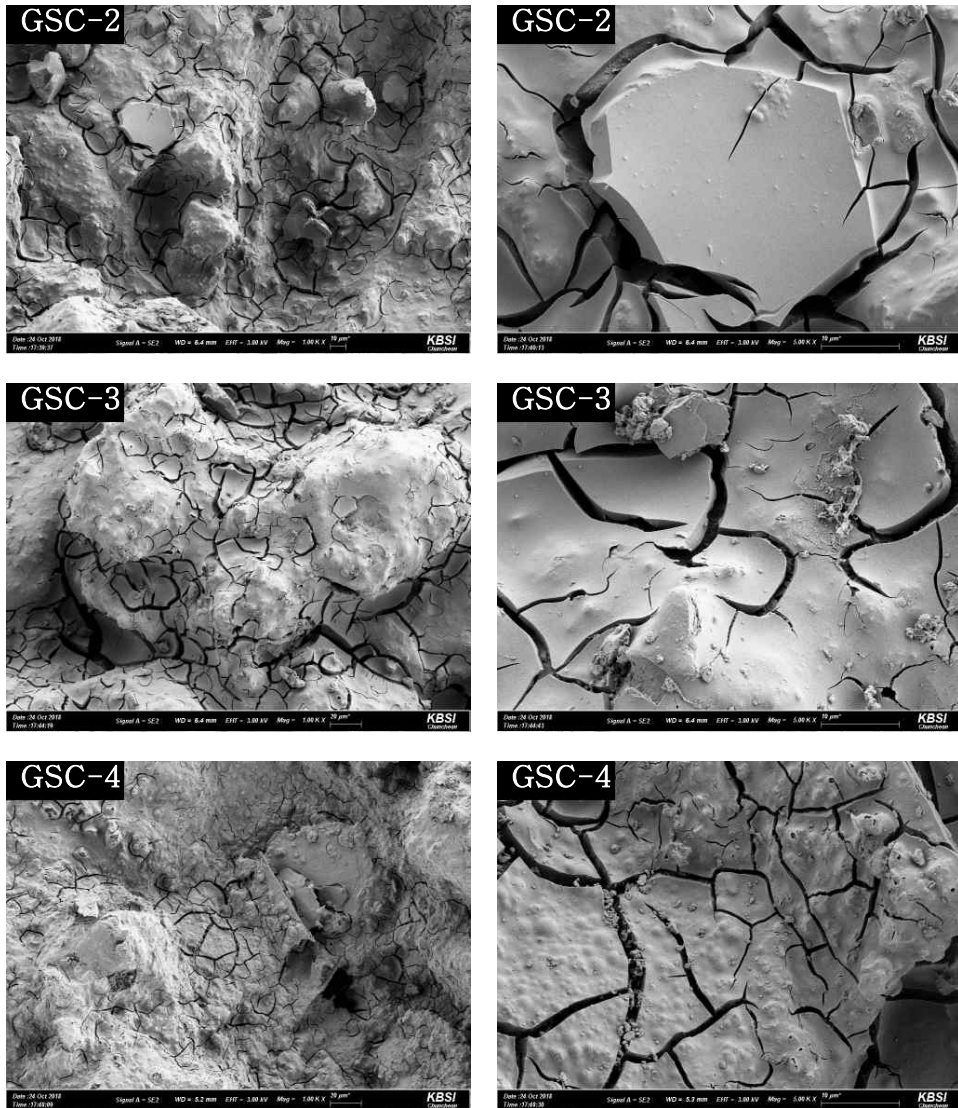


<그림 20> 강화처리 후 구 벽돌의 실체현미경 하 미세조직.

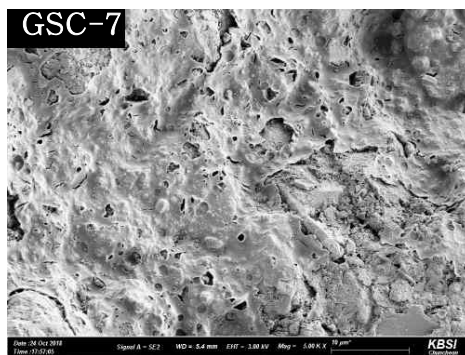
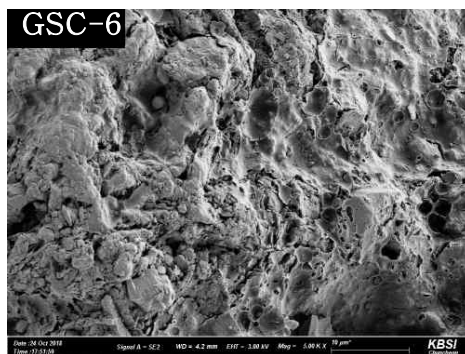
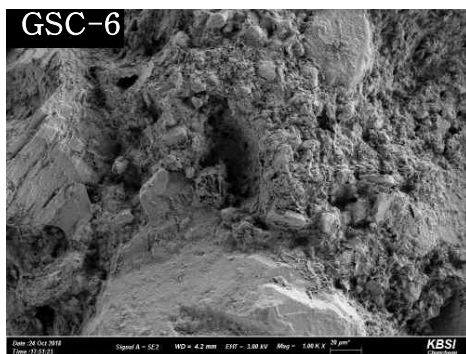
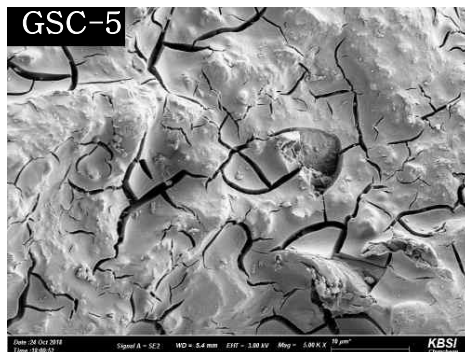
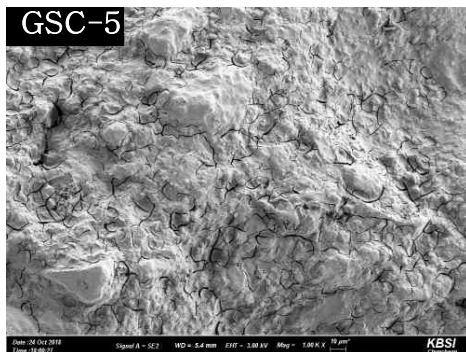
2) 전자현미경 관찰 결과

좀 더 미세한 상태를 확인하기 위해 한국기초과학지원연구원(KBSI) 춘천분원에 의뢰하여 주사전자현미경(SEM, Supra 55vp, Karl Zeiss, 독일)으로 관찰하였다. 강화처리가 완료된 구 벽돌의 표면을 관찰하여 강화제

가 침투한 후 어떻게 양생되었는지를 확인하였다 <그림 21>.



<그림 21> 주사전자현미경 (SEM)으로 관찰한 미세조직.



<그림 21> 계속.

주사전자현미경(SEM)은 시료의 표면 위를 전자선이 주사(scanning)할 때 분석대상 시료에서 발생하는 신호들 중 발생확률이 가장 많은 이차전자(secondary electron) 또는 반사전자(back scattered electron)를 검출하

는 것으로 대상 시료를 관찰하는 방식이다.

<그림 21>의 좌측 사진은 강화처리된 구 벽돌 내부에 ethyl silicate가 양생된 겔에 약간의 균열이 발생된 모습을 보여준다. 우측 사진은 좌측 사진을 더욱 확대하여 관찰한 모습으로 겔에 미세한 균열의 양상이 뚜렷하게 관찰된다, 이는 양생 과정 중에 생기는 것이며, 궁극적으로 유리된 입자사이에 겔이 형성되어 입자들을 결속시키고 있음을 잘 보여준다.

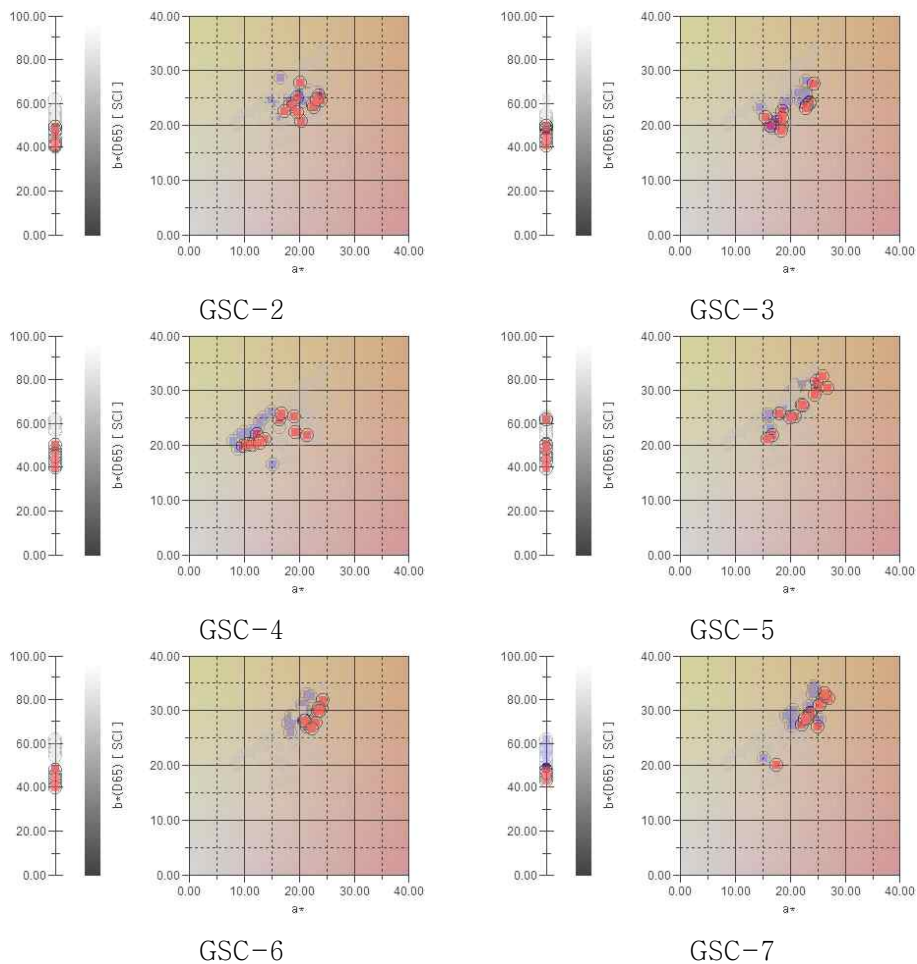
<표 13> 강화처리 후 구 벽돌의 평균색도.

부재	시료번호	측정값 기준	L*(명도)	a*(적녹색도)	b*(황청색도)
신 벽돌	GSC-1 (미처리)	최소	48.64	15.60	16.89
		최대	57.74	23.73	22.98
		평균	51.76	20.47	20.00
구 벽돌	GSC-2	최소	40.17	17.38	20.76
		최대	49.05	23.85	27.69
		평균	43.88	20.88	23.90
	GSC-3	최소	40.65	15.55	18.86
		최대	49.36	24.28	27.46
		평균	45.06	20.10	22.19
	GSC-4	최소	39.88	9.74	19.81
		최대	50.18	21.37	25.69
		평균	44.77	14.61	21.93
	GSC-5	최소	39.26	15.97	21.13
		최대	61.60	26.84	32.49
		평균	47.43	21.95	27.27
	GSC-6	최소	39.69	20.87	26.66
		최대	47.87	24.21	31.83
		평균	43.78	22.60	28.73
	GSC-7	최소	42.67	17.48	19.94
		최대	47.76	27.04	33.00
		평균	45.27	24.07	29.16

(3) 물성변화

1) 강화처리 후 색도변화

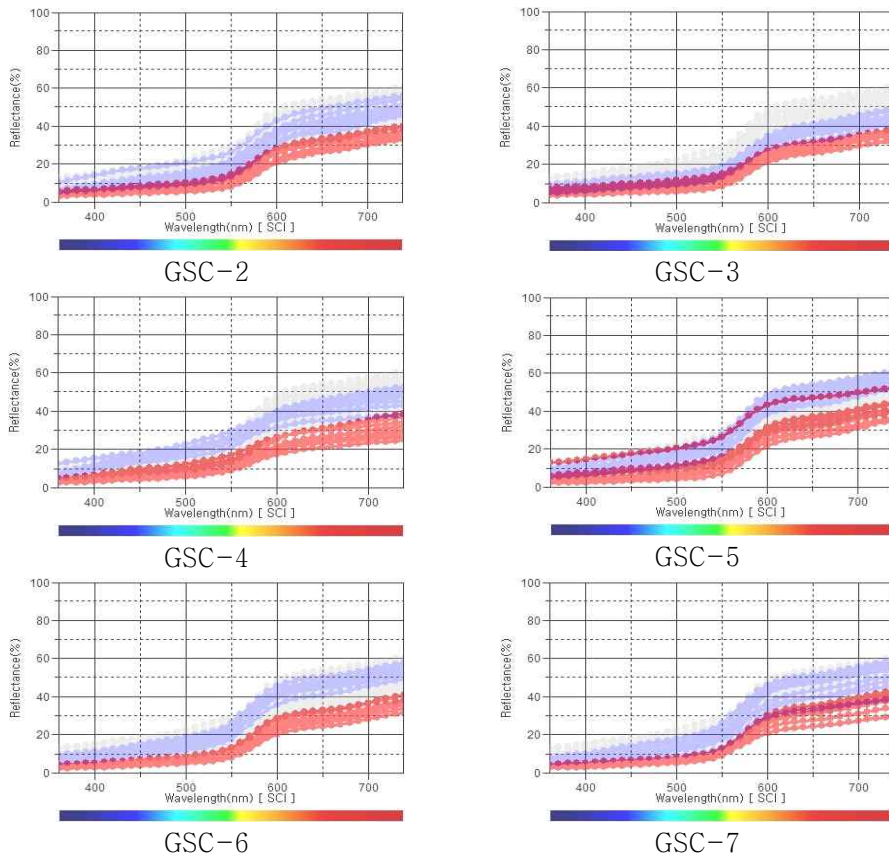
강화처리가 완료된 구 벽돌의 처리 전(청색)·후(적색)의 색상을 비교하기 위해 색도를 측정하였다. 구 벽돌은 명도인 L^* 값은 감소하여 상당히 어두워졌다. 적녹색도인 a^* 은 소폭 상승하였고, 황청색도인 b^* 값은 소폭 감소하여 황색도에서는 거의 변화가 없었다 <표 13>, <그림 22>.



<그림 22> 강화처리 후 구 벽돌의 색좌표 ($L^*a^*b^*$).

처리 후 구 벽돌의 반사양상이 약간의 차이는 있으나 대부분 유사하다. 파장 550nm 부근에서 급격한 상승을 보이며 600nm에서부터 완만함을 그리는 것은 전형적인 산화염 분위기에서 소성된 소성체의 반사특성이다.

반사율 곡선은 처리 전(청색)과 유사한 양상을 나타냈으나 처리 후(적색)에는 전체적으로 처리 전보다 반사율 값은 낮아졌다 <그림 23>.



<그림 23> 강화처리 후 구 벽돌시료의 분광반사도.

<표 14>는 강화처리 된 구 벽돌에서 측정된 색좌표로부터 표현된 근사 색으로 처리 전과 비교하면 색상이 어두워졌음을 확인할 수 있었다.

<표 14> 강화처리 후 벽돌시료의 색좌표에 의한 근사색 (pseudo color).

부재번호	근사색	부재번호	근사색
GSC-2		GSC-3	
GSC-4		GSC-5	
GSC-6		GSC-7	

2) 강화처리 후 흡수율, 공극율, 밀도

강화처리된 구 벽돌의 흡수율, 공극, 밀도 측정을 위해 시료를 채취하여 동일한 방법으로 측정하여 분석결과를 아래의 <표 15>에 나타냈다.

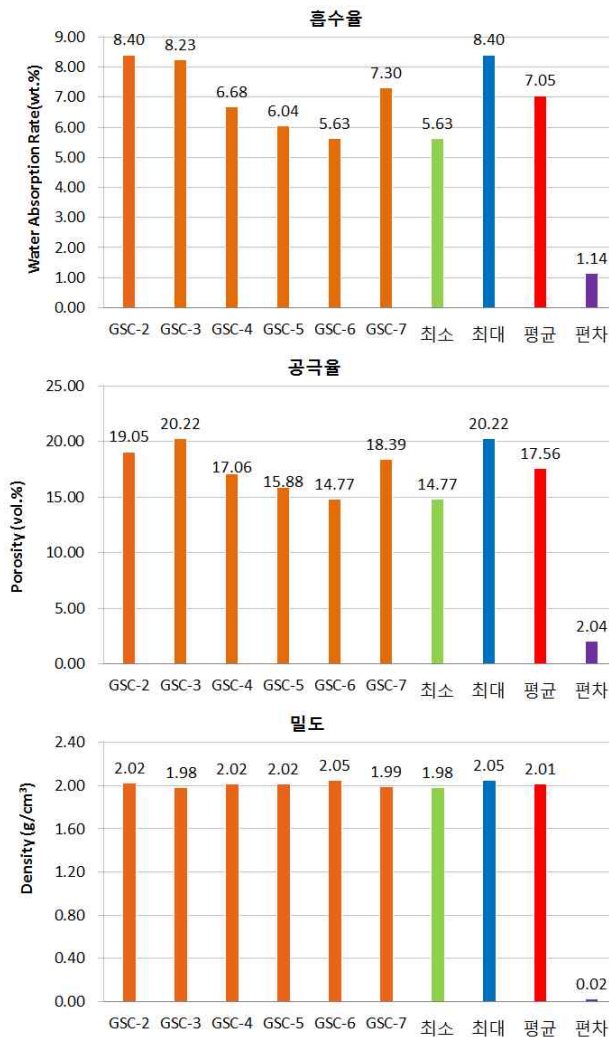
<표 15> 강화처리 후 구 벽돌의 흡수율, 공극율, 밀도 결과.

부재	시료번호	흡수율 (wt. %)	공극율 (vol. %)	밀도 (g/cm ³)
신 벽돌	GSC-1	강화처리 안함		
구 벽돌	GSC-2	8.40	19.05	2.02
	GSC-3	8.23	20.22	1.98
	GSC-4	6.68	17.06	2.02
	GSC-5	6.04	15.88	2.02
	GSC-6	5.63	14.77	2.05
	GSC-7	7.30	18.39	1.99
	최소	5.63	14.77	1.98
	최대	8.40	20.22	2.05
	평균	7.05	17.56	2.01
	편차	1.14	2.04	0.02

구 벽돌의 처리 전 흡수율은 평균 18.87 wt. %, 공극율은 34.59 vol. %, 밀도는 1.74 g/cm³로 측정되었으나 처리 후 흡수율은 평균 7.05 wt. %, 공극율은 17.56 vol. %, 밀도는 2.01 g/cm³로 측정되었다 <그림 24>.

신 벽돌의 흡수율은 8.38 wt. %, 공극율은 19.38 vol. %, 밀도는 2.05 g/cm³로 측정되었던 것과 비교하면 구 벽돌의 흡수율, 공극, 밀도가 신 벽돌이랑 거의 비슷하거나 오히려 더 상승했다는 것을 확인할 수 있었다.

이와 같은 결과가 나온 이유는 진공함침 방식으로 강화처리에 사용된 ethyl silicate 계열 강화제인 Wacker社의 Silres BS OH 100이 구 벽돌의 모세관 속으로 침투하여 겔을 형성한 후 강화처리효과 뿐만 아니라 모세관을 좁혀 흡수량 자체도 줄어들게 한 것에서 나온 것으로 볼 수 있다.



<그림 24> 강화처리 후 구 벽돌의 흡수율, 공극율, 밀도.

3) 강화처리 후 모세관흡수율

강화처리 된 구 벽돌은 강화처리 전과 동일한 조건과 방법으로 모세관 물흡수율을 측정하였다.

구 벽돌의 모세관흡수율을 나타내는 곡선형 그래프는 흡수율이 일정하지 않는 양상을 보였으나 실질적으로 흡수되는 물의 양은 3,600초가 경과되어도 큰 변화가 없다는 것을 확인할 수 있었다 <표 16>.

처리 후 구 벽돌의 모세관흡수율은 $0.34 - 3.46 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$ 로 측정되었다.

<표 16> 강화처리 후 구 벽돌의 모세관흡수율 ω ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$).

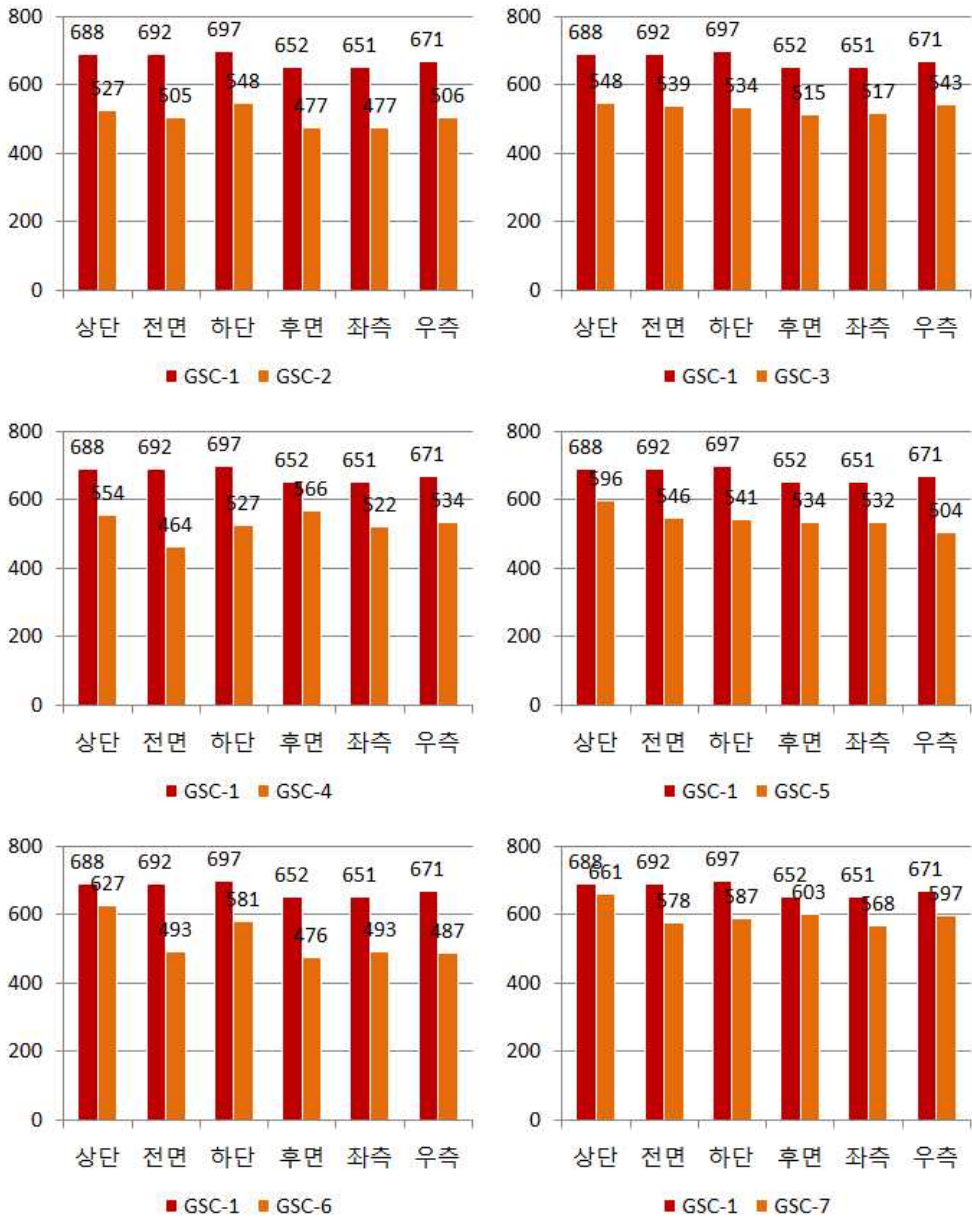
GSC-2-2	GSC-3-2	GSC-4-2
GSC-2 : 1.86 - 3.46	GSC-3 : 1.47 - 1.72	GSC-4 : 0.45 - 0.84
GSC-5-1	GSC-6-1	GSC-7-3
GSC-5 : 0.74 - 0.86	GSC-6 : 0.34 - 0.74	GSC-7 : 0.84 - 1.12

4) 강화처리 후 경도

처리 전과 동일한 방법으로 경도를 측정한 결과 구 벽돌의 반발경도는 처리 전 반발경도는 평균 307 - 464 (HLD)이었으나 처리 후 반발경도는 평균 464 - 661 (HLD)로 나타나 현저하게 상승했음이 확인되었다 <표 17>, <그림 25>.

<표 17> 강화처리 후 벽돌의 표면경도.

부재	시료번호	측정값 기준	상단	전면	하단	후면	좌측	우측
신 벽돌	GSC-1 (미처리)	최소	667	634	672	603	619	623
		최대	706	728	718	681	682	726
		평균	688	692	697	652	651	671
구 벽돌	GSC-2	최소	493	494	495	406	426	416
		최대	552	513	607	615	553	551
		평균	527	505	548	477	477	506
	GSC-3	최소	480	520	509	466	502	475
		최대	619	574	560	592	540	587
		평균	548	539	534	515	517	543
	GSC-4	최소	524	450	504	509	501	516
		최대	609	491	551	661	545	551
		평균	554	464	527	566	522	534
	GSC-5	최소	506	512	520	490	517	474
		최대	660	605	579	582	546	550
		평균	596	546	541	534	532	504
	GSC-6	최소	577	440	533	447	412	416
		최대	685	543	645	495	590	532
		평균	627	493	581	476	493	487
	GSC-7	최소	622	562	545	573	524	573
		최대	721	593	610	630	626	644
		평균	661	578	587	603	568	597



<그림 25> 강화처리가 완료된 벽돌의 평균경도 그래프 (HLD).

5) 강화처리 후 벽돌의 강도

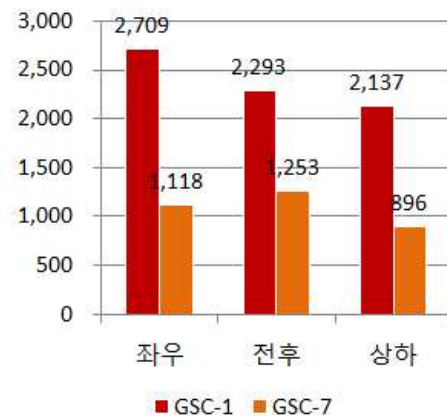
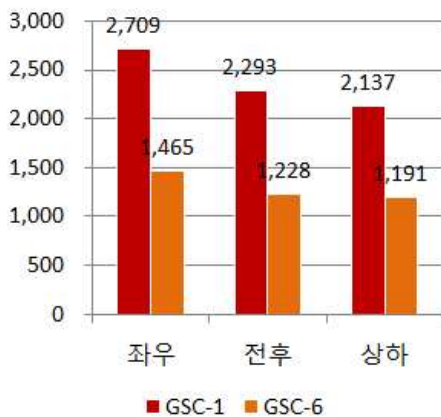
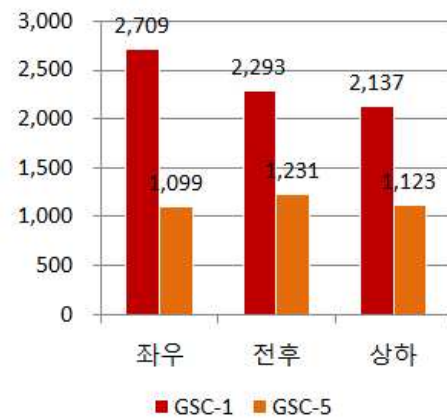
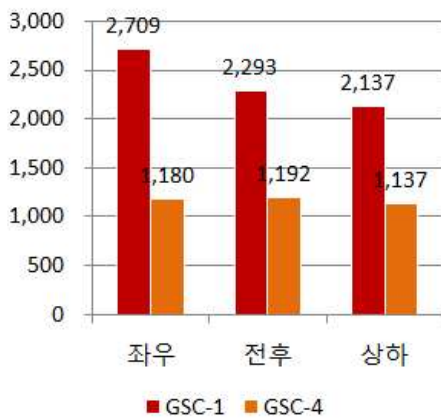
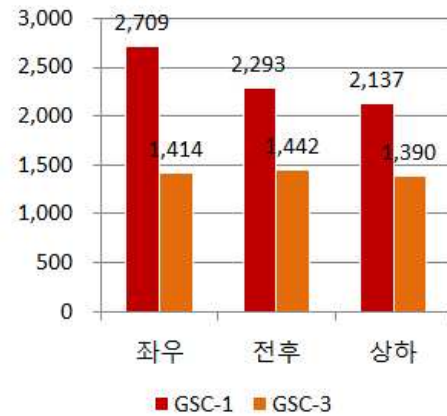
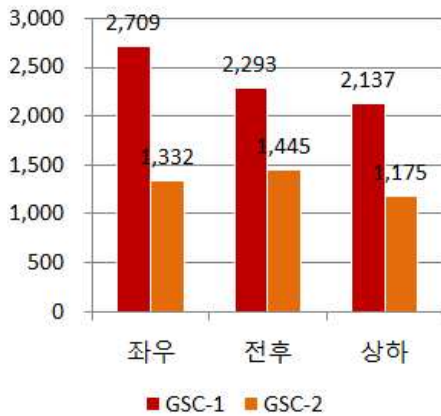
(a) 초음파속도에 따른 추정압축강도

동일한 방법으로 강화처리가 완료된 구 벽돌에 대해 초음파속도를 좌우, 전후, 상하면에서 측정하여 그 평균값을 <표 18>, <그림 26>에 나타냈다.

강화처리 전 구 벽돌의 초음파속도는 669 - 1,009m/s였으나, 강화처리 후에는 평균 896 - 1,465m/s로 상승했다.

<표 18> 강화처리 후 구 벽돌의 초음파속도 (m/s).

부재	시료번호	측정값 기준	좌우	전후	상하
신벽돌	GSC-1	최소	2,693	2,220	2,077
		최대	2,721	2,368	2,182
		평균	2,709	2,293	2,137
구벽돌	GSC-2	최소	1187	1411	1060
		최대	1437	1510	1238
		평균	1332	1445	1175
	GSC-3	최소	1373	1392	1294
		최대	1449	1521	1524
		평균	1414	1442	1390
	GSC-4	최소	1105	1141	1090
		최대	1284	1245	1173
		평균	1180	1192	1137
	GSC-5	최소	1007	1143	1049
		최대	1195	1365	1266
		평균	1099	1231	1123
	GSC-6	최소	1402	874	914
		최대	1563	1414	1393
		평균	1465	1228	1191
	GSC-7	최소	823	1112	802
		최대	1270	1360	1046
		평균	1118	1253	896



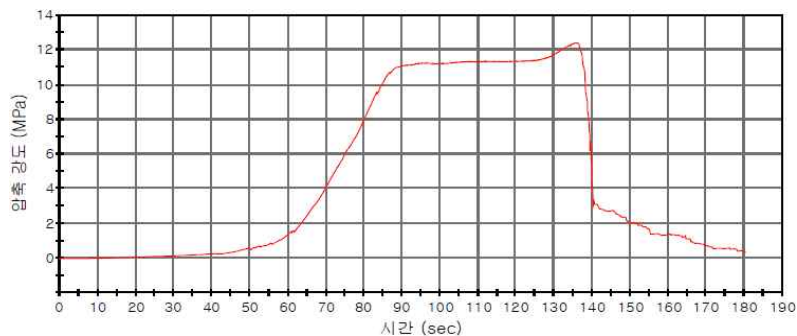
<그림 26> 강화처리 후 구 벽돌의 평균 초음파속도 (m/s) 그래프.

(b) 파쇄법에 의한 압축강도

강화처리가 완료된 구 벽돌의 압축강도는 10.06 - 16.75 Mpa로 상승하였다 <표 19>. 이는 초음파속도에 의한 구 벽돌의 압축강도 추정 수치와 비교하면 현저히 많이 상승하였다. 또한 강화처리 후 구 벽돌의 압축강도에 대해 최대한 저항하는 시간도 연장되었음을 확인할 수 있었다 <그림 27>.

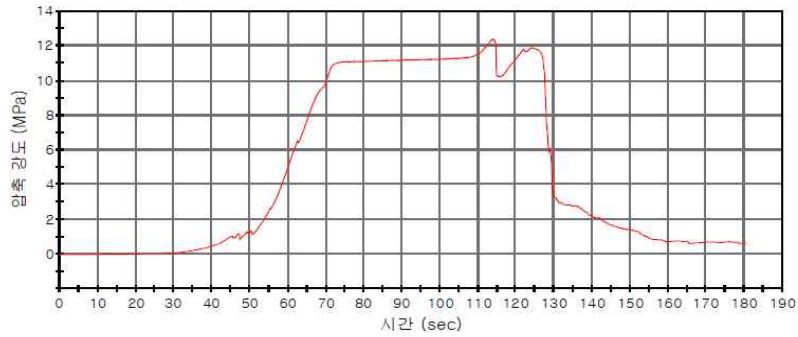
<표 19> 강화처리 후 측정된 압축강도 결과 (Mpa).

구 벽돌		압축강도 (Mpa)
구 벽돌	GSC-2	12.39
	GSC-3	12.39
	GSC-4	15.52
	GSC-5	16.75
	GSC-6	10.63
	GSC-7	10.06



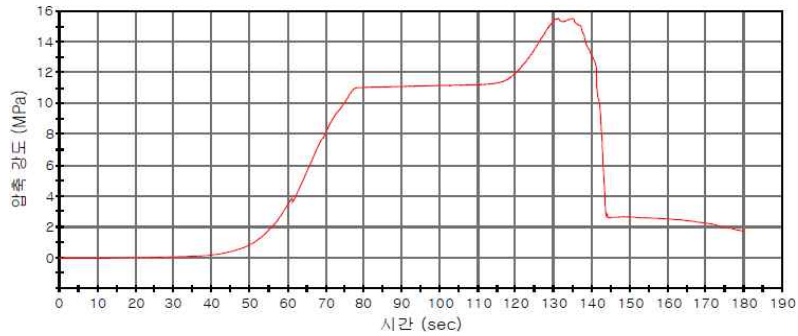
<그림 27(a)> 강화처리 후 GSC-2의 압축강도 그래프.

GSC-2는 135초(sec)에 최대압축강도가 12.39Mpa로 측정되었다.



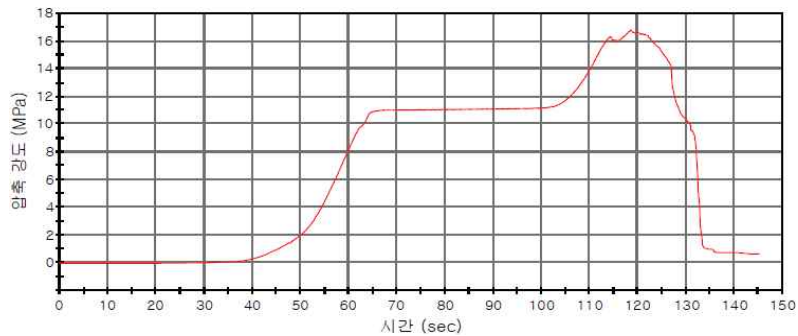
<그림 27(b)> 강화처리 후 GSC-3의 압축강도 그래프.

GSC-3은 115초(sec)에 최대압축강도가 12.39Mpa로 측정되었다.



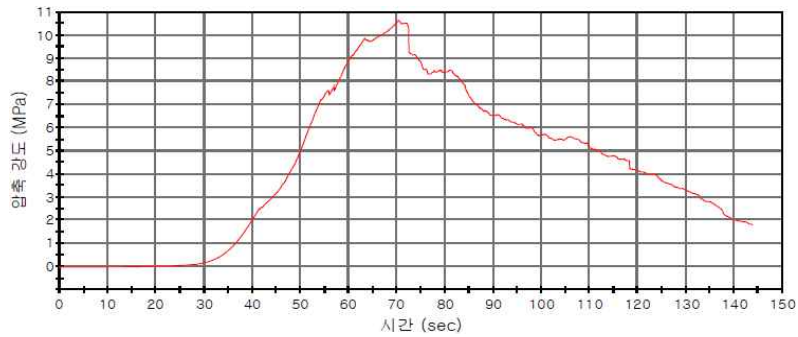
<그림 27(c)> 강화처리 후 GSC-4의 압축강도 그래프.

GSC-4는 120초(sec)에 최대압축강도가 15.52Mpa로 측정되었다.



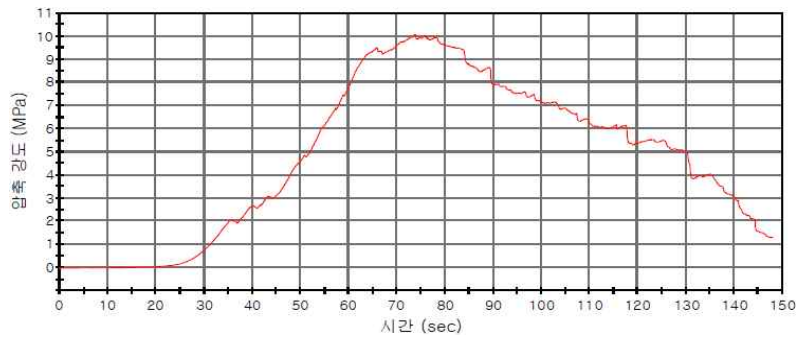
<그림 27(d)> 강화처리 후 GSC-5의 압축강도 그래프.

GSC-5는 118초(sec)에 도달하자 최대압축강도가 16.75Mpa로 측정되었다.



<그림 27(e)> 강화처리 후 GSC-6의 압축강도 그래프.

GSC-6은 70초(sec)에 최대압축강도가 10.63Mpa로 측정되었다.



<그림 27(f)> 강화처리 후 GSC-7의 압축강도 그래프.

GSC-7은 75초(sec)에 최대압축강도가 10.06Mpa로 측정되었다.

IV. 고찰

근대 조적식 건축물의 가치를 보존하고, 원형훼손을 최소화 하는데 효과적인 방법으로 적용을 하고자 한다면 궁극적으로 당시의 벽돌을 최대한 활용하는 방법이라는 점이다. 하지만, 근대 문화재에 대한 인식과 연구가 아직 미흡한 실정이라 현재까지는 최선의 방법으로 수리에 사용될 벽돌의 재료, 색상, 성분, 크기를 분석하여 이에 맞게 제작된 신 벽돌을 사용하는 것으로 적용되어 왔다.

약화된 암석, 특히 규산염질 광물을 함유한 암석을 강화시키기 위해 보존처리적인 방법으로 보통 ethyl silicate 계열의 강화제를 암석에 주입한다. 강화처리가 약화된 암석에 효과적이라는 견해가 주를 이루는 가운데 오히려 처리 후 손상이 가속화되었다는 의견도 무시하지 못할 정도로 팽배하다.

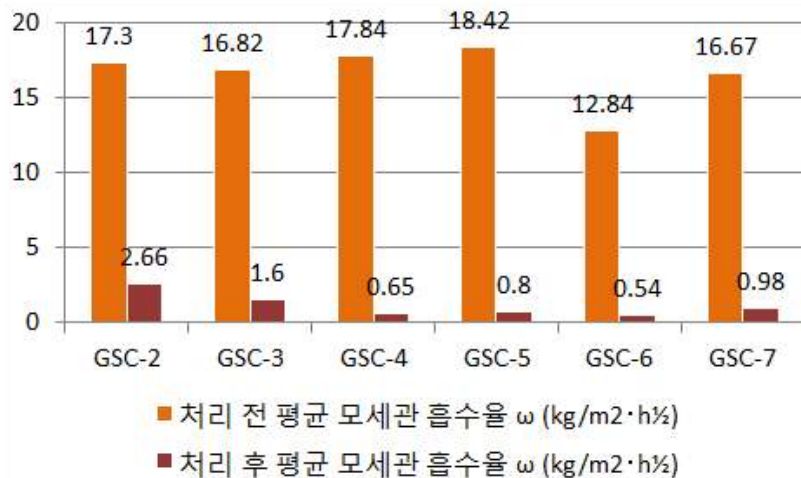
이러한 상황에서 심각한 손상으로 인해 수리가 진행 중인 근대 조적식 건축물의 구 벽돌에 강화제의 적용은 조심스러울 수밖에 없다. 따라서 강화제를 적용하면서 여러 가지 실험을 통해 장·단점의 여부를 명확히 분석해야 한다. 위와 같은 사항을 감안하고, 연구를 진행한 결과 약화된 벽돌 자체에 강화제의 적용은 그 효과 면에서 매우 유의미하다는 결과를 얻을 수 있었다.

아래의 표와 그래프들은 약화된 구 벽돌에 강화제를 적용시킨 후 향상된 물성의 결과를 잘 보여준다. 이는 벽돌의 공극 사이에 강화제의 구성 성분인 ethyl silicate가 침투하여 겔을 원활히 형성한 것에 의한 결과로 해석할 수 있다.

손상의 주요 원인이 되는 구 벽돌의 높은 모세관흡수율은 강화처리 후 550 - 2645배 감소되는 결과를 보였다 <표 20>, <그림 28>.

<표 20> 강화처리 후 모세관흡수율 변화율.

시료번호	처리 전 평균 모세관흡수율 ω (kg/m ² ·h ^{1/2})	처리 후 평균 모세관흡수율 ω (kg/m ² ·h ^{1/2})	감소율(%)
GSC-2	17.30	2.66	550
GSC-3	16.82	1.60	951
GSC-4	17.84	0.65	2,645
GSC-5	18.42	0.80	2,203
GSC-6	12.84	0.54	2,278
GSC-7	16.67	0.98	1,601

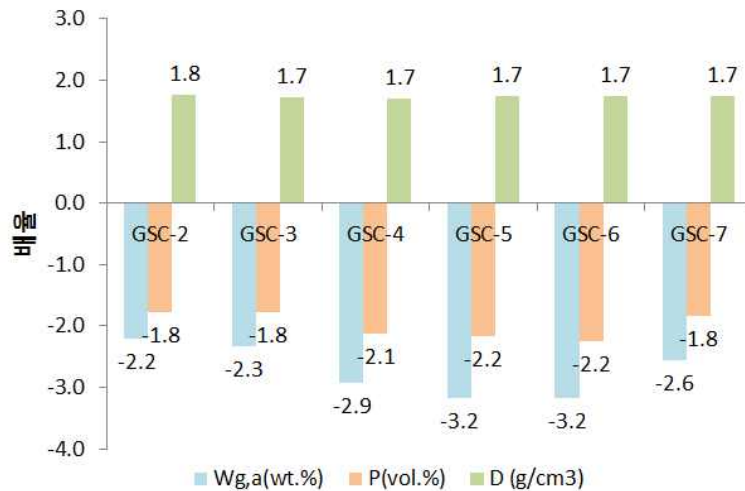


<그림 28> 강화처리 전 · 후 모세관흡수율 비교.

총 흡수율은 강화처리 전보다 평균 2.5배 감소, 공극율은 평균 1.8배 감소, 밀도는 1.8배 증가하였다 <표 21>. 결과적으로 강화 처리된 구 벽돌의 흡수율, 공극율, 그리고 밀도 등이 신 벽돌과 큰 차이가 없어졌음을 확인하였고, 이에 따른 결과를 그래프로 나타냈다 <그림 29>.

<표 21> 강화처리 후 흡수율, 공극, 밀도의 변화율.

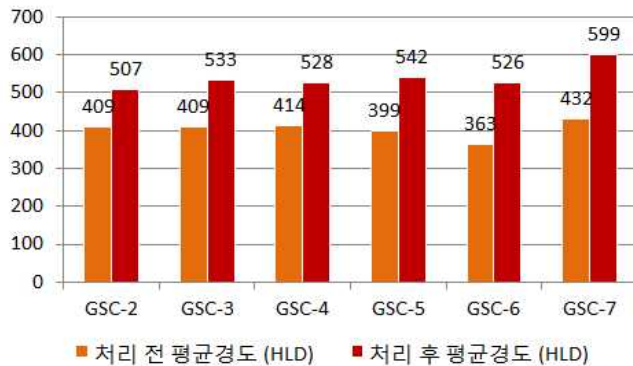
시료 번호	흡수율 Wg,a(wt. %)			공극율 P(vol. %)			밀도 D (g/cm ³)		
	처리 전	처리 후	변화 배율 (감소)	처리 전	처리 후	변화 배율 (감소)	처리 전	처리 후	변화 배율 (증가)
GSC-2	18.62	8.40	-2.2	33.93	19.05	-1.8	1.76	2.02	1.8
GSC-3	19.24	8.23	-2.3	35.85	20.22	-1.8	1.72	1.98	1.7
GSC-4	19.64	6.68	-2.9	36.26	17.06	-2.1	1.71	2.02	1.7
GSC-5	19.15	6.04	-3.2	34.55	15.88	-2.2	1.75	2.02	1.7
GSC-6	17.84	5.63	-3.2	33.09	14.77	-2.2	1.75	2.05	1.7
GSC-7	18.75	7.30	-2.6	33.83	18.39	-1.8	1.74	1.99	1.7
최소	17.84	5.63	-3.2	33.09	14.77	-2.2	1.71	1.98	-0.9
최대	19.64	8.40	-2.3	36.26	20.22	-1.8	1.76	2.05	-0.9
평균	18.87	7.05	-2.7	34.59	17.56	-2.0	1.74	2.01	-0.9
편차	0.62	1.14	-0.5	1.24	2.04	-0.6	0.02	0.02	-0.8



<그림 29> 강화처리 전 · 후 흡수율, 공극, 밀도의 변화.

<표 22> 강화처리 후 경도 증가율(%).

시료번호	처리 전 평균 경도 (HLD)	처리 후 평균 경도 (HLD)	증가율(%)
GSC-2	409	507	24.0
GSC-3	409	533	30.3
GSC-4	414	528	27.5
GSC-5	399	542	35.8
GSC-6	363	526	44.9
GSC-7	432	599	38.7
최소	363	507	24.0
최대	432	599	44.9
평균	404	539	33.5



<그림 30> 강화처리 전·후 경도 비교.

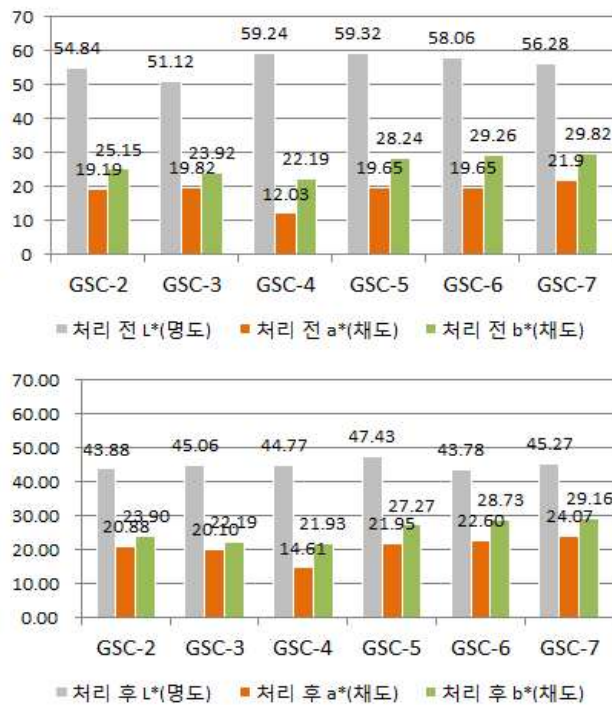
<표 22>, <그림 30>의 결과를 보면 강화처리 후 입상분해가 발생하여 표면이 물러졌던 구 벽돌의 표면 경도는 처리 전과 비교하면 최소 24.0 - 최대 44.9% (평균 33.5%) 증가하여 표면이 매우 단단해졌음을 알 수 있다.

강화처리 후 구 벽돌의 색도는 변화가 컸다. 황색도나 적색도의 변화폭은 미미하였으나 명도가 많이 낮아져 강화처리 후 전반적으로 어두워짐을 느낄 정도이다. 강화처리 된 구 벽돌이 보이는 어두워진 색상은 새로 제작된 신 벽돌에 비해서도 어둡다는 느낄 정도이다. 이는 시간이 지남에

따라 점차 밝아지는 것으로 보고되고 있기 때문에 선불리 판단할 부분은 아니라고 본다 <표 23>, <그림 31>.

<표 23> 강화처리 후 색도 변화.

시료번호	처리 전			처리 후		
	L*(명도)	a*(채도)	b*(채도)	L*(명도)	a*(채도)	b*(채도)
GSC-2	54.84	19.19	25.15	43.88	20.88	23.90
GSC-3	51.12	19.82	23.92	45.06	20.10	22.19
GSC-4	59.24	12.03	22.19	44.77	14.61	21.93
GSC-5	59.32	19.65	28.24	47.43	21.95	27.27
GSC-6	58.06	19.65	29.26	43.78	22.60	28.73
GSC-7	56.28	21.9	29.82	45.27	24.07	29.16

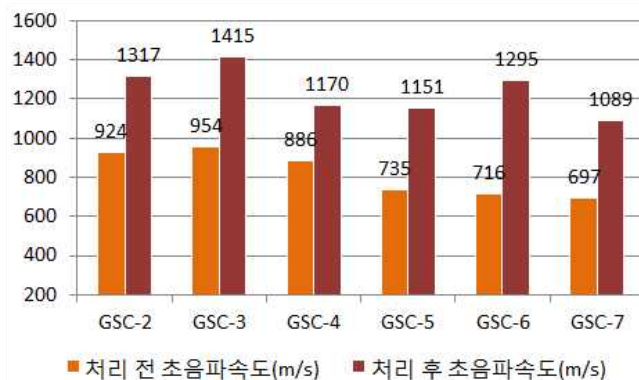


<그림 31> 강화처리 전(상)과 후(하)의 색도 비교.

표면의 단단함 뿐만 아니라 구 벽돌의 강도 또한 강화제 적용으로 상당히 향상되었다 <표 24>, <그림 32>. 초음파속도 측정에 의한 비파괴적인 방법으로 추정된 구 벽돌의 강도는 32.0 - 80.8% (평균 52.8%) 증가한 결과를 보였으며 이 값은 새로 제작한 신 벽돌이 보인 2,137 - 2,709m/s 에는 미치지 못하지만 강도 면에서는 효과가 큰 것을 보여준다. 다만 신선한 상태의 구 벽돌에 대하여 초음파속도를 측정할 수 있었다면 강화제의 효능을 더 잘 입증할 수 있었을 것으로 생각된다.

<표 24> 강화처리 후 초음파속도의 변화율.

시료번호	처리 전 초음파속도 (m/s)	처리 후 초음파속도 (m/s)	증가율(%)
GSC-2	924	1317	42.5
GSC-3	954	1415	48.3
GSC-4	886	1170	32.1
GSC-5	735	1151	56.6
GSC-6	716	1295	80.9
GSC-7	697	1089	56.2
최소	697	1089	32.1
최대	954	1415	80.9
평균	819	1240	52.8

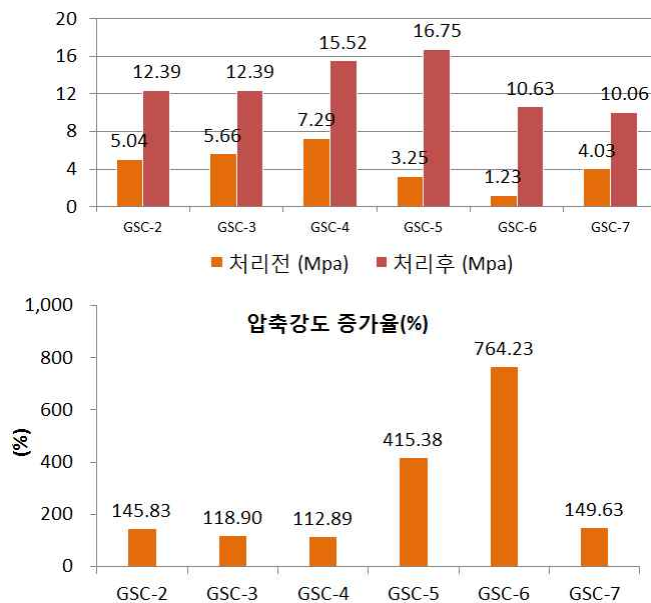


<그림 32> 강화처리 전·후 초음파속도 비교.

시료를 파쇄하는 방법으로 기계적인 강도를 측정하는 압축강도에서 구 벽돌은 처리 전과 비교하면 현저히 증가하였다 <표 25>. 압축강도 증가율은 최소 112.89%, 최대 764.23%로 구 벽돌이 강화처리로 인해 상당히 강해졌음을 확인할 수 있었다 <그림 33>.

<표 25> 강화처리 전과 후의 압축강도 비교분석 결과.

벽돌부재		처리 전	처리 후	압축강도 증가율(%)
		(Mpa)	(Mpa)	
신 벽돌	GSC-1	>25	미처리	
구 벽돌	GSC-2	5.04	12.39	145.83
	GSC-3	5.66	12.39	118.90
	GSC-4	7.29	15.52	112.89
	GSC-5	3.25	16.75	415.38
	GSC-6	1.23	10.63	764.23
	GSC-7	4.03	10.06	149.63



<그림 33> 강화처리 전·후 벽돌시료의 압축강도(상)와 증가율 비교(하).

금번 연구에서 구 벽돌에 적용된 ethyl silicate 계열 강화제는 벽돌 내의 공극을 다 막지 않고 코팅처리를 하기 때문에 증기가 이동하게 함으로서 모세관으로 흡수와 건조가 원활하게 이루어진다. ethyl silicate는 다음과 같은 식에 의해 가수분해하여 SiO₂-겔을 형성한다.



ethyl silicate는 silicic acid와 알코올의 반응에 의해 생성된다. 알코올은 용매로 사용되어 silicic acid가 암석내부로 스며들어갈 수 있게 하며, 부재 내부로 들어간 후에는 silicic acid가 다시 무정형의 silica-겔로 변환하는데, 이때 알코올은 해리되어 증발한다. 즉, 주로 규산염광물로 구성된 부재에서는 구성광물과 유사한 물질이 부재의 내부에 들어가 바인딩물질로 작용한다는 뜻이다. 이 광물성 바인더는 결정을 이루지 않는 무정형으로, 팽창성 점토광물을 함유한 것을 제외하고는 기타 다른 부재를 열과 수분에 의해 팽창시키거나 수축시키지 않는다.¹⁹⁾

19) 국립문화재연구소 (2006) 감은사지삼층석탑(서탑) 강화처리제 선정 및 신석 제작용 석재 연구, p. 143-178.

V. 결론

칠곡가실성당 건축물의 주재료로 사용된 벽돌은 현재 손상이 심각한 상태로 제작 시부터 강한 물성을 띠지 못하였거나 제작 후 환경에 의해 약화되었을 가능성이 있다. 특히 칠곡가실성당의 사제관은 2016년 수리를 거치면서 많은 구 벽돌이 신 벽돌로 교체되었다. 수리 시 교체된 벽돌에서는 당시대 부재와의 이질감, 안정성 등의 문제점 등이 제기되었다.

위와 같은 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 풍화 등으로 약화된 구 벽돌을 강화하여 최대한 활용하는 보존처리 방법을 구명하고자 하였다. 이를 위해 벽돌에 진공함침법으로 강화처리한 후, 색도변화 분석, 벽돌의 흡수율 측정, 벽돌의 내부 공극 및 밀도 측정, 모세관흡수율 측정, 반발경도 측정, 초음파속도 측정, 파쇄법을 이용한 압축강도 분석 등을 시행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

강화처리 전 실체현미경으로 구 벽돌의 표면 상태를 관찰한 결과, 광물 입자들이 해리되어 불안정하게 부착된 상태로 존재하였으며 풍화가 진행됨에 따라 광물들의 박락이 진행되는 양상을 보였다. 강화처리 후 구 벽돌에서는 ethyl silicate 강화제가 광물 입자들 사이로 침투하여 광물 간에 막을 형성하고, 이에 따라 광물입자들이 고착된 모습이 확인되었다.

구 벽돌 표면의 단단함을 확인하기 위해 경도를 측정결과 강화처리 후 신 벽돌만큼 상승하지는 않았지만 처리 전과 비교하면 평균 33.5% 상승하였다. 구 벽돌을 침수시켜 전과 후의 중량을 측정한 결과 수분 흡수율은 평균 2.7배 감소하였고, 공극율은 평균 2.0배 감소, 밀도는 2.01배 증가하였다. 따라서 흡수율도 전체적으로 낮아져 외부의 수분으로 인한 영향을 덜 받게 될 것으로 보인다. 초음파속도를 통한 추정강도 측정 또한 강

화처리 전보다 평균 52.8% 증가하였다. 특히 파쇄법을 이용한 압축강도 측정에서는 초음파속도를 이용한 추정 압축강도보다 최소 112.89%, 최대 764.23% 상승하는 결과를 보임에 따라 구 벽돌의 강도가 상당히 증가되어 강화처리가 효과가 크다는 점이 확인되었다.

다만 분광측색계를 이용한 표면의 색도측정에서는 구 벽돌의 명도가 감소한 결과를 보였다. 이는 강화처리 전에 비해 색도가 전체적으로 어두워진 것을 의미하며, 그 결과 처리전 구 벽돌과 색상 면에서 이질감이 발생될 수 있다. 즉 강화제를 벽돌에 적용한 후 외적인 질감의 변화는 없었지만, 색도는 강화처리 이전과는 확연한 차이를 보인다.

본 연구에서는 석조문화재의 강화에 사용되는 ethyl silicate 계열 강화제인 Wacker社의 Silres BS OH 100을 조적식 근대 건축물의 벽돌에 적용하여 그 효과를 입증하였다. 결과적으로 구 벽돌의 기계적인 강도 상승에 효과가 있으며, 비나 습기 등 외부 환경에 대한 풍화훼손을 감소시키는데 효과가 있을 것으로 기대된다.

이번 연구대상인 벽돌에서는 팽윤성 점토광물이 검출되지 않았기에 강화제의 직접적인 적용이 가능하였다. 벽돌이 팽윤성 점토광물을 함유하고 있었을 경우 강화처리로 인해 오히려 훼손이 야기될 수도 있기 때문에 사전에 과학적인 분석을 하여 반드시 강화제 적용 여부를 검토해야만 효과적인 강화효과를 얻을 수 있다. 이밖에도 조적식 건물의 특성상 구 벽돌의 사이에 줄눈으로 사용하고 있는 회 또는 시멘트 모르타르가 손상된 부재 내부에서 염으로 작용하여 강화제와 부작용을 일으킬 수 있다. 따라서 효과적인 강화처리를 위해서는 향후에 벽돌 자체뿐만 아니라 타 재료와의 상호반응도 고려하는 다각적인 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

지금까지 구 벽돌의 강화처리 연구는 초음파속도를 통한 추정압축강도

를 분석한 것에 그친 반면 이번 연구에서는 파쇄법으로 압축강도 분석하여 강화처리 후에 나타나는 실질적인 압축강도를 확인하였다는 데 의의가 있다. 하지만 단기간에 결과를 도출해야 했기에 강화처리 후, 구 벽돌의 색도에 대한 결과는 현저한 차이를 보인다는 점에서 아쉬움이 남는다. 또한 강화처리 한 벽돌을 보존처리에 적용할 경우 기존 벽돌과의 색도 차이로 인한 이질감이 발생할 우려가 있으며, 이것이 완화되기까지는 짧게는 5년 길게는 30년 정도 걸린다. 따라서 색도의 차이를 빠른 시간에 극복할 수 있는 연구가 지속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

【단행본】

- 국립문화재연구소 (2006) 감은사지삼층석탑(서탑) 강화처리제 선정 및
신석 제작용 석재 연구, 국립문화재연구소, 143-178.
- 현익현(바르톨로메오)신부 (2011) 가실(낙산)성당 100년사, 천주교 대구
대교구 가실(낙산)성당.

【학술지】

- 김성호, 원종욱, 강용수, 장윤득, 김사덕, 김정진 (2009) 경주 남산화강
암에 대한 강화제 처리 전후의 물리적 특성변화 연구, 보존과학회
지, 25(3), 245-256.
- 김정신 (2001) 초기 양식건축물의 보수.보존에 관한 연구 -국가 지정
교회건축 문화재의 현황조사를 중심으로-, 건축역사연구, 10(2),
55-71.
- 문은정, 강희준, 김수경, 이한형, 홍종욱, 황진주 (2009) 토기의 경도측
정법 연구 -백제시대 杯류를 중심으로-, 보존과학회지, 25(4),
431-438.
- 송치영, 한민수, 이장준, 전병규 (2008) 석조문화재 강화제의 현황 조
사, 보존과학연구, 29, 164-182.
- 안재철, 김기수 (2013) 근대 점토벽돌의 소성온도 추정과 물성에 의한
시대성 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 29(9), 89-96.
- 우남식, 권순찬, 김태영 (2011) 근대건축문화재의 벽돌조 건축물 보존
기술 기법에 관한 연구, 한국농촌건축학회논문집, 13(1), 37-44.

- 우남식, 김태영 (2013) 벽돌조 건축문화재 외벽체의 훼손현황 및 원인 조사 - 나주노안천주교회를 중심으로-, 한국농촌건축학회논문집, 15(1), 30-36.
- 윤재웅 (2010) 근대기 대구지역 벽돌조 강당 건물의 건축특성과 파사드 구성에 관한 연구 -남산초등학교 강당을 중심으로-, 건축역사연구, 19(6), 121-135.
- 이재만, 이명성, 김재환, 이미혜 (2010) 인공 다공질체를 이용한 석조문화재 강화제의 처리효과, 보존과학회지, 26(3), 325-334.
- 이태중, 오정현, 김사덕 (2012) 울산반구대암각화 보존처리를 위한 현장적용실험, 보존과학연구, 33, 70-83.
- 조홍석, 김정동 (2010) 근대 적벽돌 생산사에 관한 연구, 건축역사연구, 19(6), 99-120.

【학위논문】

- 김무연 (2008) 중원탑평리칠층석탑의 손상도 정량평가와 석재의 산지 해석 및 보존처리, 공주대학교 대학원 문화재보존과학과 석사학위논문.
- 김문수 (2008) 천주교 건축유산의 수리에 관한 연구 -대전·충남지역 건축문화재의 수리이력 분석을 중심으로-, 목원대학교 대학원 건축학과 석사학위논문.
- 안성준 (2010) 풍화된 현무암의 강화처리에 관한 연구, 한서대학교 대학원 문화재보존학과 석사학위논문.
- 양은희 (2010) 보존환경에 따른 연질토기 강화제에 관한 연구, 한서대학교 대학원 문화재보존학과 석사학위논문.
- 우남식 (2010) 문화재 지정 벽돌조 건축물의 보수보강기법에 관한 연구, 청주대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문.

이정은 (2010) 한국 조적식 근대문화재에 사용된 벽돌의 재질특성과 손상메커니즘 해석, 공주대학교 대학원 문화재보존과학과 박사학위 논문.

장성운 (2012) 백제 무령왕릉 벽돌의 고고과학적 특성과 태토 산지 해석, 공주대학교 대학원 문화재보존과학과 박사학위논문.

전경희 (1999) 초음파 시험에 의한 점토벽돌의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 경기대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문.

조연태 (2003) 풍화된 석재문화재의 강화제 처리 후 물성 변화에 관한 연구, 용인대학교 예술대학원 문화재보존학과 석사학위논문.

하상균 (2011) 대구·경북의 근대 성당 건축에 나타나는 건축적 특성, 경일대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문.

한수진 (2014) 근대기 대구·경북 성당건축의 형태적 특성에 관한 연구, 대구한의대학교 대학원 건축·소방방재환경학과 석사학위논문.

한창우 (2011) 근대 조적건축물 점토벽돌의 소성온도 추정 및 물성에 관한 연구, 동아대학교 대학원 건축공학과 석사학위논문.

【보고서】

청암문화재연구소 (2015) 제주 화순도시계획도로 (소로1-10호선) 확·포장공사 유적, 출토 토기와 토양의 과학적 분석 연구 보고서, 제주고고학연구소.

칠곡군 (2017) 칠곡가실성당 구사제관 보수공사 수리보고서, 칠곡군.

【웹사이트】

<http://www.gasil.kr/>

A study on conservation of the bricks used in modern masonic cultural heritage

-On the case of Gasil Catholic Church of Chilgok-

Um, Sang Wook

Department of Cultural Properties

The Graduate School

Gyeongju University

(Supervised by Professor Do, Jin young)

(Abstract)

South Korea's bricks used in modern masonry were damaged over time by humidity, growth of herbaceous plant, and freeze-thaw weathering. Up to recent years, bricks were repaired either by manually augmenting individual bricks, or by placing replacements. Such methods of repair utilizing contemporary materials and methods caused problems such as lack of durability, structural instability, and material heterogeneity with the original material and design.

In this research, I will analyze the repair of Gasil Catholic Church of Chilgok to determine the problems which occurred during the reinforcement of the bricks, and I will also consider the desirable further conservation methods. Gasil Catholic Church of Chilgok, which was originally constructed in 1923 and designated as a tangible cultural heritage 384, was deteriorated by granular disintegration, flaking and disintegration. It needed urgent restoration and

conservation treatment. Severe deteriorated parts were replaced by new brick, but as mentioned above, defects such as structural instability and material heterogeneity emerged.

To solve these problems, this study proposes an alternative method of conservation. One such method is utilization of chemicals to reinforce the structural integrity of the old bricks which grew weak by weathering. Without having specific consolidant for brick, we have to use ethyl silicate consolidant, which are used in stone cultural properties. Before the application, I checked whether weakened bricks contain swelling clay mineral. After the confirmation with X-ray diffraction analysis, I proceeded on to the consolidation test.

Silres BS OH 100, ethyl silicate consolidant, was applied. I processed to consolidation the old bricks with vacuum impregnation once in three days, for 3 minutes and cured them for 4 weeks. There were not any changes in X-ray diffraction analysis result, so I verified that neither swelling nor contraction occurred after the consolidation.

After the process, physical properties of old bricks largely improved, so I concluded that Silres BS OH 100 could be used in conserving bricks of modern laying bricks building. We can upgrade the strength of old bricks with it, so effects of weathering damage will diminish.

Before the process, old bricks showed average 18.87 wt.% of water absorption rate, 34.59 vol.% of porosity, 1.74 g/cm³ of density. After the consolidation treatment, they showed 7.05 wt.%, 17.56 vol. %, 2.01 g/cm³ respectively. Water capillary absorption rate changed from 16 - 19 kg/m²·h^½ to 0.34-3.46 kg/m²·h^½. With lowered water absorption rate, bricks would get less influence and damage from external moisture.

Old bricks which used Equotip hardness tester showed average 307 - 464 (HLD) of rebound hardness, but after the process, dramatic improvement took place. Processed bricks showed average 464 - 661 (HLD). Although they have lower rebound hardness than new bricks, old bricks get harder surface than old ones after the process.

We could estimate that old brick's estimated compressive strength was increased after the process, by ultrasonic velocity. Before the consolidation, bricks showed average 669-1,009m/s and after the reinforcement, they showed average 896-1,465m/s. Research with pressure disruption showed elevated results in comparison with ultrasonic method, so we could verified that solidity of old bricks is largely improved after the consolidation. Before the process, old bricks showed 1.23 - 7.29 Mpa of compressive strength. After the consolidant, they showed 10.06 - 16.75 Mpa.

Although there was a significant improvement in durability and compressive strength, another problem emerged. After the process, color of the bricks brightness value decreased and range of chromaticity changed. Brightness L^* was 48.62-62.54 (average 56.48), green-red a^* was 8.08-25.28 (average 18.71), and yellow-blue b^* was 16.41-34.26 (average 26.43). Lowering of brightness led to the color change after the process. Green-red a^* rose slightly, and yellow-blue dropped a little. It showed insignificant change.

Applying of ethyl silicate consolidant did not generate changes in texture, but it caused definite difference in brightness. Although this process largely augmented the durability, change of color pronounced the difference to the original. We have to keep on researching and experimenting to maintain the aesthetic factor of the original.