泥岩微粉末을 混合한 人工輕量骨材 콘크리트의 性質에 關한 基礎的 硏究

A Fundamental Study on the Properties of Artifitial Light Weight Aggregate Concrete Blending with the Micro Powders of Mudstone

안 상 건* 김 화 중**
An, Sang Gun Kim, Hwa Jung

ABSTRACT

In this experimental study, we aimed at the improvement of compressive strength of artifitial light weight aggregate concrete by using the micro powders of mudstone for concrete admixture.

By it's result, there was about 10(%) increase of compressive strength in concrete adding the 10(%) amounts of powders for cement contents than that of plain concrete.

1. 서론

콘크리트의 고강도·경량화 및 성질개선의 문제는 최근 구조물의 건조양식이 변해가고 있는 우리나라에서 당면과제로서 대두되고 있다.

이를 위해서 종래 콘크리트 구성재료의 성질개선과 배합비 조정의 방법, 고성능 감수제나 유동화제를 사용하여 물시멘트비를 낮추는 방법, 그리고 반응성이 높은 다양한 혼화재료를 사용하는 방법 등이 연구되어 오고 있다. 그중 앞의 두 방법에 의하면 콘크리트의 강도개선에 효과가 있지만, 어느 정도의 한계가 있다고 생각된다. 그리고 혼화재료를 사용하는 방법으로서는 최근 실리카 흄, 플라이 애쉬, 고로 슬래그 분말 등에 대한 연구가 다수 진행되고 있으며, 그 결과 이들을 사용한 콘크리트의 강도, 재료분리, 내구성, 수밀성 등의 개선에 효과가 있음이 알려져 있다. 그러나 이들 혼화재료들은 제조 및 구입에 대한 비용이 많이 드는 문제점이 있다.

본 연구는 국내에 매장량이 풍부한 天然泥岩 粉末의 콘크리트용 혼화재료로서의 유효성과, 이를 사용한 경량 콘크리트의 강도개선효과를 검토한 것이다. 실험을 통해 천연이암을 미분쇄한 분말을 첨가한 인공경량골재 콘크리트의 기초적인 성질을 검토하였다.

2. 실험에 사용한 이암의 성질

본 실험에 사용한 이암은 경북 포항지역에서 채굴한 것으로, 현재 이 지역 일대에 광범위하게 산재해 있는 것을 확인하였다.

본 실험에서 파악한 이암의 기본적인 성질은 다음과 같다.

2-1. 화학조성 및 광물적 성질

그림-1은 천연이암을 X-ray 回折分析을 통해 얻은 그래프이며, 분석을 통해서 이암이 SiO_2 성분을 31(%) 이상, 그리고 Al_2O_3

* 경북대 대학원 석사과정
** 정회원, 경북대 조교수, 공박

와 $AlPO_4$를 微量 함유하고 있음을 알 수 있었다. 실험에 사용할 때에는 이암을 微粉碎하여 0.297(㎜)의 체를 통과한 분말을 사용하였다. 표-1은 정량분석결과에 의한 이암의 화학조성을 나타낸 것이다.

표-1. 이암의 화학조성

SiO_2	Al_2O_3	$AlPO_4$
30 % 이상	1 % 이하	0.02 % 정도

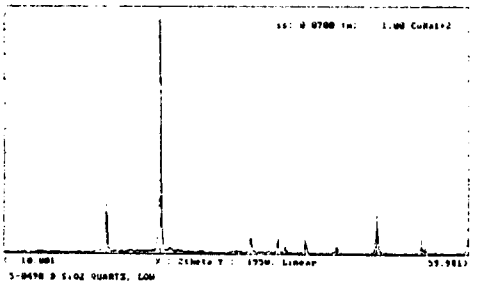

그림-1. 이암의 X-Ray 회절 분석도

2-2. 熱的性質

이암의 熱重量分析(TGA) 및 示差熱分析(DTA)을 행한 결과를 그림-2에 나타낸다. 이암의 열적성질을 파악하기 위해 각 분석시에 1000(℃)까지 가열하였다.

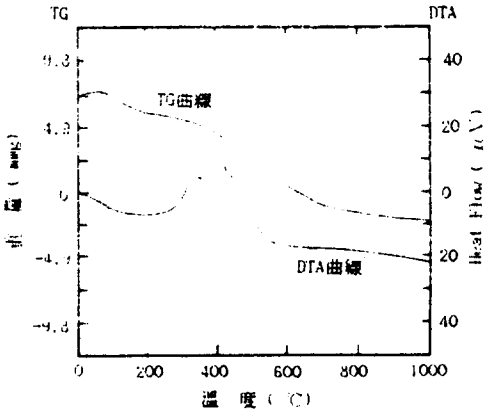

그림-2. 이암의 TG-DTA 분석결과

DTA에서는 400(℃)전후에서 현저한 發熱反應을 보이고 있고, TGA에서는 400~600(℃)의 溫度域에서 전체 試料重量(4.76㎎)에 대한 44(%) 정도의 중량감소를 나타내고 있다. 이는 이암내부의 結晶水의 방출에 기인하며, 이로써 이암이 흡수율이 큰 다공질 물질임을 알 수 있다.

3. 이암미분말을 첨가한 인공경량골재 콘크리트의 성질에 대한 검토

3-1. 실험

3-1-1. 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트이다.

잔골재는 경북산 강모래이며, 굵은골재는 최대입경이 19(㎜)인 水成岩系의 膨脹粘土(expanded clay)를 燒成시켜서 만든 인공경량골재이다. 콘크리트 혼합시엔 입도조정을 한 골재를 깨끗한 물에 씻어 표면건조포화상태로 사용하였다.

그리고, 사용한 혼화제는 고성능 유동화제이다.

시멘트와 골재의 물리적 성질은 각각 표-2, 표-3과 같다.

표-2. 시멘트의 물리적 성질

비중	안정성	응결시간(h-m)		28 일 압축강도 kg/㎠
		초 결	종 결	
3.09	양호	1-30	4-10	348

표-3. 골재의 물리적 성질

골 재	최대크기 ㎜	표건비중	단위용적 중 량 kg/㎥	흡 수 율 %	실 적 율 %	조 립 율
굵은골재	19	1.27	694	27.4	54.7	7.12
잔 골 재	—	2.76	1492.5	0.8	54.1	7.75

3-1-2. 실험개요

콘크리트의 配合因子로서 물시멘트비와 잔골재율은 각각 40, 45(%), 그리고 단위시멘트량은 400, 450(kg/m³)으로 설정하였다.

이암미분말의 첨가비율은 시멘트량의 10(%)로 설정하였다. 이것은 이전에 筆者들이 행한 모르타르에 대한 실험결과[1], 이암미분말의 첨가비율을 10, 20, 30 (%)로 하였을 때 첨가비율 10(%)인 시험체가 최고강도를 발현한 현상에 착안한 것이다.

금번의 연구는 이암미분말을 첨가한 콘크리트의 성질을 고찰하기 위한 기초적인 검토로서, 이에 배합요인을 적게 설정하였다. 그리고, 보다 많은 배합요인하에서의 세심하고 다양한 검토는 차후의 점진적인 연구과제로 미루기로 한다.

콘크리트의 배합비는 표-4와 같다.

3-1-3. 시험체의 제작 및 양생

시험체를 成形할 때에는 ϕ10 × h20 (cm)의 鋼製 실린더형 모울드(mould)를 사용하였으며, 성형을 마치고 12시간이 경과한 후에 유리판으로 캡핑(capping)을 하였다. 캡핑후 다시 12시간이 지나서 시험체를 脫型하여 流水와 진동이 없는 23±2℃의 상온수조에서 습윤양생시켰다.

3-1-4. 실험방법

본 실험에서는 콘크리트 실린더의 재령 28일에 대한 一軸壓縮載荷時의 응력도 변형도 시험을 행하여 압축강도, 정탄성계수, 그리고 응력도-변형도 곡선의 특성을 고찰하였다.

재하시엔 시험체를 加壓板의 중앙에 오도록 위치시킨 후에 매초 1.5~3.0(kg/cm²)의 일정한 재하속도로 하중을 가하였으며, 변형을 측정에서는 변형계상에서 시험체를 고정시키도록 되어있는 상하 2개 부분의 jig간의 지점거리인 10(cm) 내에서 재하시 시험체의 변형을 측정하였다.

3-2. 실험결과 및 고찰

이암미분말을 첨가한 콘크리트에 대한 실험결과를 표-4에 나타낸다.

3-2-1. 슬럼프

이암미분말을 첨가한 콘크리트는 무첨가 콘크리트에 비해 슬럼프값이 감소하였으며, 그 비율은 단위시멘트량 400, 450(kg/m³)에 대해서 각각 2.2, 2.5(%)로 나타났다(그림-3 참조).

3-2-2. 압축강도

이암미분말을 첨가한 콘크리트의 압축강도는 무첨가 콘크리트에 비해 증가하였다. 증가비율은 단위시멘트량 400, 450(kg/m³)에 대해서 각각 10.8, 15.2(%)이다(그림-4

표-4. 콘크리트의 배합비와 실험결과

시험체	시멘트	굵은골재	잔골재	물	혼화제	혼화제	슬럼프	공기량	단위용적중량	압축강도	탄성계수
	kg/m³						cm	%	kg/m³	kg/cm²	× 10⁵ kg/cm²
1	400	422	742	180	2.0	0	13.7	—	1858	256	1.75
2	400	422	742	180	2.0	40	11.0	—	1817	286	1.30
3	450	397	698	203	2.3	0	11.4	8.0	1891	278	1.77
4	450	397	698	203	2.3	45	8.5	7.0	1843	328	1.64

참조).

이는 참고문헌 2와 3의 쇄석골재 콘크리트와 천연제올라이트 분말을 첨가한 경우의 실험결과에서 나타난 것과 비슷한 결과치이다.

3-2-3. 정탄성계수($E_{1/3}$)

이암미분말을 첨가한 콘크리트의 탄성계수는 무첨가에 비해 감소하였다. 감소비율은 단위시멘트량 400, 450(kg/㎥)에 대해서 각각 25.1, 7.3 (%)이며, 단위시멘트량이 적을 때 탄성계수의 감소비율이 더 큼을 알 수 있다(그림-5 참조).

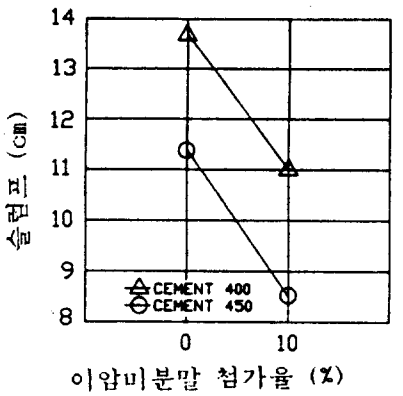

그림-3. 이암 미분말의 첨가율과 슬럼프의 관계

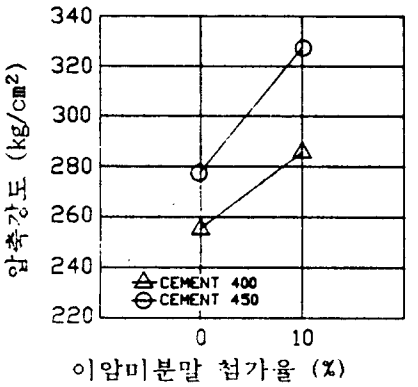

그림-4. 이암 미분말의 첨가율과 압축강도의 관계

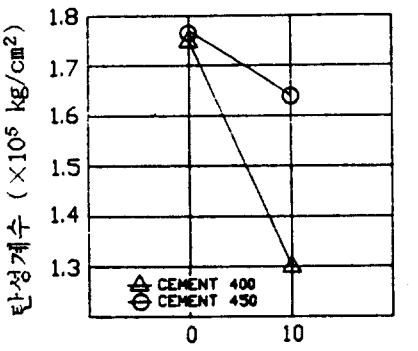

그림-5. 이암 미분말의 첨가율과 탄성계수의 관계

3-2-4. 일축압축재하시의 응력도-변형도 곡선

단위시멘트량 400, 450(kg/㎥)에 대한 최대압축강도시의 변형율은, 무첨가 콘크리트는 각각 0.22, 2.25(%)이며, 이암미분말을 첨가한 콘크리트는 각각 0.32, 0.27(%)로 나타나, 이암미분말을 첨가한 콘크리트의 변형능력이 무첨가 콘크리트보다 조금 더 크다는 것을 알 수 있다.

응력도-변형도 곡선의 응력상승역에 있어서 콘크리트의 탄성구배는, 이암미분말을 첨가한 콘크리트가 무첨가 콘크리트에 비해 작으며, 곡선의 직선성은 더욱 크게 나타나고 있다. 이와 같은 응력상승역에서의 곡선의 직선성은 콘크리트의 압축강도가 클수록 현저하다(그림-6~9 참조).

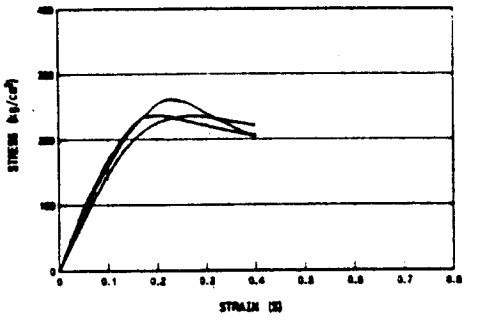

그림-6. Plain Concrete의 응력도-변형도 곡선 (단위시멘트량 400 kg/㎥)

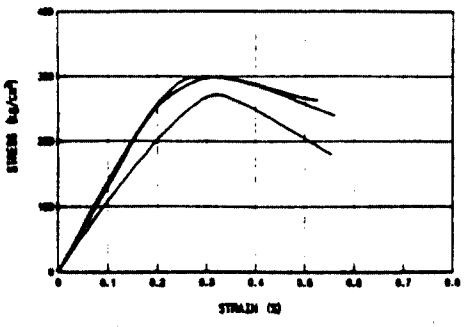

그림-7. 이암 미분말을 첨가한 콘크리트의 응력도-변형도 곡선 (단위시멘트량 400kg/m³)

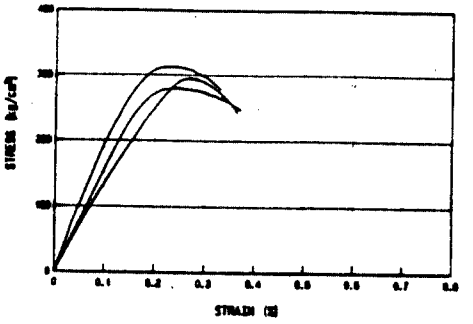

그림-8. Plain Concrete의 응력도-변형도 곡선 (단위시멘트량 450 kg/m³)

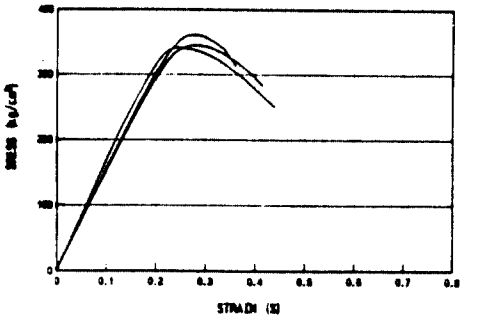

그림-9. 이암 미분말을 첨가한 콘크리트의 응력도-변형도 곡선 (단위시멘트량 450 kg/m³)

3-3. 이암미분말을 혼합한 콘크리트의 강도증진효과에 대한 고찰

前節에서 보통포틀랜드 시멘트에 이암미분말을 10(%) 첨가한 콘크리트의 압축강도는 무첨가 콘크리트에 비해 약 10(%) 정도 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이와같은 이암미분말의 첨가에 의한 콘크리트의 압축강도증진의 원인을 다음과 같이 고찰해 볼 수 있다.

표-2에 나타낸 것처럼 본 실험에 사용한 이암미분말은 활성실리카(SiO_2)를 약 30(%) 정도 함유하고 있으며, 활성실리카는 일반적으로 시멘트의 수화반응에 의해 생기는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)과 반응하여 C-S-H상을 생성하는 것으로 알려져 있다.

이와같이 이암미분말을 첨가함에 의해 수화반응시 C-S-H상을 형성하여 콘크리트 결합재간의 공극을 채우는 미립충진재효과(micro filler effect)로서 무첨가 콘크리트보다 더욱 밀실한 조직을 형성하여 강도증진의 효과를 나타내는 것으로 판단된다.

사진-1은 천연이암, 사진-2는 시멘트 페이스트의 12시간 경화체, 그리고 사진-3은 이암미분말과 시멘트를 혼합한 페이스트의 24시간 경화체를 走査型電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope)을 통하여 각각 촬영한 것이다. 사진-2와 사진-3을 비교하여 볼 때 시멘트 페이스트의 경화체보다 시멘트와 이암미분말을 혼합한 페이스트의 경화체가 조직이 더욱 밀실하고, 수화반응의 속도도 빠름을 알 수 있다.

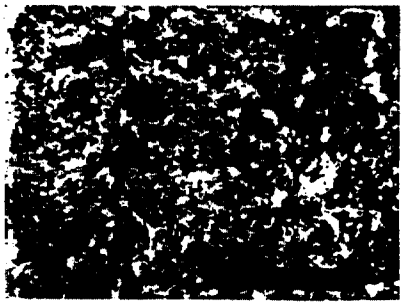

사진-1. 이암의 SEM Micrograph

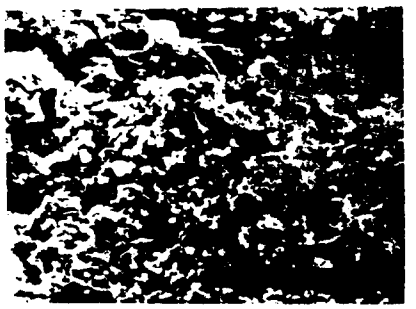

사진-2. 시멘트 페이스트 경화체의 SEM Micrograph

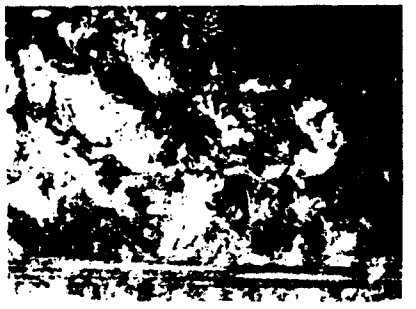

사진-3. 이암 미분말 + 시멘트 페이스트 경화체의 SEM Micrograph

4. 결론

본 연구는 이암미분말의 콘크리트용 혼화재로서의 유효성과 그를 사용한 인공경량골재 콘크리트의 강도증진효과를 검토한 것으로, 이암미분말을 10 (%) 첨가한 경량콘크리트에 대한 실험결과 다음과 같은 그의 성질을 파악할 수 있었다.

1. 이암미분말을 첨가한 콘크리트의 슬럼프는 무첨가 콘크리트에 비해 감소하였으며, 그 비율은 단위시멘트량 400, 450(kg/㎥)에 대해서 각각 2.2, 2.5(%)로 나타났다.

2. 이암미분말을 첨가한 콘크리트의 압축강도는 무첨가 콘크리트에 비해 증가하였다. 증가비율은 단위시멘트량 400, 450(kg/㎥)에 대해서 각각 10.8, 15.2(%)이다.

3. 이암미분말을 첨가한 콘크리트의 탄성계수는 무첨가 콘크리트에 비해 감소하였다. 감소비율은 단위시멘트량 400, 450(kg/㎥)에 대해서 각각 25.1, 7.3 (%)이다.

4. 단위시멘트량 400, 450(kg/㎥)에 대한 최대압축강도시의 변형율은, 무첨가 콘크리트는 각각 0.22, 2.25(%)이며, 이암미분말을 첨가한 콘크리트는 각각 0.32, 0.27 (%)로 나타났다.

5. 응력도-변형도 곡선의 응력상승역에 있어서 콘크리트의 탄성구배는, 이암미분말을 첨가한 콘크리트가 무첨가 콘크리트보다 작으며, 곡선의 직선성은 더욱 크게 나타나고 있다. 이와 같은 응력상승역에서의 곡선의 직선성은 콘크리트의 압축강도가 클수록 현저하다.

6. 이로써, 천연이암의 분말이 콘크리트용 혼화재료로서 유효한 성질이 있음이 어느 정도 밝혀졌지만, 차후 보다 많은 요인하에서의 이에 대한 깊은 검토가 필요하다고 생각된다.

* 본 연구는 90년도 한국과학재단의 특정목적기초 연구비로 이루어진 것으로, 이에 재단에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김화중,"이암미분말을 혼합한 모르타르의 강도발현성상에 관한 연구",대구·경북건축학회논문집,제 1권 제 1호,1991. 12
2. 김화중,"이암미분말을 혼합한 콘크리트의 역학적 성질에 관한 연구",同上
3. 馮 乃謙,向井 毅,江原恭二,"コンクリートの强度增進材としてのゼオライトの有效性に關する硏究",日本建築學會構造系論文報告集,제 388號,昭和 63年 6月
4. 向井 毅,馮 乃謙,"大谷石を原料とした人工輕量骨材コンクリートに關する硏究(第1報),日本建築學會構造系論文報告集,제 377號,昭和 62年 7月