

廢琉璃粉末을 사용한 콘크리트의

力學的 特性에 關한 研究

A Study on the Mechanical Characteristics of the replaced concrete by the Waste Glass Powder

김 명 재^{*} 송 창 영^{*} 정 호 철^{**} 설 광 옥^{***} 부 척 량^{****}
Kim, Myoung-Jae Song, Chang-Young Jeong, Ho-Cheol Seol, Gwang-Wook Boo, Cheong-Yang

ABSTRACT

This study performed the experimental research comparing mechanical characteristics of the concrete replaced by the waste glass powder with the non-replaced concrete. The experimental parameters are kinds of the waste glass powder and replacement rate of the waste glass powder on the cement. As a result, the slump value, the flow value and the amount of air were decreased as the waste glass powder replacement rate increased, and the strength was increased when the waste glass powder replacement rate is 5%~15%.

1. 서론

최근들어 산업이 발전함에 따라 유리의 수요가 급증하면서 폐유리의 수량도 증가하고 있다. 하지만, 이러한 폐유리는 현실적으로 적절한 처리대책이 강구되지 않아 그대로 방치되거나 불법적으로 처리되고 있는 실정으로, 환경훼손의 주요 요인으로 부각되고 있다. 특히 우리나라의 경우는 폐유리 재활용에 대한 기술 수준이 낮고, 폐유리 처리비용이 과다하게 소요되는 등의 이유로 인하여 불법적으로 매립하는 등, 정책적인 처리방안에 대한 대책이 마련되지 못하여 폐유리의 재활용율이 극히 미진한 실정이다.

이에 본 연구에서는 환경공해의 심각한 폐기물의 하나인 폐유리를 건설재료로 활용하기 위한 방안의 일환으로, 시멘트의 일부를 폐유리분말로 치환한 콘크리트를 제조하여 치환하지 않은 콘크리트와 역학적 특성을 비교·분석, 폐유리분말의 사용 가능성을 타진하고 궁극적으로는 자원의 절약과 재활용

* 전남대학교 대학원 석사과정
** 정회원, 전남대학교 박사과정
*** 정회원, 광양전문대 전임강사
**** 정회원, 전남대학교 교수, 공학박사

율을 극대화 시키는데 이 연구의 목적을 두었다. 실험은 폐유리분말로 치환한 콘크리트에 관한 실험에 적용할 적정 치환율을 파악하기 위하여 폐유리분말로 치환한 모르티에 관한 실험을 실시한 후, 콘크리트에 관한 실험을 실시하였다.

2. 실험

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 물리적 성질 및 화학적 성분은 다음 표1 및 표2와 같다.

표1. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	용결시간(h-m)		압축강도(kg/cm ²)	
		초 결	종 결	7 일	28일
3.15	3434	3-15	6-25	284	398

표2. 시멘트의 화학적 성분

성분 종류	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O
시멘트	21.27	5.22	62.58	3.04	3.17	2.36	1.03

2.1.2 골재

본 실험에 사용한 잔골재는 전남 장성산 모래를, 굵은골재로는 전남 담양산 강자갈을 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 다음 표3과 같다.

표3. 골재의 물리적 성질

종 류	최대크기	표견비중	조립율	흡수율(%)
잔 골 재	5mm	2.55	2.3	2.2
굵은골재	25mm	2.46	7.1	2.8

2.1.3 폐유리분말

본 실험에 사용한 폐유리분말은 광주 D사의 폐유리분말을 사용하였으며, 화학적 성분과 물리적 성질은 표4 및 표5와 같다.

표4. 폐유리분말의 화학적 성분

성분 종류	SiO ₂	NaO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
시 멘 트	21.27	5.22	62.58	3.04	3.17	2.36

표5. 폐유리분말의 물리적 성질

분말도	경도	비중	압축강도	휨강도
14,100cm ² /g	6.3Hm	2.4	8,050kg/cm ²	470kg/cm ²

2.2 배합설계

폐유리분말 입도에 따른 특성을 고찰하기 위하여 폐유리분말은 No.100체를 통과한 것(이하 A-type) 과 No.200체를 통과한 것(이하 B-type) 2종류를 사용하였으며, 폐유리분말 치환율에 따른 역학적 특성을 고찰하기 위하여 치환율은 0%·5%·10%·15%·20%·25% 수준으로 변화시켜 배합 설계하였다. 설계 기준강도는 210kg/cm²을 목표로 하였으며, 단위수량은 195kg/cm², 잔골재율은 40%, 물-시멘트비는 56%로 결정하여 배합 설계하였다.

표6. 배합상세

시험체 종 류	치환율 (%)	단위중량(kg/m ³)					시험체 종 류	치환율 (%)	단위중량(kg/m ³)				
		시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	물			시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재	물
A-type	0	348	0	715	1,018	195	B-type	0	348	0	715	1,018	195
	5	330.6	17.4	715	1,018	195		5	330.6	17.4	715	1,018	195
	10	313.2	34.8	715	1,018	195		10	313.2	34.8	715	1,018	195
	15	295.8	52.2	715	1,018	195		15	295.8	52.2	715	1,018	195
	20	278.4	69.6	715	1,018	195		20	278.4	69.6	715	1,018	195
	25	261	87	715	1,018	195		25	261	87	715	1,018	195

3. 실험방법

3.1 굳지 않은 콘크리트 실험

콘크리트의 콘시스턴시를 측정하기 위한 슬럼프시험은 KS 2402에 의거 실시하였고, 플로우시험은 ASTM C 124의 규정에 따라서 실시하였다. 또한 공기량 측정시험은 KS F 2421에 의거 실시하였다.

3.2 경화 콘크리트 실험

KS F 2405, KS F 2423에 의거 유압식 만능시험기(Universal Testing Machine:Max=100ton)를 사용하여 압축강도 및 인장강도를 측정하였다. 재령 28일 응력-변형율 관계는 만능시험기와 TDS-302를 사용하여 고찰하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 굳지 않은 콘크리트 특성

4.1.1 슬럼프

그림1은 폐유리분말의 입도와 치환율에 따른 슬럼프값을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 슬럼프값은 보통 콘크리트보다 치환율 5%에서 35% 정도 감소하였고, 치환율이 증가할수록 10%~15% 정도 감소하였다. 또한 A-type으로 치환한 콘크리트가 B-type으로 치환한 콘크리트보다 5%~10% 정도 크게 나타났다.

이와 같은 경향은 폐유리분말로 치환시 폐유리분말이 배합수를 흡수하는데서 기인한 것으로 사료되며, 치환율이 증가할수록 이러한 배합수의 흡수손실이 많아짐에 따라 슬럼프가 감소하는 것으로 사료된다.

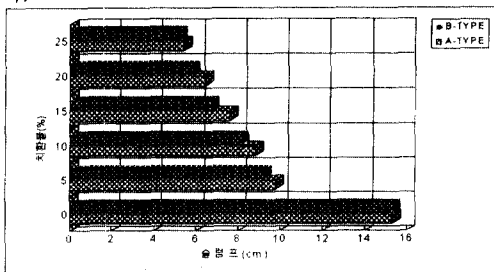


그림1. 슬럼프 시험 결과

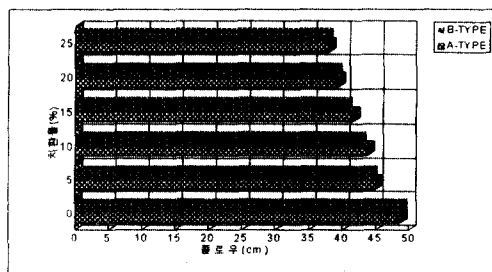


그림2. 플로우 시험 결과

4.1.2 플로우

그림2는 폐유리분말의 입도와 치환율에 따른 플로우값을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 플로우값은 보통 콘크리트보다 치환율이 증가할수록 7%~10% 정도 감소하였고, A-type으로 치환한 콘크리트가 B-type으로 치환한 콘크리트보다 2% 정도 크게 나타났다.

4.1.3 공기량

그림3은 폐유리분말의 입도와 치환율에 따른 공기량을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 공기량은 치환율 5%에서 A-type으로 치환한 콘크리트는 50% 정도, B-type으로 치환한 콘크리트는 70% 정도 감소하였다. 이는 폐유리분말의 공극충진효과(micro filler effect) 때문으로 사료된다.

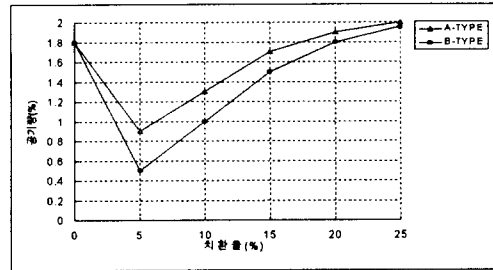


그림3. 공기 함유량 시험 결과

4.2 경화 콘크리트 특성

4.2.1 압축강도

표6. 압축강도 시험 결과(kg/cm²)

시험체 종류	치환율 (%)	재 령			시험체 종류	치환율 (%)	재 령		
		3일	7일	28일			3일	7일	28일
A-type	0	122.2	133.2	203.1	B-type	0	122.2	133.2	203.1
	5	122.4	144.8	224.6		5	121.4	157.9	233.3
	10	111.2	139.8	207.1		10	109.1	143	222.7
	15	107.9	123.8	197.1		15	105.9	138.9	209.7
	20	97.8	110.1	188.1		20	92.9	126.5	200.4
	25	69	86.9	177.9		25	77.5	99.3	186.4

(1) 재령에 따른 압축강도

재령과 압축강도의 관계는 그림4, 그림5와 같다. 그림에서 보는 바와 같이, 재령이 경과함에 따라 압축강도는 증가하고, 특히 재령 3일에서 재령 7일까지의 압축강도 증가율은 폐유리분말로 치환한 콘크리트가 보통 콘크리트보다 10% 정도 크게 나타났다.

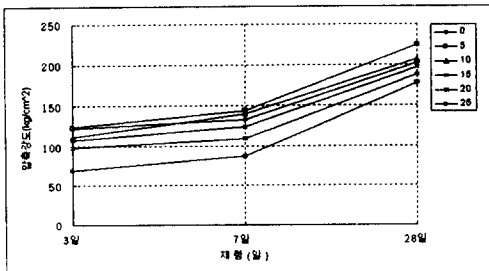


그림4. 재령과 압축강도의 관계(A-type)

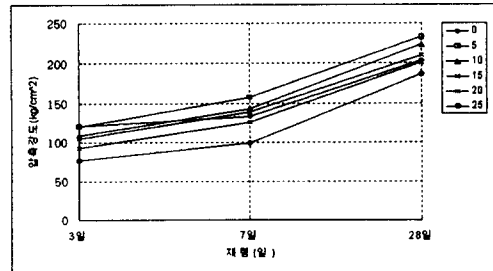


그림5. 재령과 압축강도의 관계(B-type)

(2) 폐유리분말 입도에 따른 압축강도

폐유리분말의 입도와 압축강도와와의 관계는 그림6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이, 압축강도는 입도가 작은 B-type으로 치환한 콘크리트가 입도가 큰 A-type으로 치환한 콘크리트보다 3%~8% 정도 크게 나타났다. 따라서, 폐유리분말의 입도가 작은 것을 사용할수록 압축강도 발현에 유리할 것으로 사료된다.

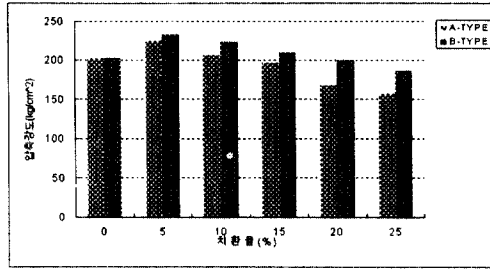


그림6. 입도와 압축강도의 관계

(3) 폐유리분말 치환율에 따른 압축강도

보통 콘크리트의 압축강도를 100으로 한 경우 압축강도비를 표7, 그림7, 그림8로 나타내었다. 표와 그림에서 보는 바와 같이, 보통 콘크리트의 압축강도보다 A-type으로 치환한 콘크리트 경우 치환율 5%, 10%에서 각각 11%, 2% 정도, B-type으로 치환한 콘크리트 경우 치환율 5%, 10%, 15%에서 각각 15%, 10%, 3% 정도가 증진되었으며, 이외의 경우에는 감소하였다.

표7. 보통 콘크리트 압축강도를 100으로 한 압축강도비

시험체 종류	치환율 (%)	재령			시험체 종류	치환율 (%)	재령		
		3일	7일	28일			3일	7일	28일
A-type	0	100	100	100	B-type	0	100	100	100
	5	101.8	108.7	110.6		5	99.3	118.5	114.9
	10	91	105	102		10	89.3	107.4	109.7
	15	88.3	93	97		15	86.7	104.3	103.2
	20	80	82.7	92.6		20	76	95	98.7
	25	56.5	65.2	87.6	25	63.4	74.5	91.8	

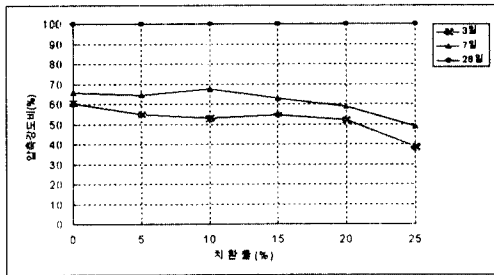


그림7. 치환하지 않은 경우 압축강도를 100으로 한 압축강도비(A-type)

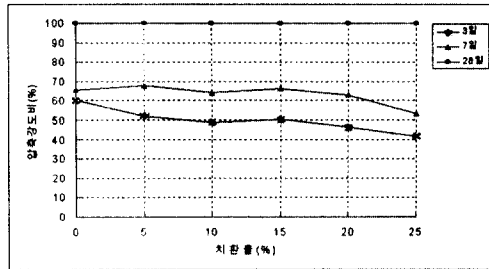


그림8. 치환하지 않은 경우 압축강도를 100으로 한 압축강도비(B-type)

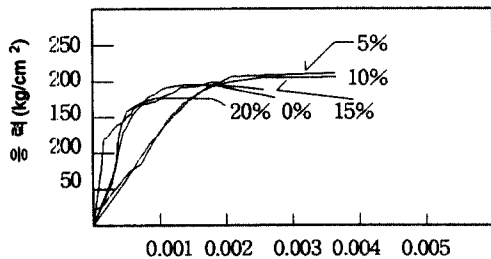


그림9. 응력-변형률곡선(A-type)

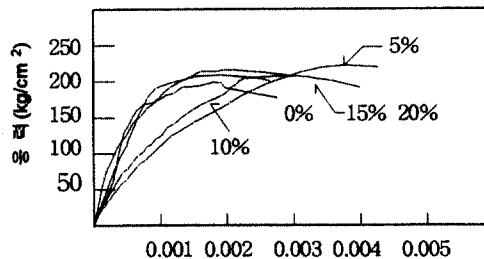


그림10. 응력-변형률곡선(B-type)

(4) 응력-변형률관계

그림9, 그림10은 폐유리분말로 치환한 콘크리트와 보통 콘크리트의 응력-변형률곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 보통 콘크리트보다 폐유리분말로 치환한 콘크리트가 더 연성적이었고, 또 이 경우 A-type보다 B-type으로 치환한 콘크리트가 더 연성적으로 나타났다.

4.2.2 인장강도

인장강도 시험 결과는 그림11과 같다. 그림에서 보는 바와 같이, 보통 콘크리트의 인장강도보다 A-type으로 치환한 경우 5%, 10%, 15%, 20%에서 각각 20%, 13%, 7%, 3% 정도, B-type으로 치환한 경우 치환율 5%, 10%에서 각각 18%, 9% 정도 증진되었고, 이외의 경우에는 감소하였다.

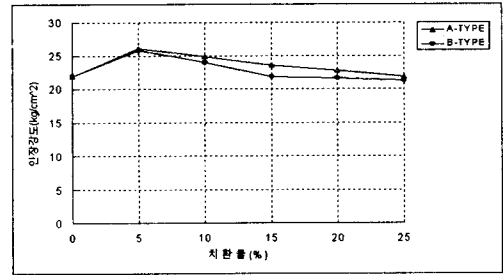


그림9. 인장강도 시험 결과

본 연구는 환경공해의 심각한 폐기물중 하나인 폐유리를 건설재료로서 사용가능성을 검토하기 위한 연구의 일환으로, 폐유리분말을 사용한 콘크리트와 보통 콘크리트의 역학적 특성을 비교·분석하였다.

실험을 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 폐유리분말의 치환율이 증가할수록 슬럼프는 35%~50% 정도 플로우는 10%~25% 정도 감소하였으며, 공기량은 치환율 5%에서 50%~70% 정도 감소하였다.
- (2) 폐유리분말의 입도에 따른 압축강도는, 입도가 큰 경우(A-type)보다 입도가 작은 경우(B-type)에서 3%~8% 정도 크게 나타났다.
- (3) 폐유리분말의 치환율에 따른 압축강도는, A-type으로 치환한 콘크리트의 경우 치환율 5%, 10%에서 각각 11%, 2% 정도, B-type으로 치환한 콘크리트의 경우 치환율 5%, 10%, 15%에서 각각 15%, 10%, 3% 정도가 보통 콘크리트 압축강도보다 증진되었으며, 그외의 치환율에서는 감소하였다.
- (4) 인장강도는, A-type으로 치환한 콘크리트의 경우 치환율 5%, 10%, 15%, 20%에서 각각 20%, 13%, 7%, 3% 정도, B-type으로 치환한 콘크리트의 경우 치환율 5%, 10%에서 각각 18%, 9% 정도가 보통 콘크리트보다 증진되었으며, 그외의 치환율에서는 감소하였다.

이상과 같은 결과를 토대로하여, 폐유리분말을 5%~15% 정도 적정 치환사용 할 경우 사용하지 않은 경우보다 강도증진을 기대할 수 있을 뿐만 아니라 폐자원을 재활용함으로써 환경공해예방효과와 경제적인 이점도 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 부척량, 「철근콘크리트구조설계」, 개정보정판, 기문당, 1996, p.p.21~41
2. 김경옥 외 4명, 「규사 혼입 콘크리트의 역학적 특성에 관한 연구」, 한국콘크리트학회 1995년도 가을 학술발표회 논문집, 제7권, 2호, 1995, p.p.63~68
3. 진동채, 「규사 혼입 콘크리트의 물성에 관한 연구」, 전남대학교 산업대학원 석사학위청구논문, 1996
4. 정호철 외 1명, 「규사분말이 콘크리트의 유동성에 미치는 영향」, 대한건축학회 학술발표대회 기념논문집, 제15권, 2호, 1995, p.p.769~773
5. 윤보현 외 4명, 「콘크리트의 내화특성에 관한 실험적 연구(규사분말을 치환한 페이스트 시험체의 경우)」, 대한건축학회, 제13권, 1호, 1997, p.p.193~202
6. 임창덕, 「시멘트 및 혼화제의 종류, 용도, 물리 화학적 성질과 주요 품질시험」, 제3회 기술강좌 시멘트·콘크리트의 품질시험 및 품질관리, 한국콘크리트학회, 1994, p.p.28~58

7. 柳啓 外, 「高爐スラック 微粉末のコンクリート用混和材としてのの適用研究(その6~その7)」, 日本建築學會大會學術講演梗概集(北陸), 1992, p.p.591~600
8. 김옥준교수 정년퇴임기념지 편집위원회, 「한국의 지질과 광물자원」, 연세대학교 지질학과 동문회, 1982, p.442
9. 오병환, 고재균, 「플라이 애쉬 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 대한 연구」, 한국콘크리트학회지, 제3권, 2호, 1991, p.p.87~95
10. 김무한, 신현식, 김문한, 「건축재료학」, 문운당, 1997, p.p.343~356
11. 한국유리공업주식회사, 「HANLITE ARCHITECTURAL GLASS」
12. 오일환, 「세라믹스 과학」, 학문사, 1994, p.p.61~69
13. Harold Rawson, 「유리의 물성과 응용」(김철영 번역), 1991
14. H.Scholze, 「유리공학」(이정훈 번역), 반도출판사, 1997
15. 김화중, 「천연제올라이트를 이용한 콘크리트의 성질개선에 관한 연구」, 경북대, 1992
16. 박승범, 「산업부산물 및 규산칼슘계 재료를 이용한 건재용 경량·고강도 복합체의 개발·평가에 관한 실험적 연구」, 콘크리트학회논문집, 6권, 4호, 1994, p.p.141~151
17. 오상근 외 6인, 「페FRP미분말을 사용한 콘크리트의 기초 물성 연구」, 대한건축학회 1996년도 추계학술발표대회논문집, 16권, 2호, 1996, p.p.633~636
18. 손종규 외 5인, 「페타이어분말을 이용한 Rubber Mortar 개발에 관한 연구」, 대한건축학회 창립 50주년 학술발표대회 기념논문집, 1995, p.p.681~684