

폐콘크리트 순환자원을 이용한 건설재료의 화재내력 및 단열성에 관한 실험적 연구

최재남* · 홍세화** · 손기상**

*서울과학기술대학교 에너지환경대학원 · **서울과학기술대학교 안전공학과

Experimental Study on Fire Resistant Capacity and Thermal Conduction of Construction Material Using the Circulation Resources

Jea-Nam Choi* · Se-Hwa Hong** · Ki-Sang Son**

*Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology

**Dept. of Safety Engineering Seoul National University of Science and Technology

Abstract

This is to show some basic data for introducing both circulated aggregate and recycled powder producing waste concrete. Standard-mixing design for 24MPa has been basically used and added and replaced normal aggregate with recycled powder made of waste concrete. In addition, polycarboxylate high-range water reducing agent has been used because recycled powder is missing adhesive strength and it is not compare with cement's adhesive strength. Compressive strength with powder mixture of 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% has been decreased down to 80% of normal concrete material strength without recycled powder mixture. 200°C, 400°C and 600°C heated concrete were compressively tested in order to find out concrete strength resistant to high temperature. heat capacity was also tested, based on the expectancy of its low conductivity. In addition, thermal conduction test was tested in order to find out concrete insulation.

According to this test, when concrete was tested by fire resistance, it using the circulation aggregate was same resulted by concrete using the natural aggregate. also, recycle powder was not effecting insulation performance. but it is fit to standard on concrete insulation of building law.

Keywords : Circulation aggregate, Recycled powder, Fire resistance test, Thermal conduction

1. 서론

최근 도시재개발, 도시환경정비 등의 사업과 시설물들의 수명한계로 건설폐기물의 발생량은 크게 증가하는 추세이며, 건설폐기물 중에서 폐콘크리트가 약 70% 정도를 차지하고 있다. 건설폐기물의 처리방법으로 재활용, 소각, 매립 등이 있으며 환경부하가 작고 지속적 발전이 가능한 완전 자원 순환형으로 정책이 추진 중이다. 그러나 폐콘크리트에서 순환골재의 생산과정에서

폐콘크리트를 파쇄하여 골재를 추출하면서 발생하는 부산물인 재생미분말(이하 미분)은 전량 폐기되며, 매립이나 해양투기 등으로 처리되고 있다(6).

기존에 환경기술 부족으로 폐콘크리트에서 회수한 순환골재의 품질은 콘크리트용으로는 사용하지 못하는 저품질 순환골재로써 회수율은 약 70%였으며 발생하는 미분은 30% 정도였다. 하지만 최근 여러 연구와 기업인들의 노력으로 콘크리트용으로 사용할 수 있는 고품질 순환골재의 회수가 가능하게 되었다. 하지만 고품

† 이 논문은 환경부의 환경기술 인력양성 지원사업으로 지원되었음.

† 교신저자 : 손기상, 서울특별시 노원구 공릉2동 172번지 서울과학기술대학교 안전공학과

Tel: 02-970-6388, M·P: 010-9877-2433, Fax: 02-978-4806, E-mail: ksson@snut.ac.kr

2010년 7월 7일 접수; 2010년 9월 3일 수정본 접수; 2010년 9월 9일 게재확정

질 순환골재의 회수율은 전체의 30%정도이며 발생하는 미분은 약 70% 정도인걸로 조사되었다8).

현재 천연자원 절감 및 기후변화에 따른 CO2 발생절감으로 인하여 Geopolymer 등 시멘트 대체자원에 대한 연구가 한창 진행 중이고 있지만, 앞으로 폐기되어야 할 콘크리트의 양을 생각해 볼 때 폐콘크리트의 부산물인 미분의 전량을 매립 및 해양투기에만 의존할 수 없다.

산업화 흐름에 따라 환경문제는 전 세계의 관심사로서 고갈되어가는 천연자원뿐만 아니라 폐기물의 처리 또한 큰 문제로 대두되어가고 있는 실정에서 효율적인 건설폐기물 재활용이 시급한 상황이다.

폐콘크리트의 완전한 재활용을 위해서는 미분에 대한 대체연구가 시급한 실정인데 반해 미분 관련 연구는 주로 시멘트 혼화재, 재생 시멘트, 자기충전 콘크리트 및 콘크리트 혼화재로써의 적용이었으며 이 또한 미미한 수준이다.

선행연구에 사용된 골재 또한 천연골재였으며, 순환골재를 활용한 콘크리트에 미분을 혼화재로써 적용한 연구는 이루어지지 않았다. 폐콘크리트의 효과적인 재활용을 위해서는 모든 재생자원에 대한 연구가 활발히 진행되어야 한다.

본 연구는 기존의 미분 활용방안 연구와는 달리 순환골재로 배합된 콘크리트의 시멘트에 미분을 적절한 비율별로 치환하여 콘크리트의 기본적인 실험을 수행함으로써 폐콘크리트 순환자원의 효과적인 활용 및 향후 본 연구의 건설재료로 사용된 건축물의 화재 후 재사용 및 보수 보강방법 결정 시 건물의 안전성 및 경제성 평가에 미치는 판단기준 제공, 나아가 건물의 내화기준 도입에 기초적인 자료를 제시하는데 목적을 둔다.

2. 재료의 특성 및 이론적 검토

2.1 미분¹³⁾

미분은 폐콘크리트에서 재생골재를 채취하는 분쇄 과정에서 발생하는 부산물로 약 0.15mm 이하의 입도를 가진 미립분말을 말한다. 이 미립분말은 주로 시멘트 수화물과 미수화된 시멘트 및 화강암류 등의 골재



Figure 1. 미분(폐콘크리트 슬러지)의 형상

의 미분으로 구성되어 있으며, 이 외에도 목재, 벽돌, 유리 및 섬유류 등의 부스러기가 불순물로 소량 혼재되어 있다. 미분의 형태는 Figure 1에 화학적 성분 분석은 Table 1에 나타나있다.

2.2 순환골재

순환 굵은골재 및 잔골재의 형태는 Figure 2, 천연골재와의 품질비교 Table 2에 나타나있다.



Figure 2. 순환골재 형상(25mm, 5mm)

*콘크리트용 순환골재의 품질기준

굵은골재 : 흡수율 : 3% 이하, 절대건조밀도 : 2.5 이상

 마모감량 : 40% 이하, 실적률 : 55% 이상

잔골재 : 흡수율 : 5% 이하, 절대건조밀도 : 2.2 이상

 실적률 : 53% 이상

2.3 혼화제

혼화제는 K사의 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 물성은 외관 암갈색, 비중은 1.080±0.03 (20℃), 고형분은 22%±5%, pH는 7.0±2이다.

Table 1. 미분과 시멘트의 화학적 성분 분석

화학적 성분(%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg.loss
미 분	44.5	12.3	4.16	25.6	2.5	1.6	4.6
시멘트	21.3	5.3	2.6	64.4	3.2	1.9	1.0

Table 2. 천연골재와 순환골재의 비교

구분	천연골재		순환골재	
	굵은골재	잔골재	굵은골재	잔골재
흡수율(%)	1.13	1.53	1.67	3.62
절대건조밀도(g/cm ³)	2.64	2.55	2.57	2.43
마모감량(%)	24.1	-	22.18	-
실적률(%)	60.8	63.7	60	61

3. 실험의 이론적 배경

3.1 고온 노출시 콘크리트 강도특성

콘크리트는 고온 노출시에 강도에 영향을 미치게 된다. 배합, 환경조건 등이 규명되지 않고 단순히 고온에서의 거동을 평균 곡선으로 나타낼 수는 없지만, 예를 들어, 150°C에서의 압축강도를 측정해 보면 원래의 강도의 30%~120% 정도의 영역 내에 놓이게 되고, 350°C 이상에서 급격한 강도저하를 보인다는 것이 중론이다(5), 11).

콘크리트의 압축강도는 온도가 증가함에 따라 감소하며 강도감소에 영향을 주는 주요 변수는 골재 종류이다. 포틀랜드 시멘트와 일반 골재로 만들어진 콘크리트가 고온을 받을 때 압축강도 저감도를 평가하는 측정실험결과에서, 온도가 증가함에 따라 압축강도는 약 80~90°C에서 10~35%의 감소를 나타내고 90°C를 넘어서면서 다시 증가하다가 200°C~500°C사이에서 선형적인 감소를 나타낸다(3).

상온과 100°C~200°C에서 초기강도손실단계, 100°C~200°C와 400°C~500°C에서 강도의 안정 및 회복단계, 400°C~500°C 이후에서 강도의 영구 손실단계 등 3단계로 압축강도와 온도의 관계를 분류한다. 고강도와 일반강도 콘크리트의 온도증가에 따른 잔존압축강도관계는 Figure 3에 나타나있다(2).

3.1.1 노출온도의 영향¹²⁾

1) 100°C : 이 단계에서는 수화반응도 거의 완료되었고, 100°C라는 온도에 의한 물리적, 화학적 변화가 거의 없으므로 강도에 있어서 경미한 감소를 보인다.

2) 200°C : 이 단계에서는 강도감소율이 현저히 감소하고 평균 잔류압축강도가 79%이다. 이것은 아마도 물의 손실로 인한 시멘트겔의 밀화과정에 의한 것으로 보인다. 이 단계에서는 수축으로 인한 시멘트페이스트의 수축은 감소하기 시작하고 열팽창영향이 지배하기 시작한다.

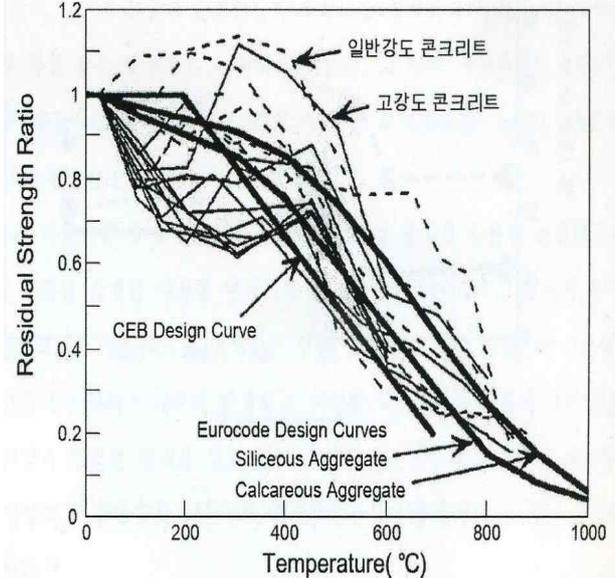


Figure 3. 온도별 압축강도 잔존율(9)

3) 400°C : 원래강도의 48%~74%정도의 강도를 보유하며 강도감소가 계속 일어난다. 외관상으로는 철의 산화로 인하여 분홍색을 띠게되며 미세균열이 시편 표면에 분명히 나타난다. 또한 200°C보다 0.76%의 중량손실을 보이는데 이는 남아있는 결합수의 손실을 의미한다. 즉 점토성분으로 부터의 수분증발과 Ca(OH)₂ (40°C에서 CaO를 분리하여 수분성을 잃기 시작한다.)로 부터의 수분의 증발, MgCO₃로 부터의 CO₂의 증발을 의미한다. 남은 CaO가 냉각 후 젖게 되거나 습한 공기에 접하게 되면 그것은 Ca(OH)₂로 재수화되어 부피팽창이 일어나 콘크리트의 열화를 낳게 된다. 그 두 가지 반응이(골재의 팽창과 시멘트페이스트의 수축)결국 콘크리트를 약화시키고 균열을 생기게 한다.

4) 600°C : 콘크리트 중량손실은 약 0.74%(400°C 이후)로 이것은 CaCO₃, MgCO₃로 부터의 CO₂증발에 기인한 것으로 물은 이 단계에 이르기 전에 완전 소멸한다.

Lea에 의하면 CaCO₃는 가열하였을 때는 900°C에서 분해되나 다른 물질과 섞여 있을 때는 보다 낮은 온도

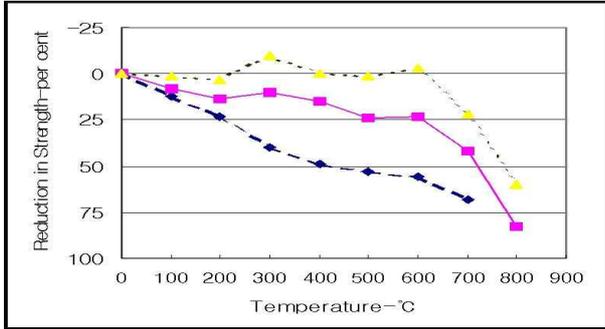


Figure 4. 온도에 따른 강도 영향표1)

에서 분해한다고 전한다. 또한 이 온도범위에서는 흐릿한 회색을 띄며 표면에는 보다 넓은 균열이 나타난다. 미로 운 것은 배합1, 노출시간 90분의 경우에 600°C에서 폭발 한다는 사실이다. 이는 골재의 주성분인 CaCO₃의 많은 양이 CaO와 CO₂로 분해되었기 때문인 것으로 사료된다.

3.1.2 가열속도의 영향

G. T. G. Mohamedbhai의 연구에 의하면 200°C까지는 가열속도가 지대한 영향을 미치나 400°C에서는 그 영향이 감소하며, 600°C~800°C 온도 범위에서는 거의 영향을 미치지 않는다고 보고하고 있다.

그러나 그 효과가 가역적으로 나타나므로 전체적인 뚜렷한 경향은 보이지 않는다. 이 사실에는 가열속도가 가지는 상반되는 두 가지 효과를 함축하고 있다. 즉 상대적으로 가열속도가 빠를수록 고온노출시간이 짧아지므로 수분 손실량이 상대적으로 적어 그 만큼 강도손실은 작게 되지만 콘크리트 시편 내에 큰 열구배가 생겨 미세 균열이 생겨서 강도에 있어서의 감소를 가져 오게 된다. 비교적 높은 온도인 600°C 이상에서는 대부분의 수분이 소멸하고 대부분의 미세균열이 발생하여 더 이상 가열속도의 영향이 지배적이지 못하다.

3.1.3 최고온도 노출시간의 영향

노출시간을 30, 60, 90분으로 하여 시험한 결과 노출 시간의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 대부분의 강도손실은 2시간 이내에 발생하고, 2시간 이후엔 그 영향이 거의 없으며 온도레벨이 증가함에 따라 그 효과는 감소한다는 의견이 있는 반면에 고온에서(400°C~600°C) 그 효과가 더욱 현저히 나타난다는 상반되는 의견이 있다. 그러나 미약하지만 노출지속시간이 길수록 강도손실률이 클 것으로 사료된다.

3.1.4 배합비의 영향

수분의 양과 시멘트의 양이 많은 경우가 잔류강도가 높게 나왔으며 600°C에서는 두 배합비의 경우가 거의

일치했다. 결국 일반적으로 시멘트함유량이 많을수록 고온에 노출시 거동이 양호하다고 할 수 있다.

3.2 열전도율 이론

열전도(Thermal Conduction)란 같은 재료에 온도차가 있을 경우, 높은 온도의 분자에서 인접한 다른 분자로 열을 전달시키는 과정을 의미한다. 일반적으로 단열재란 열전도율을 작게 하여 열흐름을 차단하는 제품을 말하며 통상 0.06kcal/mh°C이하의 열전도율을 갖는 재료를 말한다.

최대한도까지 수증기를 함유한 공기를 “포화상태에 있는 공기”라 하는데, 고온이며 수증기를 많이 함유한 공기가 찬면에 닿으면 온도가 내려가서 포화상태를 넘고, 이것이 물이 되어 찬면등에 응축되는데 이 현상이 결로라 한다.

단열이란 열의 이동방지를 의미하며, 필요한 열을 필요한 장소에 보관하고, 불필요한 열을 방출하는 것으로 어떤 조건하에서 물방울이 맺는 현상을 표현하는 말로써, 일정기압 아래에서 공기가 함유할 수 있는 수증기의 양은 온도에 따라 결정되고, 온도가 높을수록 많아진다.

콘크리트의 열전도율은 배합비, 강도, 골재의 성질, 함수상태 등에 따라 다르며 콘크리트의 비중이 작을수록, 밀도가 낮을수록, 단위시멘트량이 작을수록, 가열온도가 높을수록 열전도율이 작아진다. 열전도율은 대체적으로 물질과 열의 이동에 의존되며, 콘크리트내부에서 물리, 화학적 반응이 중요한 역할을 한다. 상온하에서 습윤상태인 콘크리트의 열전도율은 매우 높다. 그 이유는 골재의 열전도율이 가장 높고, 공극의 사이가 수분으로 채워지기 때문이다.

1) 열전도율과 배합

단위수량이 일정한 콘크리트에서 단위골재량이 클수록 열전도율이 낮아지고, 단위시멘트량이 크면 열전도율은 증가한다. 또한 물시멘트비가 큰 콘크리트 혼합에 있어서는 열전도율이 낮은 기공이 콘크리트에 포함되며, 콘크리트 함수량의 감소에 따른 온도증가와 함께 열전도율이 감소한다. 또한 완전탈수가 되었을때는 시멘트 페이스트의 분해가 발생되어 열전도율은 더욱 낮아지게 된다.

2) 열전도율과 밀도

밀도와 열전도율의 관계는 일반적으로 밀도가 낮은 것일수록 열전도율도 작아진다. 즉 밀도가 낮은 경량콘크리트는 미세한 공기포를 무수히 내포하고 있다. 이와 같은 콘크리트에 대한 열전도는 공기포를 피해서 주로 콘크리트 실체로 전달하게 된다. 따라서 공기포를 많이 포함한 것일수록 비중이 낮아지고 열전도율도 작아진다.

Table 3. 단열재의 등급분류4)

등급 분류	열전도율의 범위 (KS L 9016 KS F 2277에 의한 20±5°C 시험조건에 의한 열전도율)		KS M 3808, 3809 및 KS L 9102에 의한 해당 단열재 및 기타 단열재
	W/mk	kcal/mh°C	
가	0.034 이하	0.029	-압출법보온판 특호, 1호, 2호, 3호 -경질우레탄폼 보온판 1종 1~3호 및 1~3호 -기타단열재
나	0.035~0.040	0.030~0.034	-비드법보온판 1호, 2호, 3호 -암면 보온판 1호, 2호, 3호 -유리보온판 2호 -기타 단열재
다	0.041~0.046	0.035~0.039	-비드법 보온판 4호 -기타 단열재
라	0.047~0.051	0.040~0.044	-기타 단열재로서 열전도율이 0.047 ~ 0.051 W/mk(0.040 ~ 0.044 kcal/mh°C)이하인 경우

3) 열전도율과 골재의 종류

골재의 광물학적 성질은 콘크리트의 열전도율에 상당한 영향을 미치게 되며, 일반적으로 현무암은 낮은 열전도율을 가지게 되고 백운석과 석회암은 중간정도이며 수정은 매우 높은 열전도율을 가진다.

4) 열전도율과 온도

열전도율은 주위 온도에 영향을 받으며 온도증가에 따른 일반적인 영향은 보통콘크리트인 경우 열전도율이 약간 저하된다10).

접착력이 손실된 미분을 치환하게 되면 강도가 상당히 감소될 것을 감안하여 혼화제를 고강도 콘크리트용에 사용되는 폴리카본산계 고성능 AE감수제를 사용함으로써 강도완화를 기대7)하였으며 배합표는 Table 4와 같다.

배합은 강제식 믹서기를 이용하였으며, 공시체 제작은 KS F 2425 규정에 따라 제작하였다. 공시체 제작 및 양생은 성형 후 20±3°C의 습윤상태에서 재령 28일 까지 양생 후 강도시험을 행하였다.

4. 연구방법

4.1 콘크리트 배합설계

배합설계는 D레미콘의 24MPa 강도의 것을 사용하여 시멘트비를 2%, 4%, 6%, 8%, 10% 미분으로 치환하여 실험에 도입하였다14).

Table 4. 콘크리트 배합설계

단위 : kg

비율	P	C	W	G	S	ad	total
N	0	344	180	942	838	1.72	2300
2%	6.88	337.12					
4%	13.76	330.24					
6%	20.64	323.36					
8%	27.52	316.48					
10%	34.40	309.60					

* N : 0%, P : 미분

4.2 실험방법

(1) 내화시험(KS F 2257-1)

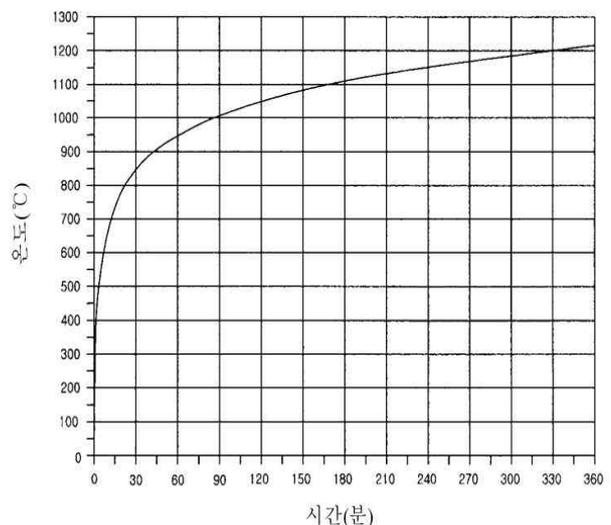


Figure 5. 표준 시간 - 가열 온도 곡선

∅10cm×20cm 공시체를 채령 28일간 20±3℃로 수중 양생 후 각 비율별로 전기로에 넣고 내화시험방법(KS F 2257-1)의 규정에 따라 200℃~600℃의 온도 내에서 200℃, 400℃, 600℃ 3간격으로 구분하여 강도값에 따른 미분의 치환비율별로 나누어 구분하고 노출지속시간을 1시간으로 유지하는 것으로, 200℃에서 1시간 유지, 400℃ 1시간 유지, 600℃ 1시간유지한 후 3시간 경과로 식혀서 아직 온열이 있는 상태에서 압축강도 시험을 하는 것으로 하였다. 가열로 내부 및 공시체 중심부 온도는 K타입 열전대(NiCr-Ni, 온도측정 범위 -200℃~1370℃)를 사용하여 측정하였다. 본 실험은 Figure 5의 표준시간-가열온도곡선을 참고하여 수행하였으며 전기로는 Figure 6에 나타나있다.

(2) 열전도율 측정(KS L 9016)

시험방법으로는 평판직접법(보호 열판법), 평판비교법, 평판열류계법, 원통법등이 있으나 본 실험에서는 30cm×30cm×1.5cm의 공시체를 제작(채령 28일)하여 평판비교법을 적용하여 실험을 수행하였다.

측정방법은 다음과 같다.

- ① 열전대의 측은 접점을 Figure 7과 같이 각 경계 각각의 면 중앙에 설치, 전체를 고정한다.



Figure 6. 전기로

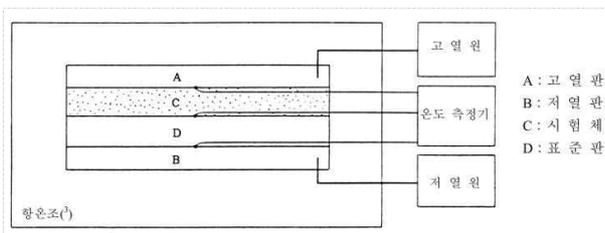


Figure 7. 평판비교법 측정 장치의 구성



Figure 8. 열전도율 측정기

- ② 시험체 주위를 충분히 단열하거나 측정 장치 몸체를 항온조 속에 수용하여 시험체 외각에서의 열손실이 적게 되도록 항온조의 온도를 조절한다.
- ③ 표준판 및 시험체 각각의 양면에 5℃ 이상의 온도차를 부여한다.
- ④ 정상상태에 도달한 것을 확인하기 위해 표준판 및 시험체의 표면 온도를 10~30분 간격으로 측정한다.

열전도율의 산출식은 다음과 같다.

$$\text{열전도율}(W/m \cdot K) = \frac{l}{Rc}$$

$$Rc = \frac{l_0}{\lambda_0} \times \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta_0}$$

여기에서 l = 시험체의 두께(m)

Rc : 시험체의 열저항($m^2 \cdot K/W$)

l_0 : 표준판의 두께(m)

λ_0 : 표준판의 평균 온도에 대한 열전도율($W/m \cdot K$)

$\Delta\theta$: 시험체 온도차($K(^\circ C)$)

$\Delta\theta_0$: 표준판 온도차($K(^\circ C)$)

※ 열전도율이 작을수록 단열효과가 크다는 것을 의미한다.

5. 실험결과

5.1 내화실험 결과

미분 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도 실험결과 는 Table 5 및 Figure 9에 나타내었다.

미분의 치환율이 증가할수록 압축강도는 미분을 사용하지 않은 콘크리트의 압축강도에 약 2~3MPa 정도가 일정하게 감소하였다. 이러한 강도저하는 접착력 손실된 미분이 시멘트와 반응하지 않으며, 혼화제로서의 기능이 없기 때문이라 판단된다. 하지만 폴리카본산계 AE감수

Table 5. 각 온도별 압축강도 결과

단위 : MPa

Variable	(N)	200°C	400°C	600°C
Normal	40.78	38.31	35.43	19.34
2%	38.38	35.44	31.94	17.22
4%	37.31	34.38	30.38	16.91
6%	35.88	33.50	28.51	15.05
8%	33.35	31.19	25.26	14.41
10%	32.47	29.14	24.02	13.48

* (N) : 기본 공시체(0°C)

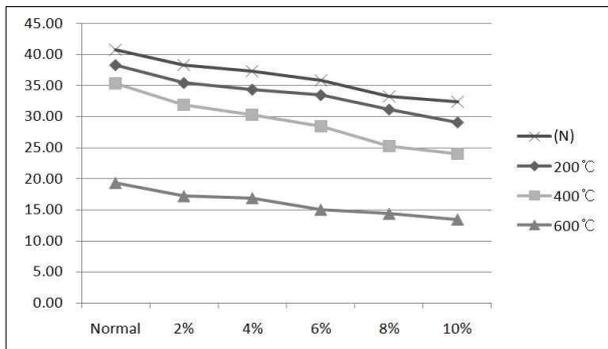


Figure 9. 각 온도별 압축강도 결과 그래프

제의 사용으로 모든 변수들의 압축강도결과는 기존의 일반콘크리트의 압축강도인 24MPa 이상으로 나타났다.

고온을 받은 콘크리트는 골재종류에 따라 강도감소에 영향을 받는다는 점을 고려하였을 때 순환골재를 이용한 콘크리트의 내화성은 천연골재를 사용한 콘크리트와 비교해 볼 때 커다란 차이가 없음을 알 수 있다.

5.2 열전도율 실험결과

본 콘크리트는 단열재 수준의 측정값은 나오지 않았지만 건축법상 콘크리트의 단열기준에 적합하였으며 실험결과는 Table 6에 나타나있다.

Table 6. 열전도성 시험결과

단위 : W/m · K

Variable	Result1	Result2	Result3	Average
Normal	0.218	0.207	0.226	0.217
2%	0.249	0.193	0.273	0.238
4%	0.249	0.200	0.288	0.246
6%	0.236	0.261	0.159	0.219
8%	0.194	0.206	0.218	0.206
10%	0.182	0.208	0.266	0.219

6. 분석

6.1 내화실험 분석

(1) 본 연구에 압축강도실험은 24MPa 강도의 일반콘크리트에 비해 높은 강도를 나타냈으며 실험의 최대 미분치환율인 10% 또한 적절한 강도를 나타남을 알 수 있다.

(2) 200°C~400°C 사이는 각각 5~10%의 강도 감소를 보이나 600°C에서는 약 50%정도의 강도감소가 나타났다.

(3) 고온 노출시 미분의 치환율과는 상관없이 각 Variable 당 일정한 감소를 유지하므로 미분이 고온에서 특정한 작용이 없음을 알 수 있다.

6.2 열전도율 분석

(1) 미분 자체에 목재, 벽돌, 유리 및 섬유류 등의 부스러기 등이 불순물로 소량 혼재되어있음을 고려하여 단열성능을 기대하였지만 극히 소량이라 단열효과에는 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

7. 결론

(1) 미분 치환율(2~10%)에 따라 압축강도가 감소하는 비율을 고려하여 볼 때 순환골재로 배합한 콘크리트에 적절한 혼화제(AE감수제)를 사용한다면 미분을 15%이하 치환하는 경우 강도측면은 만족한다고 사료된다.

(2) 순환골재를 이용한 콘크리트의 내화성은 고온 노출시 천연골재를 이용한 콘크리트와 동등한 강도감소가 작용한다.

(3) 미분혼합에 따른 단열효과는 기대하기 어렵지만 건축법상 콘크리트의 단열기준에는 적합하다.

8. 참고 문헌

- [1] A. M. Neville, "Resistance of Concrete to Fire and Influence of Temperature on Strength", Properties of Concrete, pp. 498~506, 1982.
- [2] B. Georgali, P. E. Tsakiridis, "Microstructure of fire-damaged concrete: A case study", Cement & Concrete Composites, Vol. 27, pp. 255~259, 2004.

- [3] Z. P. Bazant, M. F. Kaplan, "Concrete at high temperature: Material properties and mathematical models, Longman, U.K., 1996.
- [4] 대한건축사협회, "에너지 절약형 건축설계 핸드북 (주택편)", 대한건축사협회, 1990.
- [5] 손기상, "페타이어 콘크리트 화재 특성에 관한 실험적 연구", 한국화재소방학회지 제16권 제1호, pp. 22~26, 2002.
- [6] 이승환, 최익창, 한상국, "재생미분말의 유해성 분석 및 재생미분말을 혼입한 콘크리트의 특성", 해양환경안전학회, 제14권, 제4호, pp. 289~295, 2008.
- [7] 이완조, "고강도용 폴리카르본산계 고성능 감수제가 사용된 콘크리트의 성능", 한국세라믹학회, 제42권, 제3호, pp. 182~187, 2005.
- [8] 이정구, "폐콘크리트 슬러지를 사용한 밀도 조절형 경량블록 개발에 관한 기초적 연구", 공주대학교 대학원, 2008.
- [9] 이중원, "고온을 받은 콘크리트의 특성변화 및 손상도 평가에 관한 연구", 연세대학교, 2009.
- [10] 정국환, "팽창점토골재를 사용한 경량골재콘크리트의 열전도율에 관한 실험적 연구", 연세대학교, 1993.
- [11] 정상진, 이영도, "고온하에서의 콘크리트 정상변화", 콘크리트학회지, 제9권 제4호, pp. 25~30, 1997.
- [12] 조병현, 손기상, "중이 혼합 콘크리트의 내화특성 실험연구", 대한안전경영과학회, 제9권 제4호, pp. 83~90, 2007.
- [13] 최룡, "폐콘크리트 재생미분의 재활용기술 개발 방향과 시멘트-콘크리트의 자원순환체제 구축을 위한 정책 제언", 한국과학기술정보연구원, 2004.
- [14] 홍세화, 손기상, 최재남, "폐콘크리트 순환자원을 이용한 건설재료의 특성연구", 한국안전학회, 제25권, 제2호, 2010.

저자 소개

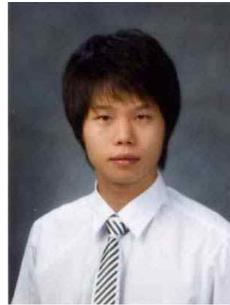
최재남



경희대학교 건축공학 학사, 서울과학기술대학교 안전공학 석사, 현 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 박사과정 및 (주)건우CNC 전무이사, 건설안전기술사, 건축시공기술사

주소: 서울시 구로구 구로3동 197-5 삼성IT밸리 803호

홍세화



한경대학교 안전공학 학사, 현 서울과학기술대학교 안전공학 석사과정. 관심분야는 건설안전, 건설재료, 산업안전

주소: 서울시 노원구 공릉2동 172번지 서울과학기술대학교 미래관 B105 건설안전연구실

손기상



연세대학교에서 석사, 박사. 중동 The State of QATAR 국립제철소 시공(日本大成建設) 및 U. S Army Corps of Engineers FEDCOE Inspector와 한국산업안전공단 산업안전교육원 교수

현 서울과학기술대학교 안전공학과 교수. 관심분야는 건설안전, 구조안전

주소: 서울시 노원구 공릉2동 172번지 서울과학기술대학교 안전공학과