

메타카올린과銅슬래그를 활용한 콘크리트의 特性[†]

[‡]金南旭 · 金鶴元 · 裴主星*

全北大學校 大學院 土木工學科, *全北大學校 工科大學 土木工學科, 工業技術研究센터

Properties of Mixed Concrete Using Metakaolin and Copper Slag[†]

[‡]Nam-wook Kim, Hak-won Kim and Ju-seong Bae*

The Graduate School, Department of Civil Engineering, Chonbuk National University

*Department of Civil Engineering, Chonbuk National University, RCIT

요 약

콘크리트 제조시 많은 에너지가 소모되며 특히 결합재인 시멘트는 제조과정에서 다량의 CO₂를 배출하기 때문에 이러한 부정적인 인식을 해소하기 위한 노력이 진행되고 있으며, 최근 들어 환경 친화적인 에코 콘크리트의 제조 및 적용에 대한 관심이 높아지고 있다. 에코 콘크리트는 환경부하의 저감, 산업폐기물의 활용 및 환경관련 성능의 향상 등 다양한 접근 방법이 있으며 이러한 방법들이 국내에 정착하기 위해서는 지속가능한 개발로 친환경 성능이 개선된 콘크리트의 제조에 관한 연구가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 콘크리트용 시멘트 및 골재를 천연재료인 메타카올린 및 산업부산물인 동슬래그로 대체 활용한 환경 부하 저감 목적의 에코형 혼합콘크리트를 제작한 후 각 중 시험결과를 통하여 그 활용 가능성을 고찰하였다.

주제어 : 에코콘크리트, 메타카올린, 동슬래그, 혼합콘크리트, 대체율

Abstract

Much energy is consumed up when making a concrete. And especially, because lots of CO₂ is discharged for combination material, cement, we are making efforts in order to get rid of this negative thought. Recently, much interest is given to manufacturing eco concrete which is environment friendly and its' application. We should study manufacturing of the concrete whose environment friendly performance should be improved as consistent development concept in order for various approaches to be settled down our country such as lowering of environmental load, utilization of industry wastes and improvement of environment related performance. This study inquired into utilization possibility through from various tests results after manufacturing eco type mixed concrete whose purpose is to lower environmental load in which cement and aggregates can be replaced with metakaolin which is natural material and copper slag which is industry by product.

Key words : Eco concrete, Metakaolin, Copper slag, Mixed concrete, Substitution ratio

1. 서 론

경제규모의 증가 및 산업화가 진행됨에 따라 생활의 윤택함은 누리게 되었지만 이에 비례하여 야기되는 환경오염 및 자원의 고갈문제는 큰 부담이 되고 있다. 이와 같은 환경 및 자원문제를 해결할 수 있는 방법으로

여러 가지 방안이 제시되고 있으며 그 중 산업부산물의 재활용에 사회적 관심이 대두되고 있다. 우리나라의 경우, 산업 활동 과정에서 발생하는 산업부산물을 적극적으로 재활용하는 자원순환형 폐기물 관리체계가 본격화되고 있는데, 연간 발생하는 산업폐기물의 약 60% 정도가 건설폐기물인 현 실정을 감안할 때 특히 건설 분야에서 이에 대한 관심이 더욱 필요하다.¹⁾

자원의 재활용에 관련하여 여러 가지의 접근방법이 제시되고 있으며 다양한 견해가 분출되고 있으나 역시

[†] 2009년 10월 13일 접수, 2009년 12월 9일 1차수정
2010년 1월 11일 수리

*E-mail: asahi00@jbnu.ac.kr

가장 효율적인 방안은 기존 자원을 보호하면서 다량으로 배출되는 폐기물을 충분히 활용하는 방안을 들 수 있다. 현재, 건설재료 분야에서 논의될 수 있는 가장 큰 문제점중의 하나는 골재의 수급이며 양질의 대체골재를 확보하는 것이 무엇보다 중요한 문제로 인식되고 있다.²⁾ 대체골재로는 현재 폐콘크리트로부터 얻어지는 순환골재 및 산업부산물을 활용한 골재를 들 수 있는데, 그 중 슬래그의 이용률이 높다. 본 연구에서는 각 종 슬래그 중 특히 동제련소에서 얻어지는 산업부산물인 동슬래그를 천연 잔골재의 대체재로 활용하고자 하였다. 한편, 콘크리트 제조에 필수적인 시멘트는 대표적인 에너지 다소비 제품이며 또한 인체 내의 위해성에 대한 가능성 등의 논란이 있어 시멘트의 사용량을 부분적으로 제한하여 생산하는 에코시멘트의 개발 또한 활발히 논의되고 있는데 본 연구에서는 이를 위하여 천연재료인 고령토에서 추출되는 카올린을 이용하여 제조되는 메타카올린을 시멘트의 대체재로 치환하여 사용하였다.

에코 콘크리트는 환경부하의 저감, 산업폐기물의 활용 및 환경관련 성능의 향상 등 다양한 접근 방법을 가질 수 있으며 향후 이러한 연구결과 들이 국내에 정착하기 위해서는 지속가능한 개발의 개념으로 친환경 성능이 개선된 콘크리트의 제조 연구가 필요하며, 본 연구에서는 콘크리트의 배합에 사용되는 재료인 시멘트 및 골재를 천연재료 및 산업부산물을 대체재로 활용한 에코형 혼합콘크리트를 제작한 후 각 종 시험결과를 통하여 환경 부하 저감형 에코콘크리트의 제조 가능성에 관련한 연구를 수행하여 그 활용 가능성을 고찰하였다.

2. 주요 사용재료 및 시험방법

2.1. 주요 사용재료

2.1.1. 동슬래그

동슬래그는 동제련 과정에서 얻어지는 산업부산물로서 그 특성은 동제련 공정의 생산방식에 따라 약간의 차이가 있으며 현재 자용로 공법 및 연속 공법으로 나누어지고 있다.³⁾ 동슬래그는 지난 2000년에 KS F 2543(콘크리트용 동슬래그 골재)의 제정으로 골재로서 사용할 수 있는 토대를 세웠으며, 2004년 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트) 개정 시 콘크리트용 골재로서 사용

할 수 있도록 규정되어 건설용 골재로서 사용할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 동슬래그를 천연 잔골재의 대체골재로서 활용하고자 하였으며 그 대체율은 0%, 25%, 50%, 75% 및 100%로 하여 대체율에 따른 특성을 파악하고자 하였다.

본 연구에서 사용한 동슬래그는 자용로에서 생산된 국내 L사의 제품이며, 그 물성 및 화학적 성분은 Table 1 및 Table 2와 같고 그 형상은 Fig. 1과 같다.

한편, 동슬래그의 환경적인 유해성을 검토하기 위하여 폐기물공정시험법에 의한 용출시험 결과를 Table 3에 나타내었다.⁴⁾ 시험 결과, 일부는 전혀 검출되지 않았으며 미량 검출된 물질도 있으나 모두 허용기준치 보다 매우 낮게 나타나 동슬래그 사용으로 인한 환경유해성 문제는 없을 것으로 판단된다.

2.1.2. 메타카올린

메타카올린은 최근 들어 실리카폼의 대체재 및 고강도 콘크리트의 제조 시에 그 활용방안이 증가되고 있는 추세이다. 일반적으로 메타카올린은 고령토에 함유되어

Table 1. Properties of used copper slag

Items	Remarks
shape	round
density	3.7g/cm ³
unit weight	2,400
absorption rate	0.25%
solid volume	60.2%

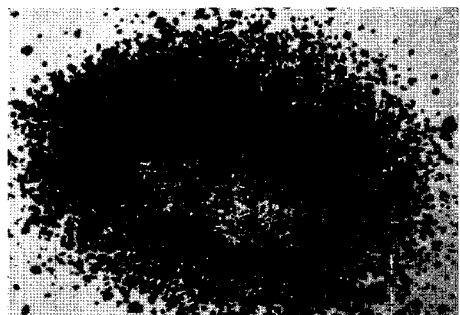


Fig. 1. Shape of used copper slag.

Table 2. Chemical components of copper slag

Cu	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Free CaO
0.95%	4.63%	0.96%	4.76%	39.67%	3.74%	32.35%	under 0.02%

Table 3. Results of leaching test of copper slag

Material	Pb	Cu	As	Hg	Cd	Cr	CN	P
Unit	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Limit (under)	3.0	3.0	1.5	0.005	0.3	1.5	1.0	1.0
Result	0.08	0.40	ND	ND	0.01	ND	ND	ND

*ND : Non detected(미검출)

Table 4. Chemical compositions and properties of used metakaolin

Kinds	Composition(%)							Density (g/cm ³)	Specific gravity (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O		
Cement	21.4	5.1	2.99	0.32	64.0	1.6	0.79	3.15	3,360
Meta-kaolin	52.1	45.3	0.60	1.64	0.05	-	0.37	2.50	150,000

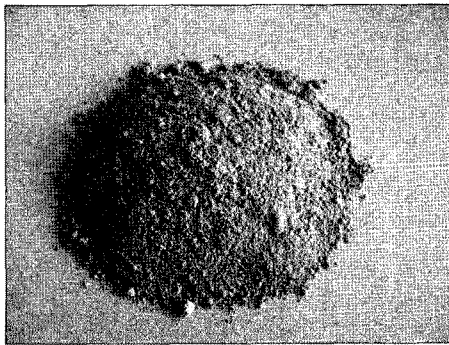


Fig. 2. Shape of used metakaolin.

있는 카올린을 특수 처리하여 제조하는데 국내의 경우, 경남지역에 그 매장량이 풍부하여 취득이 용이하다. 메타카올린의 효능은 단계적으로 ettringite의 생성과 시멘트 중의 C₃S의 활성화로 초기강도가 증가되며 중장기적으로 시멘트내의 수산화칼슘과의 포졸란 반응으로 압축강도 및 내구성을 향상시키므로 국내의 경우도 이러한 메타카올린을 고강도 콘크리트의 혼화재료로서 활용하기 위한 연구가 점차 관심을 받고 있다.⁵⁾

본 연구에서는 메타카올린을 혼화재료로서 시멘트의 대체재로 사용하였으며, 그 대체율은 기존 연구결과에서 적정량으로 알려진 시멘트 중량 대비 10%로 고정하였다. 본 연구에서 사용한 메타카올린의 화학적인 성분 및 물성은 Table 4와 같고 모양은 Fig. 2에 나타내었다.

2.2. 배합

본 연구에서는 메타카올린 및 동슬래그를 사용하지 않은 OPC 콘크리트 및 메타카올린의 대체율은 10%로

고정하고 동슬래그의 대체율을 0, 25, 50, 75 및 100%로 변화시켜 제조한 혼합형 콘크리트 등 총 6 종류를 제조하였다. OPC콘크리트의 설계강도는 30MPa, 혼합형 콘크리트 목표설계강도는 60MPa, W/B=30%이며, 목표 슬럼프를 얻기 위해 고성능감수제(SP)를 사용하였으며, 도출한 배합표는 Table 5와 같다.

2.3. 주요 시험 방법

2.3.1. 블리딩 시험

동슬래그는 천연잔골재에 비해 비중이 커서 대체율이 클수록 비중 차에 의한 재료분리 현상이 발생하기 때문에 블리딩 시험을 수행하였다. 블리딩시험은 KS F 2414 (콘크리트의 블리딩시험 방법)의 기준에 따라 실시한 후 다음 식(1)로부터 블리딩량(B_q)을 산정하였다.

$$B_q = \frac{V}{A} \tag{1}$$

여기서, B_q : 블리딩 량 (cm³/cm²)

V : 마지막까지 누계한 블리딩에 따른 물의 용적

A : 콘크리트 윗면의 면적

2.3.2. 내화학저항성시험

내화학성 저항성 시험은 주변 환경조건이 콘크리트 구조물에 미치는 영향, 즉 내구성을 평가하기 위한 시험으로 주어진 환경 조건에 따라 사용 용액을 달리한다. 콘크리트의 내화학 저항성 시험은 현재 한국산업규격화가 되어 있지 않아 외국 시험규격을 이용하고 있는데 본 연구에서는 일본 JIS A 1193(콘크리트의 용액 침적

Table 5. Mixing design of eco type mixed concrete

Specimens	G _{max} (mm)	W/B (%)	S/a (%)	slump (mm)	air (%)	unit weight (kg/m ³)						
						W	B		S		G	SP
							C	MK	S	CS		
M10S0C	25	30	40	150	4.0	174	522	58	603	0	943	7.8
M10S25C*									452	199	940	7.8
M10S50C									301	398	936	7.8
M10S75C									151	597	932	7.8
M10S100C									0	796	928	7.8

Remark : M10S25C* - usage of metakaolin(10%), usage of copper slag(25%)

G_{max} : Maximum size of coarse aggregate, W/B : Water-binder ratio,

S/a : Ratio of fine aggregate, SP : Superplasticizer

Table 6. Chemical components of artificial seawater (g/L)

NaCl	MgCl ₂ ·6H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	KCl
24.53	10.42	4.09	1.16	0.69

에 의한 내약품성 시험방법)에 따라 실시하였다. 이 시험방법은 산 또는 염류 등의 용액에 시험체를 함침 시킨 후 압축강도시험을 수행하고, 수중양생 시킨 시험체의 압축강도와 비교하여 평가한다.

본 연구에서는 제조한 콘크리트를 향 후 해양구조물에 적용하기 위하여 재령 28일의 시험체를 ASTM D 1141의 기준에 의거 제조된 인공해수에 28일 동안 함침하여 재령 56일 후에 압축강도를 측정하여 수중 양생한 56일 시험체의 압축강도와 비교 평가한 후 압축강도의 감소율로서 저항성을 판단하였다.⁶⁾ 한편, 인공해수의 화학적 성분은 Table 6에 나타내었다.

2.3.3. 길이변화시험

건조수축 등에 의한 길이변화는 콘크리트 균열발생의 원인이 되고 내구성에도 나쁜 영향을 미치는 매우 중요한 성질이다. 본 연구에서는 KS F 2424(모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험)의 기준에 따라 20±2 온도에서 7일간 수중양생 후 양생온도 20±1, 상대습도 60±3%의 항온항습 조건에서 길이변화를 측정하였다.

2.3.4. XRD 분석

동슬래그 및 메타카올린의 대체에 따른 혼합형 콘크리트의 수화에 따른 내부조직을 파악하고자 5×5×5cm 크기의 시멘트 페이스트 시험체를 제조하여 온도 20±2에서 수중양생한 후 재령 28일 시험체의 XRD(X-Ray Diffractometer) 분석을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 슬럼프 및 공기량

각 시험체의 슬럼프 값과 공기량 측정결과는 각각 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 슬럼프 측정결과, 모든 시험체는 목표슬럼프를 만족하였으며, 동슬래그 대체율 50%까지는 슬럼프가 증가하는 경향을 나타내었는데 이러한 경향은 기존의 연구결과와 일치하였으며 그 이유는 동슬래그의 입도 및 입형 때문이라고 판단된다.¹⁾ 즉, 일반적으로 동슬래그는 제조시에 일정한 크기별로 산출되는데 이를 활용하기 위해서는 입도를 조정해 가면서 입도분포곡선을 만족하도록 하지만 천연골재 보다는 세립분의 함유량이 적어 슬럼프가 증가한 것으로 판단된다. 그러나 대체율 50% 이상에서는 슬럼프가 다소 감소되었는데, 이는 동슬래그의 밀도 및 단위용적이 천연골재보다 높기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 모든 시험체의 공기량은 목표 공기량을 만족하여 메타카올린의 첨가 및 동슬래그 대체율에 따른 공기연행성의 문제는 없는 것으로 판단된다.

3.2. 블리딩

동슬래그를 천연골재의 대체재로 사용할 경우 가장 우려 되는 부분은 블리딩 량의 증가라 할 수 있다. 일반적으로 천연골재의 밀도는 2.5~2.6 g/cm³ 정도 인데 비해서 동슬래그의 경우는 제품마다 차이는 있지만 보통 3.5 g/cm³ 이상 이므로 이를 사용한 콘크리트 제조시 비중 차에 의한 재료분리 현상이 발생할 가능성이 크며

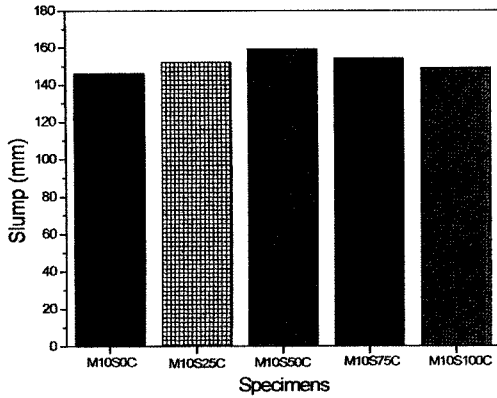


Fig. 3. Results of slump test.

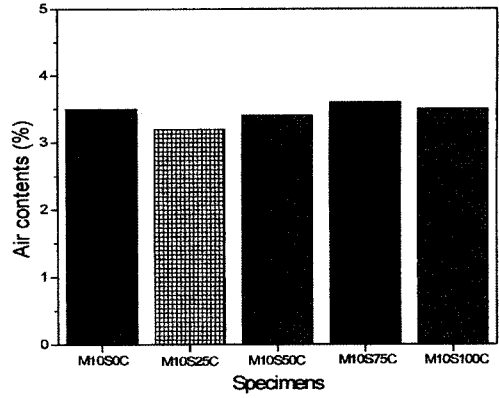


Fig. 4. Results of air test.

Table 7. Results of bleeding test

Specimens	Bleeding (cm^3/cm^2)	Remarks
S0C	0.20	non metakaolin
S50C	0.46	
S100C	0.57	
M10S0C	0.11	addition of metakaolin
M10S50C	0.18	
M10S100C	0.29	

기존연구에서도 이에 대한 내용이 지적되고 있다.⁷⁾ 본 연구에서 측정된 블리딩 측정 결과를 Table 7에 나타내었다. 블리딩시험의 경우, 메타카올린의 영향을 배제하여 순수한 동슬래그 혼입에 따른 영향을 고찰하고자 동슬래그만을 사용한 시험체를 제작하여 그 결과를 고찰하였다. 실험 결과, 동슬래그만을 사용한 시험체의 경우는 동슬래그의 대체율이 증가할수록 블리딩량이 증가하여 동슬래그를 100%로 대체한 경우, 동슬래그를 사용하지 않은 OPC콘크리트에 비해 약 2배 이상 증가한 것을 알 수 있다. 그러나 메타카올린과 동슬래그를 혼용하여 제조한 혼합형 콘크리트의 경우 블리딩량이 크게 감소되었다. 이러한 현상은 상대적으로 낮은 결합재비 및 메타카올린으로 인한 결과라고 판단된다. 따라서 본 연구에서 제작한 혼합형 콘크리트의 경우는 동슬래그 사용으로 인한 재료분리 현상은 거의 발생되지 않을 것으로 예측되며 동슬래그 사용 시 우려되는 재료분리 현상의 억제에 메타카올린의 첨가가 유용할 것으로 판단된다.

3.3. 압축강도

각 시험체의 재령 7일, 28일 및 56일에서의 압축강도 측정결과는 Fig. 5에 나타내었다. 결과로부터, 메타

카올린과 동슬래그를 대체한 모든 시험체의 압축강도가 모든 재령에서 OPC콘크리트 보다 크게 나타났으며, 특히 초기재령에서 더욱 크게 나타났다. 일반적으로 메타카올린을 대체한 경우 압축강도의 증진이 이루어 지는데 이는 실리카 흙의 강도 증진현상과 유사한 것으로 메타카올린이 시멘트 보다 분말도가 훨씬 높기 때문에 비표면적이 커서 수화반응이 활발하게 진행될 수 있으

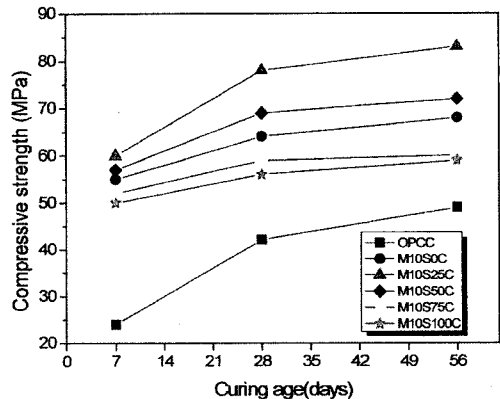


Fig. 5. Results of compressive strength.

Table 8. Results of resistance to chemical attack test

Specimen	Compressive strength (MPa)			Remarks
	water curing	solution curing	decrease rate	
OPCC	49	44	10.2 %	total curing age : 56 days (water curing 28days + solution curing 28days)
M10S0C	68	65	4.4 %	
M10S25C	83	80	3.6 %	
M10S50C	72	68	5.6 %	
M10S75C	60	56	6.7 %	
M10S100C	59	54	8.5 %	

며, 또한 SiO₂의 함유량이 높아 수화반응 시 C-S-H계의 반응을 촉진하여 강도가 증가된다. 한편, 동슬래그의 대체율이 25%일 때 강도증진효과가 양호하였으며, 75% 이상 대체시에는 메타카올린만 대체한 경우보다 강도가 저하하였다. 이러한 이유는 동슬래그는 천연골재에 비해서 밀도 및 단위중량이 크며 입형 또한 콘크리트와의 부착에 유리한 각주형의 형태가 많으므로 동슬래그 대체에 따른 효과로 인해 대체율 25%까지는 압축강도가 증가하였다. 그러나 동슬래그의 경우 제조 특성 상 천연골재에 비해 세립분이 적기 때문에 내부조직이 치밀하지 않고 또한 동슬래그 자체의 밀도는 천연골재에 비해서 높으나 파쇄강도는 낮기 때문에 대체율이 증가함에 따라 오히려 압축강도가 감소된 것으로 판단된다.⁸⁾ 따라서, 동슬래그 대체에 따른 압축강도 증진 차원에서의 적정 대체율이 존재하는 것으로 판단되며 본 연구의 범위에서는 25% 정도가 적절한 것으로 나타났다.

3.4. 내화학저항성

내화학저항성 시험 결과는 Table 8에 나타냈으며, 결과로부터 혼합콘크리트의 경우 OPC 콘크리트에 비해 용액 침침 후 압축강도 감소율이 적은 것으로 나타나 염분의 침입과 같은 가혹한 환경조건하에서는 메타카올린 및 동슬래그의 대체가 효과적으로 판단된다.

즉, 인공해수 중의 주성분인 Cl⁻ 성분이 시멘트 경화체 속에 침투하므로써 콘크리트의 성능을 저하시키며 그 밖에 소량의 Mg²⁺ 및 SO₄²⁻ 이온이 콘크리트 시험체에 침투하여 Ca(OH)₂와 반응한 후 Mg(OH)₂ 및 CaSO₄·2H₂O가 생성되어 조직을 약화시켜 내부를 다공질화 시킨다.⁹⁾ 그러나 메타카올린은 포졸란 반응의 촉진을 유도하여 콘크리트 내부조직을 강화하는 효과가 있어 이에 대한 저항성이 향상되었으며 적정량의 동슬래그의 대체 또한 화학적인 저항성을 향상시킬 수 있었다.

3.5. 길이변화

본 연구에서는 KS F 2424 (모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험) 기준에 따라 재령 1주에서 8주간의 길이변화 시험을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 6과 같다. 결과로부터 동슬래그의 대체율이 증가할수록 길이변화율은 감소하였으며 천연골재만을 사용한 OPC 콘크리트에 비해 건조수축 제어효과가 있는 것으로 나타났다. 천연골재를 사용한 콘크리트의 수축 범위가 재령 8주에서 일반적으로 700×10⁻⁶~900×10⁻⁶ 정도인 것으로 알려지고 있는데, 동슬래그를 대체한 경우 이보다 낮은 500×10⁻⁶~600×10⁻⁶ 정도의 결과를 보이고 있다. 이러한 이유는 동슬래그의 흡수율이 천연골재에 비해서 낮으며 세립분의 함유량이 적어 콘크리트의 수축을 억제한 결과라 판단된다.

3.6. XRD 분석

각 시험체의 수화 반응에 따른 성분을 파악하기 위하여 실시한 XRD 분석결과는 Fig. 7과 같다. 결과로부터,

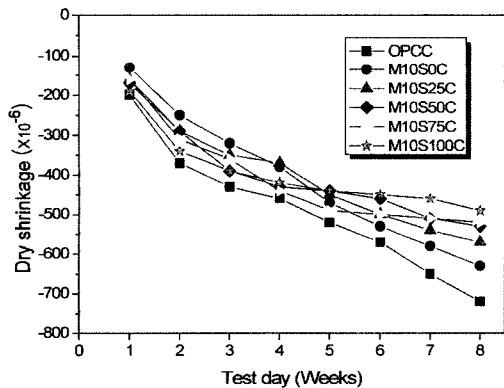


Fig. 6. Results of dry shrinkage test.

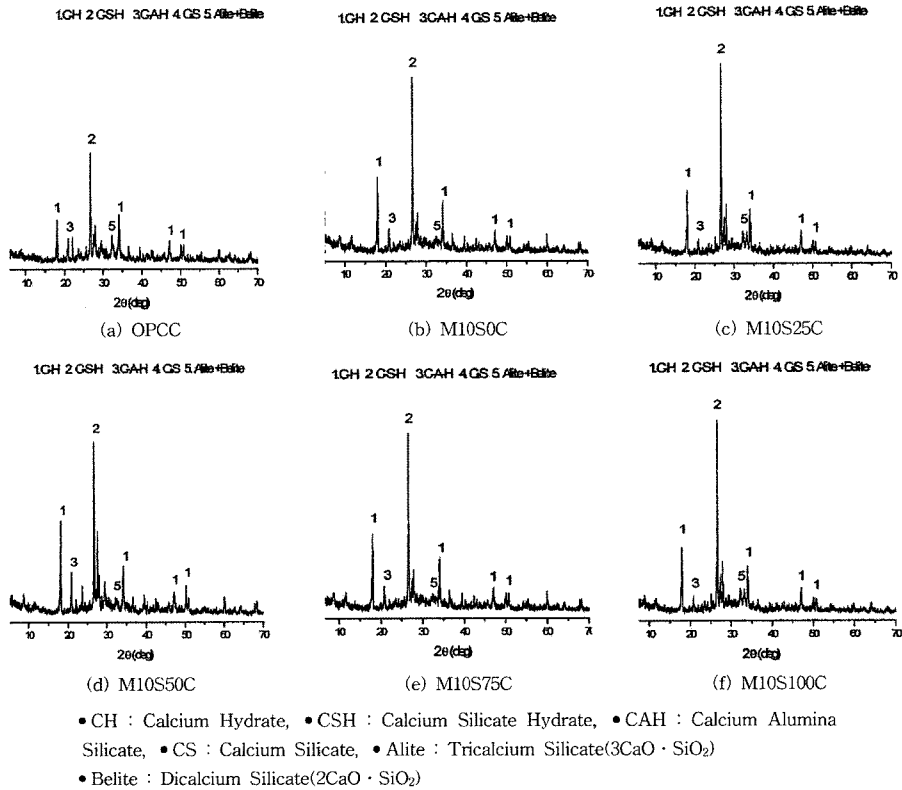


Fig. 7. Analysis results of XRD test.

OPC 콘크리트 및 혼합콘크리트의 강도(intensity) 차이는 있으나 2값이 약 26° 근방에서 모든 시험체의 C-S-H계가 피크 점을 나타내고 있음을 알 수 있었다. OPC 콘크리트의 경우 일반적으로 수화초기에 Ca(OH)₂ 및 에트링가이트(Ettringite)가 형성되어 점차적으로 재령의 경과와 더불어 C-S-H계가 증가하여 강도가 증진되는 경향이 있는데 메타카올린 및 동슬래그를 대체하여 사용한 경우 역시 유사한 경향을 나타내었다.¹⁰⁾

한편, 메타카올린을 사용한 혼합콘크리트의 경우 OPC 콘크리트에 비해 C-S-H계의 결정피크가 증가하였는데 이는 메타카올린에는 주성분인 비정질의 가용성인 SiO₂ 성분이 일반적인 시멘트의 함유량보다 약 2배 이상 높기 때문이며, 이로부터 포졸란 반응의 활발 및 C-S-H계가 우세한 치밀한 구조로 나타남을 알았다.

4. 결 론

본 연구에서 시멘트 및 골재의 대체재로 각각 천연재

료인 메타카올린 및 산업부산물인 동슬래그를 사용하여 제작한 예코형 혼합콘크리트의 활용 가능성을 규명하기 위하여 각 종 시험결과를 고찰하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 기존연구에서는 동슬래그 사용 시 일반적으로 블리딩 량의 증가로 재료분리가 발생한다고 보고되었으나 본 연구의 경우, 메타카올린의 사용으로 블리딩 량을 일정 부분 감소시킬 수 있어 동슬래그 활용 시 우려되는 재료분리 현상의 억제에 메타카올린의 첨가가 효과적임을 알 수 있었다.

2. 압축강도 측정결과, 동슬래그 대체율 25%까지는 동슬래그의 밀도 및 단위중량의 영향으로 강도가 증가하였으나 대체율 75% 이상에서는 오히려 동슬래그를 사용하지 않은 시험체보다 강도가 감소하였다. 이러한 결과는 동슬래그가 천연골재에 비해 세립분의 함유량이 부족하고 동슬래그 자체의 파쇄강도가 낮기 때문이라고 판단되며, 압축강도의 증진을 위해서는 동슬래그 대체율은 25% 정도가 적정한 것으로 나타났다.

3. 내화학적항성시험 결과, 메타카올린 및 동슬래그를 사용한 혼합콘크리트가 OPC 콘크리트에 비해 화학용액 침침 후 압축강도의 감소율이 적은 것으로 나타나 염분의 침입과 같은 가혹한 환경조건하에서는 메타카올린 및 동슬래그의 대체가 효과적임을 알 수 있었다.

4. 길이변화시험 결과, 동슬래그의 대체율이 증가할수록 길이변화율은 감소한 것으로 나타나 천연골재만을 사용한 OPC 콘크리트에 비해 건조수축 제어에 효과적임을 알 수 있었다. 이러한 이유는 동슬래그의 흡수율이 천연골재에 비해서 낮으며 세립분의 함유량이 적기 때문에 나타난 결과라 판단된다.

5. XRD분석 결과, 메타카올린 및 동슬래그로 대체한 혼합콘크리트의 경우, 새로운 수화물질의 생성은 파악되지 않았으나, OPC 콘크리트에 비해 C-S-H계의 결정 피크가 증가하였는데 이는 메타카올린의 주성분인 SiO₂의 함유량이 시멘트에 비해 약 2배 이상 많기 때문에 나타난 결과이며, 이로 인해 압축강도가 증가한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김남욱, 김혁중, 배주성, 2008: 표면처리방법을 이용한 순환 굽은골재의 물성 평가 및 순환골재콘크리트의 특성 연구, 대한토목학회 논문집, 제28권 제4A호, pp. 603-609.
2. 김남욱, 여동구, 송준호, 배주성, 2007: 메타카올린을 사용한 고강도콘크리트의 모세관공극특성과 전위차 염소이온 확산계수에 관한 연구, 콘크리트학회 논문집, 제19권 4호, pp. 498-506.
3. 김남욱, 배주성, 2009: 급냉제강슬래그의 대체율에 따른 콘크리트의 특성에 관한 기초적 연구, 구조물진단학회 논문집, 제13권 1호, pp. 78-87.
4. 송태협, 이문환, 이세현, 2003: 동슬래그의 콘크리트용 골재 활용에 관한 기본 연구, 콘크리트학회 논문집, 제15권 1호, pp. 35-42.
5. 문한영, 이성태, 김홍삼, 2001: 해수의 침입에 의한 시멘트의 열화 및 저항성 평가, 콘크리트학회 논문집, 제13권 2호, pp. 175-183.
6. 배주성, 김남욱, 고상훈, 2007: 잔골재를 동슬래그로 대체한 콘크리트의 특성 연구, 한국구조물진단학회 논문집, 제11권 3호, pp. 151-158.
7. 이문환, 이세현, 2008: 메타카올린과 페타이어 잔입자를 사용한 고강도콘크리트의 내화성능에 관한 기초적 연구, 콘크리트학회 논문집, 제20권 1호, pp. 89-97.
8. 이문환, 2008: 동슬래그 골재를 함유한 콘크리트의 내구성 평가 연구, 콘크리트학회 논문집, 제20권 6호, pp. 773-784.
9. 이세현, 2002: 동슬래그와 재생골재의 콘크리트 활용기술 현황, 콘크리트학회지, 제14권 1호, pp. 44-48.
10. 홍건호, 김선숙, 2007: 친환경 콘크리트 관련 해외 연구 동향 및 인증제도, 콘크리트 학회지, 제19권 2호, pp. 16-21.
11. 김진만, 이상수, 김동석, 2003: 메타카올린을 사용한 콘크리트의 강도특성에 관한 연구, 콘크리트학회 학술발표 논문집, pp. 47-52.
12. 김화중, 1999: 예코 콘크리트에 대한 소개, 콘크리트 학회지, 제8권 6호, pp. 74-82.
13. 이길재, 노기안, 김건업, 심교문, 정현철, 2009: 예코 콘크리트 제작, 국립농업과학원 환경변화 대응기술 시리즈-10.
14. 김동석, 2003: 메타카올린을 혼입한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구, 공주대 석사학위논문.

金南旭

- 일본 북해도대학 대학원 공학박사
- 전북대학교 공과대학 토목공학과 연구 조교수
- 당 학회지 제17권 1호 참조



金鶴元

- 전북대학교 공과대학 토목공학과
- 전북대학교 대학원 토목공학과 석사

裴主星

- 전북대학교 대학원 공학박사
- 전북대학교 공과대학 토목공학과 교수
- 당 학회지 제17권 1호 참조