

# 폐 대리석 분말을 혼입한 고유동 콘크리트의 기초적 특성에 대한 실험적 연구

## Effect of Waste Marble Powder on the Fundamental Properties of High Fluidity Concrete

이 용 무                      신 상 엽                      김 영 수\*

Lee, Yong-Moo              Shin, Sang-Yeop              Kim, Young-Su\*

Department of Architectural Engineering, Pusan National University, GeumJeong-Gu, Pusan, 609-735, Korea

### Abstract

The marble powder is a by-product that can be freely collected during the manufacturing process of marble, such as sawing, shaping, and polishing. Disposal of this waste powder is one of the environmental problems worldwide today. Therefore, this study investigated to solve this problem by consuming the waste marble powder in high fluidity concrete, as a pore filler. For this purpose, the waste marble powder was used as a binder replacing 5%, 10%, 15%, and 20% of cement in high fluidity concrete. After mixing, slump flow test, time-to-reach the slump flow of 500mm test, O-lot test and U-box test were conducted with fresh concrete. For the hardened concrete, compressive strength was determined at the age of 28 days. According to the test results, the workability of high fluidity concrete increased with the powder of 15% replacement, and the compressive strength of high fluidity concrete also increased with the same amount of powder.

Keywords : high fluidity concrete, waste marble powder, slump flow, flow ability, filling ability, compressive strength

### 1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 고성능화, 대형화, 고층화됨에 따라 건축 및 토목분야에서 고강도/고유동 콘크리트의 사용량이 매년 증가되고 있다. 이러한 건축물의 매스층과 초고층부위에 타설하기 위해서 특수한 기능의 콘크리트가 필요하며 대표적으로 고유동 콘크리트를 사용한다[1].

고유동 콘크리트는 배합에 플라이애시나 석회석 미분말과 같은 충전재를 사용하기 때문에 일반콘크리트보다 높

은 점성을 가지고 있어 재료분리 저항성이 높을 뿐만 아니라 우수한 유동성을 가지고 있어 과밀 배근된 부재 등에 진동다짐을 하지 않고 충전시킬 수 있으므로 콘크리트 구조물의 결함발생을 감소시킬 수 있는 장점이 있다[2,3,4].

그러나 고유동 콘크리트에 요구되는 우수한 유동성과 재료분리 저항성을 증대시키기 위해서 소성점도를 크게 해야 되기 때문에 단위시멘트량을 증가 시키든지 증점제를 사용한다[5,6]. 이러한 단위시멘트량의 증가는 수화열 발생과 수축을 증가시켜 균열을 발생시키며, 증점제를 사용할 경우 응결지연, 단위수량증대 및 공기량을 증가시켜 내구성을 저하시키기 때문에 실제로 사용하는 것에 제한을 받고 있다[7].

이러한 단위시멘트 사용량을 감소시키기 위해 최근 석재가공 산업의 발전으로 대리석 가공과정 중 대량으로 발생하는 폐 대리석 분말을 사용하고자 한다. 폐 대리석 분

Received : September 17, 2014

Revision received : January 22, 2015

Accepted : February 5, 2015

\* Corresponding author : Kim, Young-Su

[Tel: 82-51-510-2443, E-mail: kys@pusan.ac.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

말은 현재 발생량의 일부만을 인조대리석 제조나 경량기 포콘크리트 제조, 도로포장용 및 객토용으로 사용하고 있으나, 아직 많은 양이 무단으로 적치되거나 매립되고 있어 경제적인 부담을 증가시킬 뿐만 아니라 환경오염을 발생시키는 문제점을 안고 있다[8].

폐 대리석 분말의 입자 분포는 80% 이상이 0.05~0.06mm 사이에 분포하고 있고 입경이 매우 균등하고 미세하여 200번체 통과량이 약 98% 정도로 시멘트 입자와 유사하다. 또한 흡수율이 작기 때문에 고유동 콘크리트의 충전재로 사용할 경우, 강도의 저하 없이 점성을 증가시켜 재료분리 저항성의 증대와 자원 재활용에 따른 환경오염 방지 및 콘크리트의 생산단가 절감에 이점이 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 폐 대리석 분말을 활용한 분체계 고유동 콘크리트의 제조 가능성을 알아보기 위해 유동성, 재료분리 저항성 및 충전성 실험을 통하여 굳지 않은 콘크리트의 특성을 파악하고, 굳은 콘크리트의 특성으로 압축 강도를 측정하여, 폐 대리석 분말이 고유동 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험인자 및 수준

본 연구는 폐 대리석 분말을 충전재로 사용한 고유동 콘크리트의 유동성, 충전성 및 강도특성에 대한 영향을 평가하고자 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말의 치환율을 실험인자로 설정하였다.

폐 대리석 분말을 치환한 고유동 콘크리트의 배합을 위해 단위결합재량은 500kg/m<sup>3</sup>로 하였고 물-결합재비를 35%로 고정하여 진행하였다. 시리즈 I의 경우 폐 대리석 분말을 시멘트에 질량대비 5%, 10%, 15%, 20%로 치환하였고, 시리즈 II에서는 폐 대리석 분말을 10%, 20%치환율을 고정한 후 고로슬래그 미분말을 10%, 20%치환하였다. 혼화제는 폴리카본산계 고성능 감수제를 결합재의 1.2%로 고정하여 사용하였고, 실험인자 및 평가항목은 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 시편의 제작 및 양생방법

본 연구에서 배합은 질량배합으로 실시하고, 물과 고성

능 감수제를 제외한 각 재료의 전량 투입→ 건비빔 30초 → 물+고성능 감수제 투입→ 1분 혼합→ 상태확인 후 2분 혼합→ 배출 후 실험을 실시하는 순서로 진행하였다. 시험용 시험체 제작은 원주형 몰드(∅100mm×200mm)를 사용하여 KS F 2403에 따라 실시하였으며, 모든 시험체는 타설 후 24시간 양생 후 탈형하고, 20±3℃의 온도로 유지되는 수조에 침지하여 소정의 재령까지 양생하였고 배합표는 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Experiment factor and tests

Experiment Factor	W/B Ratio(%)	35
	Cement Content(kg/m <sup>3</sup> )	500
	Marble Powder(%)	0, 5, 10, 15, 20
Tests	Blast Furnace Slag(%)	0, 10, 20
	Slump Flow(mm)	
	Flow Time(sec)	Fresh Concrete
	O-LOT(sec)	
	U-Box(mm)	
	Compressive Strength(day)	3, 7, 14, 28

Table 2. Mixture proportion of concrete

Series	Specimen	W/B (%)	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	Blast Furnace Slag (kg/m <sup>3</sup> )	Waste Marble Powder (kg/m <sup>3</sup> )	Super-plasticizer (kg/m <sup>3</sup> )	Aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	
							Fine	Coarse
I	plain		500		-		816	831
	M-5		475		25		813	830
	M-10	35	450		50	6.0	813	828
	M-15		425		75		811	826
II	M-20		400		100		809	824
	M10-S10		400	50	50		814	827
	M10-S20	35	350	100	50		813	825
	M20-S10		350	50	100	6.0	811	823
	M20-S20		300	100	100		810	822

\* M : Waste Marble Powder, S : Blast Furnace Slag

### 2.3 사용재료

#### 2.3.1 시멘트

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시

멘트를 사용하였고, 시멘트의 화학적 성분과 물리적 특성에 관한 내용은 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Chemical and physical properties of cement

Chemical Composition	Composition	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig.loss
	Content (%)		21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11
Physical Properties	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Setting Time (min)		Compressive Strength(MPa)			
			Initial Set	Final Set	3d	7d	28d	
	3,456	3.15	230	370	29.1	42.5	53.2	

### 2.3.2 골재

굵은골재는 19mm 이하의 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 5mm이하의 강모래를 사용하였고, 골재의 물리적 특성은 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Physical properties of aggregate

Aggregate	Coarse Aggregate	Fine Aggregate
Maximum size of aggregate(mm)	19.0	5.0
Fineness Modulus	3.80	2.85
Specific Gravity(g/cm <sup>3</sup> )	2.69	2.56
Absorption(%)	1.32	2.33
Bulk Density of Aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	1,690	1,670
Note	Crushed Stone	River Sand

### 2.3.3 폐 대리석 분말

본 연구에서 사용된 폐 대리석 분말은 K지역 소재 대리석 가공공장에서 발생한 것으로, 구성성분은 X-선 형광분석법(XRF)로 분석하였고, 입도분포는 입도분석기 (Particle Analyzer)를 활용하여 측정하였고, 화학적, 물리적 특성은 Table 5에 입도분포곡선은 Figure 1에 나타내었다.

### 2.3.4 고로슬래그 미분말

고로슬래그 미분말은 국내산 H사의 콘크리트용 고로슬래그 미분말(3종)을 사용하였고, 물리 화학적 특성은 아래의 Table 6에 나타내었다.

Table 5. Chemical and physical composition of waste marble powder

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	L.O.I (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)
2.71	3,859	0.92	68.36	15.28	3.06	3.21	0.93	0.04	4.26

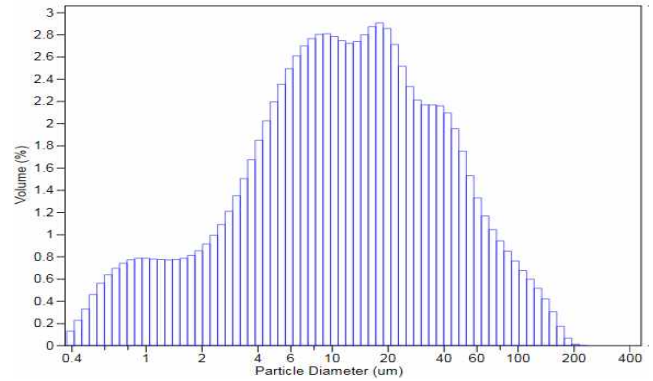


Figure 1. Particle size distribution of waste marble powder

Table 6. Chemical and physical properties of blast furnace slag

Chemical Composition	Composition	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig.loss
	Content (%)		31.82	17.48	0.52	43.79	4.44	3.79
Physical Properties	Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Flow Ratio(%)	Activity Coefficient(%)				
				7d	28d	91d		
	4,420	2.90	103	68	98	126		

### 2.3.5 고성능 감수제

고성능 감수제는 폴리카보산계를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Physical properties of admixture

Type	Main Ingredient	State	Color	Density	Chloride	Toxic
Super-plasticizer	Poly-carboxylate	Liquid	Light Brown	1.18	-	-

## 2.4 시험방법

본 연구의 실험항목으로는 폐 대리석 분말을 치환한 고유동 콘크리트의 굳지 않은 특성을 알아보기 위해 유동성은 슬럼프 플로시험, 재료분리 저항성은 슬럼프 플로 500mm도달시간과 O-Lot유하시험, 충전성은 U-Box시험을 실시하였고, 굳은 콘크리트의 특성에 대해서는 재령별 압축강도를 측정하였다.

2.4.1 슬럼프 플로

슬럼프 플로는 KS F 2594 “굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로 시험방법”에 따라 측정하였다. 슬럼프 콘에 시료를 채운 후 다짐을 하지 않은 상태에서 상부로 들어 올려 시료의 자중만으로 흘러 퍼졌을 때 넓게 퍼진 값의 직교하는 2개 부분을 측정한 후 그 평균값을 사용하였다.

2.4.2 O-Lot

O-Lot 유하시험은 KSCE 2003-03, “갈대기를 사용한 유하 시험방법”에 따라 시험을 실시하였다. 고유동 콘크리트의 재료분리 저항성을 알아보기 위하여 Figure 1의 O-Lot 유하시험 기구를 이용하여 시료를 시험 기구에 채운 후 입구부분을 개방하여 시료가 완전히 흘러내렸을 때까지의 시간(초)을 측정하였다.

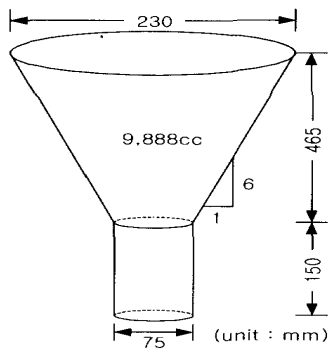


Figure 1. O-Lot type test

2.4.3 U-Box

U-Box 충전높이는 KSCE 2003-01, “충전장치를 이용한 간극 통과성 시험방법”에 따라 실시하였다. Figure 2의 U-Box 시험 기구에 시료를 채운 후 가운데 칸막이를 들어 올려 콘크리트가 강봉 사이를 통과하여 상승된 높이를 측정하였다.

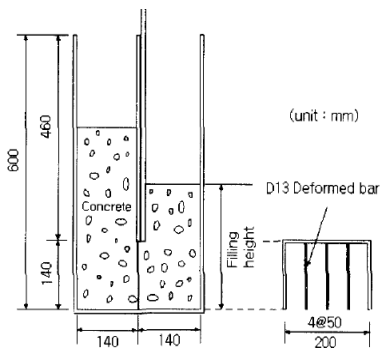


Figure 2. U-Box type test

2.4.4 압축강도

고유동 콘크리트의 압축강도 시험용 공시체는 제작은  $\Phi 100 \times 200$ mm의 원주형 몰드에 다짐 작업을 하지 않고 제작하여 24시간 후 몰드를 탈형하고, 소정의 재령까지  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도에서 수중양생을 실시하였다. 압축강도 시험은 재령 3, 7, 14일 및 28일에 KS F 2405 “콘크리트의 압축강도 시험방법”에 따라 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 슬럼프 플로

슬럼프 플로는 외부의 저항 없이 표면 마찰력에 저항하여 자중 하에서 변형하는 능력을 나타낸 것으로 슬럼프 플로는 650mm~800mm의 범위가 일반적인 고유동 콘크리트에서 요구되는 수준이다[9]. 또한 콘크리트 표준시방서에서는 고유동 콘크리트의 슬럼프 플로 기준을 600mm 이상으로 제시하고 있다.

Figure 3, 4는 고유동 콘크리트의 유동성 측정을 위한 슬럼프 플로 측정결과를 나타낸 것이며 폐 대리석 분말은 절건 상태의 것을 사용하였다. 시리즈 I에서는 OPC의 슬럼프 플로는 630mm로 폐 대리석 분말을 5%~20%까지 치환할 경우 각각 650mm, 665mm, 664mm, 628mm로 폐 대리석 분말의 치환율 15%까지는 20mm~25mm범위로 증가하였으나, OPC와 유사한 슬럼프 플로가 나타나 유동성의 차이는 없는 것으로 나타났다.

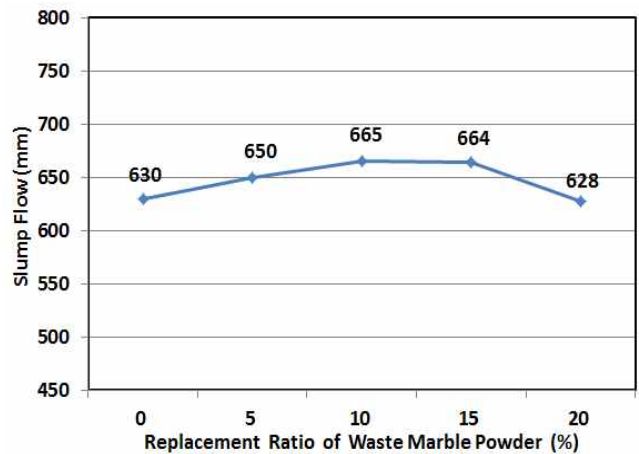


Figure 3. Series I slump flow

그러나 시리즈 II에서의 슬럼프 플로는 고로슬래그 미분말

의 치환율이 증가될수록 각각 670mm, 720mm, 730mm, 730mm 나타나 plain보다 유동성의 상당히 향상되었다.

이는 단위 분체량 증가에 따라 골재사이의 공극을 충전하는 분체량의 증가로 유동성에 기여하는 잉여 페이스트의 양이 증가하여 유동성이 향상된 것으로 판단된다.

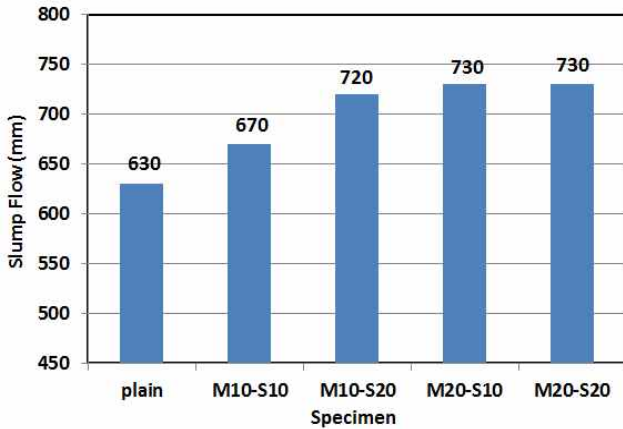


Figure 4. Series II slump flow

### 3.2 슬럼프 플로 500mm 도달시간

고유동 콘크리트의 재료분리 저항성을 평가하는 방법은 슬럼프 플로 500mm 도달시간과 O-Lot유하시험으로 평가하며, 콘크리트 표준시방서에는 슬럼프 플로 500mm 도달시간 기준을 3~20초 범위를 제시하고 있다.

Figure 5, 6은 고유동 콘크리트의 재료분리 저항성을 평가하기 위하여 슬럼프 플로 500mm 도달시간을 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우 슬럼프 플로 500mm 도달시간은 OPC의 19.6초 대비 폐 대리석 분말의 치환율 5%~15%까지는 아주 작지만 0.6초~1.7초 단축되었으나, OPC와 비교하여 큰 차이는 없었다.

시리즈 II에서는 폐 대리석 분말의 치환율이 동일할 경우 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가될수록 슬럼프 플로 500mm 도달시간은 plain의 19.6초와 비교하여 상당히 단축되었다. 특히, M20-S10, M20-S10 시편의 경우 각각 6.4초, 6.2초로 plain의 19.6초 대비 13초 이상 단축되었다.

폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말을 혼합하여 사용하면 슬럼프 플로 500mm 도달시간이 단축되어, 고유동 콘크리트 타설시 작업성에 도움이 될 것으로 판단된다. 이는 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가

됨에 따라 점성에 기여하는 단위시멘트량의 감소 때문인 것으로 판단된다.

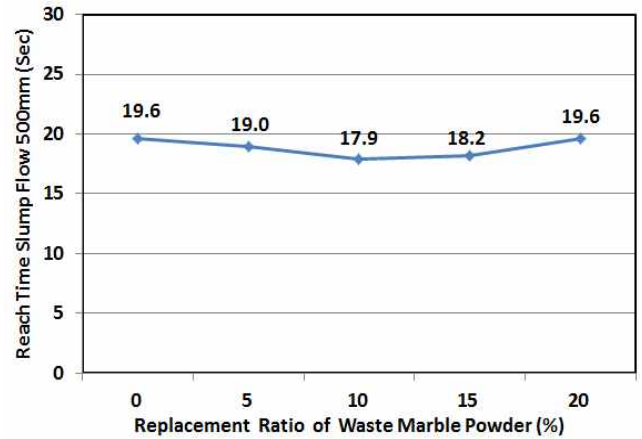


Figure 5. Series I reach time slump flow 500mm

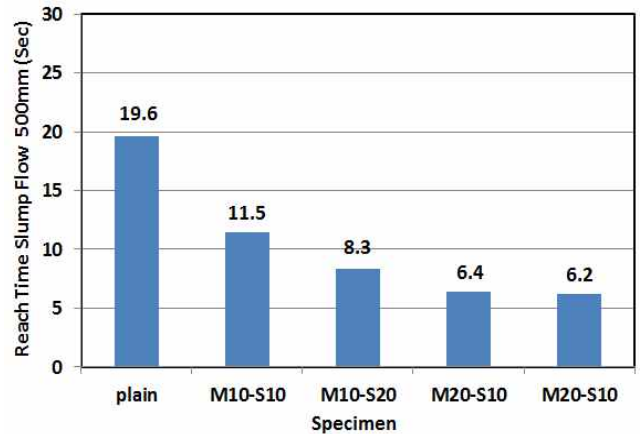


Figure 6. Series II reach time slump flow 500mm

### 3.3 O-Lot

O-Lot유하시험은 겉보기 점성을 표현하는 것으로 자기 충전성을 간접적으로 평가하는 것으로, 유하속도가 빠를수록 자기충전성이 우수해 지므로 빠르게 하는 것이 유리하다. Safawi는 V-funnel time을 8초 이하, 8초 이상 12초 이하, 13초 이상으로 평가기준을 설정하여 V-funnel time 8초 이하는 저점성, 10초는 중점성, 13초 이상은 고점성으로 분류하였다[10].

고유동 콘크리트에서 점성이 너무 낮으면 유하속도는 빨라지나 재료분리 저항성이 감소하여 굵은 골재가 O-Lot유하시험기의 토출부위를 막아 유하시험기가 길어지고, 반대로 점성이 너무 높으면 O-Lot유하시험기 측면 부위와 고유동

콘크리트의 마찰저항이 크게 되어 유하시간이 길어져 콘크리트를 타설하기 힘들어진다. 이러한 이유로 유동성과 재료분리 저항성을 동시에 우수하게 하는 것이 중요하다.

Figure 7, 8는 고유동 콘크리트의 O-Lot유하시간 측정결과를 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우 OPC의 18.3초 대비 폐 대리석 분말의 치환율이 증가될수록 O-Lot유하시간이 0.2초~1.6초 범위로 단축되었으나, OPC와 큰 차이는 없었다. 시리즈 II에서는 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말을 혼합사용한 경우 O-Lot유하시간은 plain의 18.3초 대비 각각 14.9초, 12.3초, 12.1초, 9.0초로 상당히 단축되었다. 특히, M20-S20 시편의 경우 9.0초로 plain보다 2배 이상 빨라졌다. 이는 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말이 치환됨에 따라 고유동 콘크리트 내부의 페이스트의 용적이 증가하나 페이스트의 점성을 증가시키는 단위시멘트량이 감소되어 골재사이의 마찰력을 감소시키기 때문에 유하시간이 빨라진 것으로 판단된다.

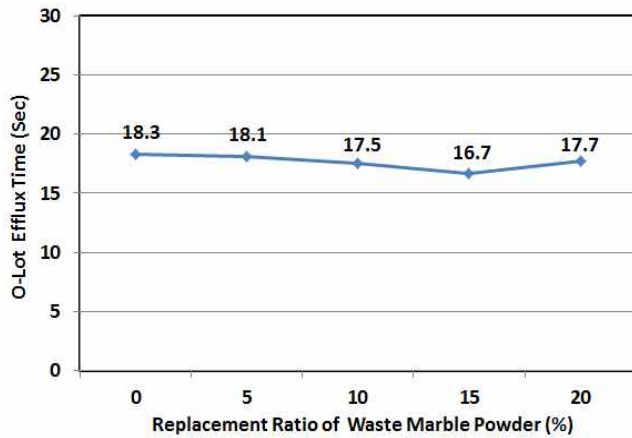


Figure 7. Series I O-lot

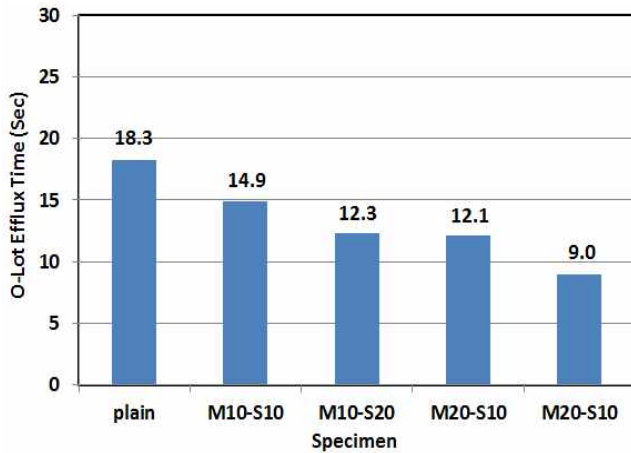


Figure 8. Series II O-lot

### 3.4 U-Box

U-Box 충전성 시험은 콘크리트가 자기 충전성으로 다짐을 하지 않고 철근사이를 통과하여 수직으로 채워지는 특성을 평가한 것으로 콘크리트 표준시방서에서는 충전높이 300mm 이상을 기준으로 하고 있다.

Figure 9, 10은 고유동 콘크리트의 U-Box 충전높이를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우 OPC의 충전높이는 230mm로 측정되어 고유동 콘크리트 충전높이 기준인 300mm를 충족시키지 못하였다. 그러나 폐 대리석 분말이 치환될수록 338mm, 348mm, 348mm, 335mm로 측정되어, OPC의 측정높이보다 100mm 이상 높아져 충전성이 상당히 향상되었다.

시리즈 II에서는 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말을 혼합사용한 경우 단위시멘트량이 상당히 줄어들었음에도 불구하고, U-Box 충전높이는 오히려 더욱 증가하였다. 이는 단위분체량의 증가로 인하여 골재사이의 공극을 충전하는 페이스트량의 증가에 따른 것으로 판단된다.

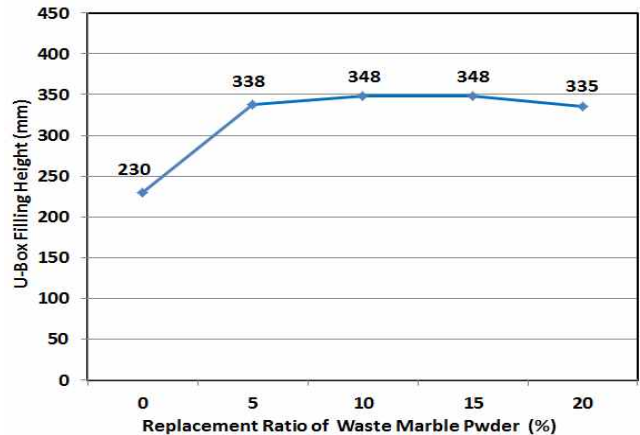


Figure 9. Series I U-box filling height

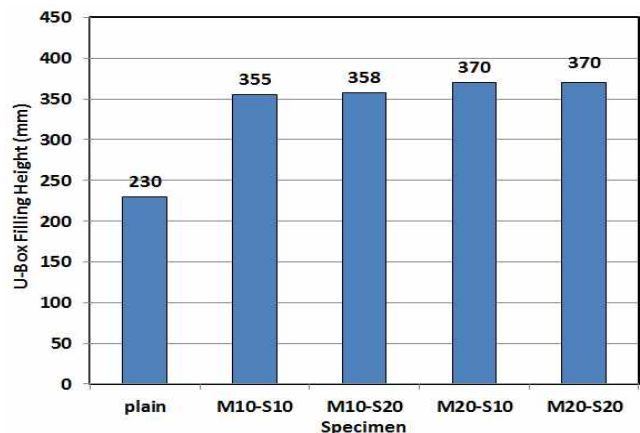


Figure 10. Series II U-box filling height

### 3.5 압축강도

Figure 11, 12은 고유동 콘크리트의 3일, 7일, 14일 및 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 시리즈 I의 경우 폐 대리석 분말 치환율이 5%~15%까지는 재령 3일, 7일 14일 및 28일 압축강도는 OPC보다 증가하였으나, 20%치환율을 에서는 오히려 압축강도가 저하되었다. 그러나 폐 대리석 분말의 치환율 15%까지는 단위시멘트량이 감소함에도 불구하고, 압축강도가 저하되지 않으므로 폐 대리석 분말의 적정 치환율은 15%이내가 되어야 할 것으로 판단된다.

이는 폐 대리석 분말의 치환율이 증가할수록 골재와 공극사이를 채워 줌으로써 고유동 콘크리트 매트릭스 내부의 공극을 충전[11]하여 강도가 증가한 것으로 판단되며, U-Box 충전성 시험을 통하여 충전재로서 역할을 하고 있다는 것이 증명되었다.

시리즈 II의 경우 폐대리석 분말의 치환율이 10%로 동일할 때 고로슬래그 미분말의 치환될수록 재령 3일, 7일 압축강도는 plain과 비교하여 저하되었으나, 재령 14일, 28일 압축강도는 plain보다 높게 나왔다. 그러나 폐 대리석 분말 치환율이 20%로 동일한 경우 고로슬래그 미분말의 치환율이 커질수록 28일 압축강도는 plain보다 낮게 나타났다.

재령 3일, 7일 압축강도 저하현상이 발생한 이유는 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가됨에 따라 단위시멘트량이 상대적으로 감소되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 고로슬래그 미분말을 혼합하여 사용할 경우 조기에 수화반응을 활성화 시켜 재령 3일, 7일 압축강도를 증진시키는 방안이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

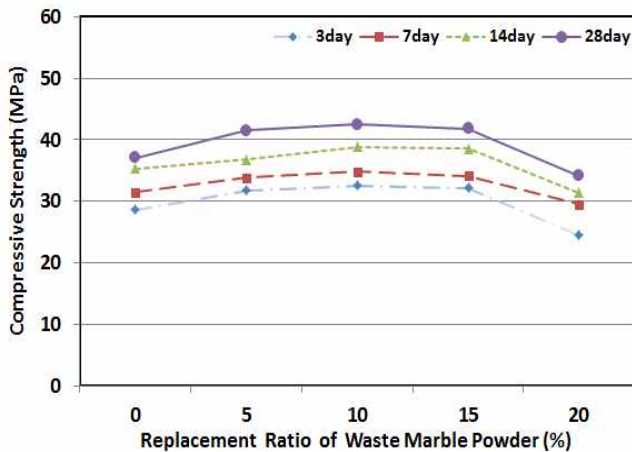


Figure 11. Series I compressive strength

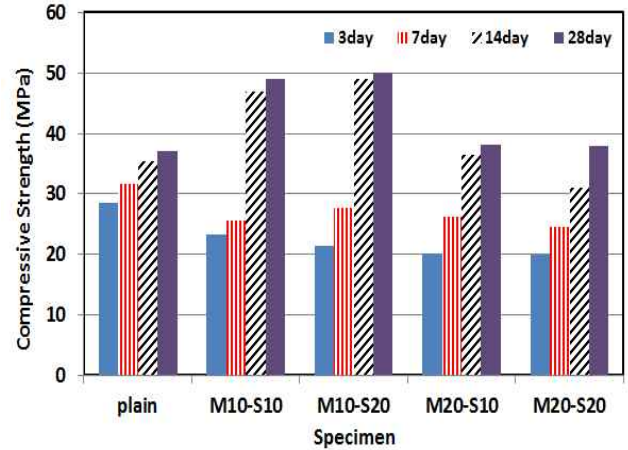


Figure 12. Series II compressive strength

## 4. 결 론

대리석 가공과정에 발생하는 부산물인 폐 대리석 분말을 고유동 콘크리트의 충전재로 사용하여 유동성, 충전성 및 압축강도에 미치는 영향을 알아보고, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 슬럼프 플로는 폐 대리석 분말의 치환율 5%~15%까지는 20mm~25mm범위로 증가하였으나, OPC와 유사한 수준으로 유동성의 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말을 혼합사용한 경우 유동성이 상당히 향상되었다.
- 2) 폐 대리석 분말이 치환될수록 슬럼프 플로 500mm 도달시간은 0.6초~1.7초 범위였고, O-Lot유하시간은 0.2초~1.6초 범위로 단축되었으나 OPC와 유사한 수준이었다. 그러나 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말을 혼합사용한 경우 슬럼프 플로 500mm 도달시간과 O-Lot유하시간은 상당히 단축되었다.
- 3) 폐 대리석 분말을 치환한 모든 시편에서 U-Box충전 높이는 plain의 230mm보다 100mm이상 높게 나타나 충전성이 상당히 우수해졌다. 그리고 폐 대리석 분말과 고로슬래그 미분말을 혼합사용한 경우 충전 높이가 더욱 증가하였다.
- 4) 폐 대리석 분말 치환한 고유동 콘크리트의 압축강도는 치환율 15%까지는 OPC보다 재령 3일, 7일, 14일, 28일 압축강도가 증가하였으나, 치환율 20%에서는 OPC보다 압축강도가 저하되어, 폐 대리석 분말의 적정 치환율은 15%이내가 적당할 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 대리석가공과정에 발생하는 부산물인 폐 대리석 분말을 고유동 콘크리트의 유동성, 충전성 및 강도특성에 어떠한 영향을 주는지를 분석하였다. 실험결과, 폐 대리석 분말을 혼입한 굳지 않은 고유동 콘크리트 특성을 살펴보면 유동성이 증가하였고, 재료분리 저항성, 충전성이 우수하였다. 또한 경화한 고유동 콘크리트에서 압축강도는 폐 대리석 분말의 치환율 15%까지 모든 재령에서 압축강도가 증가하여 폐 대리석 분말의 최적 치환율은 15% 이내가 적정할 것으로 판단된다. 이상의 실험결과를 바탕으로 폐 대리석 분말을 고유동 콘크리트의 충전재로 활용하면 산업부산을 활용할 수 있어 환경오염방지와 콘크리트 제조시 원가절감의 이점을 동시에 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

**키워드** : 고유동 콘크리트, 폐 대리석 분말, 슬럼프 플로, 유동성, 충전성, 압축강도

## References

1. Felekoglu B, Turkel S, Baradan B. Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Building and Environment*, 2007 Apr;42(4):1795-802.
2. Ye G, Liu X, De Schutter G, Poppe A-M, Taerwe L. Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes. *Cement and Concrete Composition*, 2007 Feb;29(2):94-102.
3. Poppe AM, Schutter GD. Cement hydration in the presence of high filler contents. *Cement and Concrete Research*, 2005 Dec;35(12):2290-9.
4. Kou SC, Poon CS. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composition*, 2009 Oct;31(9):622-7.
5. Kim JH, Yoon SC, Jee NY. The effect of combined aggregates on fluidity of the high fluid concrete containing GGBFS. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2003 Dec;3(4)79-86.
6. Jang HO, Jee NY. An experimental study on the mixing of normal strength and high fluidity concrete using ground granulated blast furnace slag. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 2003 Jun;29(6):81-8.
7. Lee SH, Kim HJ, Jung YW. Influence of the improved grain shape of coarse aggregates on compactability of high performance concrete. *Journal of Concrete Institute of Korea*, 2000 Apr;12(4):103-11.
8. Jeong JE, Lee JC, Yang KY, So KH. Sludge produced by stone block manufacturing process as concrete admixtures. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2008 Dec;8(6):83-9.
9. Felekoglu B, Turkel S, Baradan B. Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Building and Environment*, 2007 April;42(4):1795-1802.
10. Safiwi MI, Iwakil, Miura T. A study on the applicability of vibration in fresh high fluidity concrete. *Cement and Concrete Research*, 2005 Sep;35(9):1834-45.
11. Goldman, A, and Bentur, A. The influence of micro-fillers on enhancement of concrete strength. *Cement and Concrete Research*, 1993 Jul;23(4):962-72.