

고압송용 고유동콘크리트 개발을 위한 가압에 따른 굵은골재의 흡수 특성

최연왕^{1*}, 최병결², 오성록²

Absorption Properties of Coarse Aggregate according to Pressurization for Development of High Fluidity Concrete under High Pressure Pumping

Yun-Wang Choi^{1*}, Byung-Keol Choi², Sung-Rok Oh²

Abstract: In this study, we developed a pressing device which can reproduce the pressure of concrete inside the conveying pipe as a part of the basic study to development of high fluidity concrete under high pressure pumping. Using this pressing device, we evaluated a absorption properties of aggregate that are crushed coarse aggregate, river gravel and lightweight coarse aggregate according to pressure of coarse aggregate and aggregate inside a high fluidity concrete, focused on the reduction of unit water quantity by pressure. In addition, it was evaluated the compressive strength of high fluidity concrete about before and after of pressive. Test a result, case of condition under the high pressure of 250 bar, absorption ratio of crushed coarse aggregate and river gravel were not increased above the surface absorption, absorption ratio of lightweight coarse aggregate was increased than the surface absorption.

Keywords: High Pressure Pumping, High Fluidity Concrete, Pressurization, Coarse Aggregate, Absorption

1. 서 론

일반적으로 콘크리트는 경제성, 내구성 및 성형성이 우수하여 사회기반시설의 구축에 있어 필수불가결한 것이며, 이러한 콘크리트를 거푸집 내부에 신속하게 운반 및 타설하기 위하여 펌프압송공법이 보편화되어 이용되고 있다.

또한, 콘크리트 구조물들이 대형화 및 특수화됨에 따라 고유동, 고강도 및 고내구성을 가지는 콘크리트의 필요성이 요구되고 있으며, 이러한 필요성에 의하여 콘크리트의 신기술 및 신공법이 빠르게 현장에서 적용되고 있다. 이 중 시공의 효율성을 증대시킨 고유동콘크리트(High Fluidity Concrete, HFC)는 초고층 건물 및 초장대 교량 주탑 건설에 적용되고 있는 실정이다(Choi et al., 2008).

그러나 HFC를 초고층 건물 및 초장대 교량 주탑과 같은 콘크리트 구조물의 고소공간에 대량으로 운반 및 타설하기 위한 펌프압송공법에 대한 기술 개발은 단순히 압송가능 여부에 집중됨에 따라 펌프 장비 개발의 문제로 인식되어 장비에 대한 기술 개발 위주로 지금까지 선행되어왔다. 이러한 배경

에는 펌프압송에 대한 기존의 연구들이 펌프압송에 의하여 압송후 콘크리트의 품질변화는 발생하지만 그 발생 추이가 펌프압송 조건에 따라 상이한 결과를 나타내고 있으며, 콘크리트 품질변화에 대한 영향정도가 미미한 것으로 평가되었기 때문이다. 또한, 펌프압송이라는 실험조건이 실험실 규모에서 구현하기 어려운 점 등으로 인하여 타연구 분야에 비하여 많은 연구가 이루어지지 않고 있는 실정이다(Kim, 2007).

이와 같이 펌프압송에 관한 기초적인 자료 부족 및 HFC의 펌프압송에 관한 연구 및 보고가 미흡한 상태에서 HFC를 사용하여 고소공간에 펌프압송하게 됨에 따라 타설 높이의 한계, 관내압력손실에 따른 펌프압송성 저하 및 압송후 HFC의 품질변화에 대한 문제점이 건설 현장을 중심으로 보고되고 있다(Ji et al., 2006; Ko et al., 2008; Ko et al., 2010).

따라서 본 연구에서는 다양한 품질변화의 원인 중 압력에 의한 단위수량 변화에 중점을 두어 연구 개발된 입체가압형 가압장치를 이용하여 가압에 따른 콘크리트용 굵은골재의 흡수 특성 및 HFC 내부 굵은골재의 흡수 특성을 비교 및 검토하였다. 이를 통하여 고압송용 HFC 개발을 위한 기초 연구 자료로써 활용하고자 한다.

¹정회원, 세명대학교 토목공학과 교수, 교신저자

²정회원, 세명대학교 건설공학과 박사수료

*Corresponding author: crete77@semyung.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 7월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 결합재

결합재는 밀도 3.15 g/cm³ 및 분말도 3,540 cm²/g의 보통포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement, OPC)를 사용하였으며, 고로슬래그미분말(Ground Granulated Blast Furnace Slag, GGBFS) 및 플라이애시(Fly Ash, FA)를 사용하였다. Table 1은 결합재의 화학 성분 및 물리적 특성을 나타낸 것이다.

2.1.2 골재

잔골재는 낙동강산 강모래(River Sand, RS)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 25 mm의 석회암질 부순굵은골재(Crushed Coarse Aggregate, CC), 낙동강산 강자갈(River Gravel, RG) 및 국내산 인공 경량굵은골재(Lightweight Coarse Aggregate, LC)를 사용하였다. Table 2는 잔골재 및 굵은골재의 물리적 특성을 나타낸 것이다.

2.1.3 화학 혼화제

화학 혼화제는 HFC의 유동성 및 공기량 조절을 위하여 국내 H사의 폴리카본산계 고성능 감수제(Superplasticizer, SP) 및 공기 연행제(Air Entraining Agent, AE)를 사용하였다.

2.2 실험계획 및 배합

2.2.1 가압에 따른 굵은골재의 흡수 실험

가압에 따른 굵은골재의 흡수 특성을 평가하기 위하여 절대건조상태의 CC, RG 및 LC를 입체가압형 가압장치의 챔버에 투입한 다음 물을 채운 후 가압조건 5수준(50, 100, 150, 200 및 250 bar) 및 유지시간(5, 10 및 15 min) 변화에 따른 흡수율

을 평가하였다.

2.2.2 가압에 따른 HFC 내부 굵은골재의 흡수 실험

HFC 배합설계에는 Nan-Su의 골재채움률(Packing Factor, PF)(Su et al., 2001; Su et al., 2003)을 국내 실정에 맞게 수정 및 보완한 Choi의 간편 배합설계 시스템 PF 결정 방법(Choi et al., 2002; Choi et al., 2003)을 사용하였으며, 예비실험을 통하여 결합재는 OPC, GGBFS 및 FA, 골재는 RS 및 CC를 사용한 PF 1.18, 물-결합재비 36% 및 잔골재율 47%의 3성분계 HFC 기준배합을 결정하였다. 기준배합 결정시 굳지 않은 HFC의 성능은 콘크리트 표준시방서(2009) 규정에 만족하는 슬럼프 플로 600 mm 이상 및 500 mm 도달시간 3~20 sec로 결정하였으며, 공기량은 3.5±1.5%로 결정하였다.

가압에 따른 HFC 내부 굵은골재의 흡수 특성을 평가하기 위하여 결정된 기준배합에 대하여 절대건조상태의 CC, RG 및 LC를 사용한 3수준의 HFC 배합을 실시하였으며, 각각의 표준 흡수율에 따라 단위 굵은골재량 및 배합수를 보정하였다. 제조된 각각의 HFC를 입체가압형 가압장치의 챔버에 투입한 다음 가압조건 5수준(50, 100, 150, 200 및 250 bar) 및 유지시간 10 min에 따른 HFC 내부 굵은골재의 흡수율 및 재령 28일 압축강도를 평가하였다. Table 3은 HFC의 배합표를 나타낸 것이며, Table 4는 실험 계획 및 변수를 정리하여 나타낸 것이다.

2.3 실험방법

2.3.1 흡수율 시험

흡수율 시험은 KS F 2503 및 KS F 2533에 준하여 실시하였으며, 가압에 따른 굵은골재의 흡수 실험의 경우 가압 후 챔버에서 굵은골재를 꺼내어 물기 및 눈에 보이는 수막을 제거한

Table 1 Chemical components and physical properties of binders

Types	Items	CaO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	SO ₃ (%)	L.O.I (%)	Surface area (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
	OPC	61.40	21.60	3.40	2.50	3.10	2.50	0.03	3,540	3.15
	GGBFS	34.95	31.85	14.55	5.63	0.59	2.97	0.60	3,710	2.82
	FA	5.95	52.83	18.08	1.43	7.74	0.01	6.14	4,070	2.34

Table 2 Physical properties of aggregates

Types	Items	G-max (mm)	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M.	Unit Mass (kg/m ³)
	RS	-	2.58	2.32	2.78	1,619
	CC	25	2.68	0.68	6.98	1,602
	RG	25	2.59	1.78	6.92	1,624
	LC	25	1.89	13.8	6.70	1,024

Table 3 Mixture proportions of HFC

Mix No.	PF	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							SP (B×%)	AE (B×%)	
				W	W'	Binder			S	G			G'
						OPC	GGBFS	FA					
HFC-CC	1.18	36	47	165	6.2	272	136	45	784	917	911	0.8	0.004
HFC-RG	1.14	36	47	165	15.8	272	136	45	784	886	870	0.8	0.003
HFC-LC	1.24	36	47	165	89.3	272	136	45	784	647	558	0.7	0.003

W': Correction unit water, G': Correction unit gravel

Table. 4 Planning and variables of experimental

Experiments	Parameters	Test items
Absorption properties of Coarse Aggregate	Pressure (50, 100, 150, 200, 250bar)	Absorption ratio
	Pressing time (5, 10, 15min)	
Absorption properties of Coarse Aggregate in HFC	Pressure (50, 100, 150, 200, 250bar)	Absorption ratio
	Pressing time (10min)	Compressive strength (28 day)

다음 흡수율을 평가하였다. 또한, 가압에 따른 HFC 내부 굽은 골재의 흡수 실험의 경우 5 mm 체로 페이스트 및 모르타르를 씻어낸 다음 굽은골재만을 채취하여 가압 전·후 흡수율을 평가하였다.

2.3.2 압축강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2405에 준하여 실시하였으며, ϕ 100×200 mm 원주형 몰드에 다짐을 하지 않고 시험용 공시체를 성형하여 24시간 후 몰드를 탈형 하였으며, 재령 28일까지 20±2℃로 수중양생을 실시한 다음 가압 전·후 HFC의 재령 28 일 압축강도를 평가하였다.

3. 입체가압형 가압장치

3.1 입체가압형 가압장치의 개발 배경

일반적으로 수직 높이 400 m 정도의 콘크리트 구조물에 펌프압송공법에 의하여 타설할 경우 고압의 펌프압송이 요구되며 압송관내 콘크리트에는 200~250 bar 정도의 상당한 압력이 작용하게 된다. 이러한 압력은 펌프압송후 HFC의 유동성, 충전성 및 재료분리저항성 등의 품질변화 요인으로 보고되고 있다(Ji et al., 2006; Ko et al., 2012).

이와 같이 고소공간으로의 펌프압송에 따른 품질변화는 HFC의 요구 성능저하로 이어지며, 타설 작업에서의 시공성



Photo 1 Pressure device

측면에서도 많은 문제점들이 야기되고 있는 실정이다.

또한, 펌프압송에 따른 품질변화에 대한 기존의 연구들이 대부분 대규모 펌프압송 모의실험을 통하여 얻은 결과들이며, 압송관내 압력에 의한 유동성 감소, 단위수량 감소 등 콘크리트 중의 물이 골재에 침투하여 발생된다고 보고하고 있지만, 압력에 의한 HFC의 품질변화를 시공전 비교적 간편하게 예측할 수 있는 방법은 찾아보기 어려운 실정이다.

따라서 HFC를 펌프압송할 경우 압송관내 압력에 의하여 발생하는 품질변화를 실험실 규모에서 간편하게 예측할 수 있는 입체가압형 가압장치를 고안하게 되었다. Photo 1은 개발된 입체가압형 가압장치를 나타낸 것이다.

3.2 입체가압형 가압장치의 구성

Fig. 1은 개발된 가압장치의 상세도 및 작동원리를 나타낸

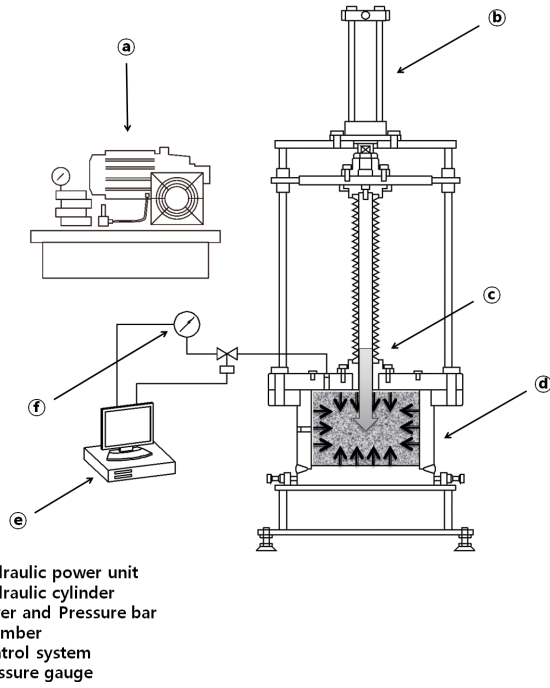


Fig. 1 Detail drawing and principle of pressure device

Table 5 Specifications of pressure device

Items	Specifications
Chamber volume	12(ℓ)
Maximum pressure	300(bar)
Time setting range	0~30(min)
Control system	Pressurization/Pause/Decompression (Pressure and Time setting)

것이다. 가압장치는 Fig. 1 과 같이 유압동력발생장치, 유압실린더, 덮개 및 압입봉, 챔버, 제어시스템 및 압력계이로 구성되어 있다.

작동원리는 Fig. 1에 나타난 것과 같이 덮개를 결합하여 밀폐된 챔버 내부에 압입봉을 삽입함으로써 삽입된 압입봉의 깊이에 따른 챔버 내부의 체적변화를 통하여 챔버 내부의 시료에 입체적인 압력을 형성하는 원리이다.

개발된 가압장치는 챔버 용량 약 12 ℓ 이며, 최대압력 300 bar까지 형성할 수 있다. 또한, 제어시스템을 통하여 압력 및 시간(가압·유지·감압)을 설정하여 다양한 압송조건을 재현할 수 있다. Table 5는 개발된 가압장치의 사양을 정리하여 나타낸 것이다.

3.3 가압장치의 적용

Photo 2는 가압장치의 적용 방법을 나타낸 것이다. Photo 2와 같이 챔버 내부에 시료를 투입하고 덮개 및 압입봉을 결합한 다음 제어시스템을 통하여 목표 압력 및 유지시간을 설정



① Input specimen



② Binding of cover and rod



③ Setting of pressure and time



④ Setting pressure confirmation



⑤ Dismantling of cover and rod



⑥ Output specimen

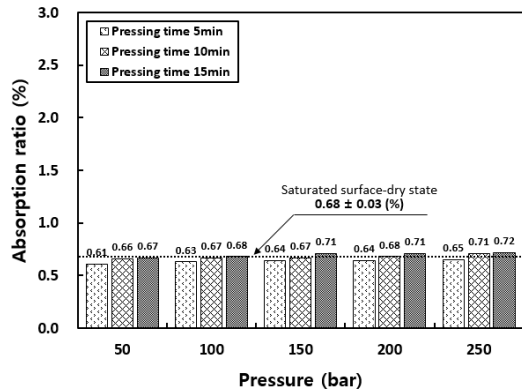
Photo 2 Application method of pressure device

하여 가압장치를 작동할 수 있으며 이러한 방법으로 다양한 압송조건에 따른 실제 펌프압송시 압송관내 콘크리트가 받는 압력을 재현할 수 있다.

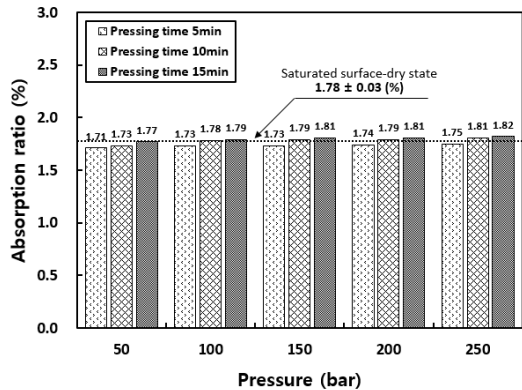
4. 실험결과 및 고찰

4.1 가압에 따른 굵은골재의 흡수 특성

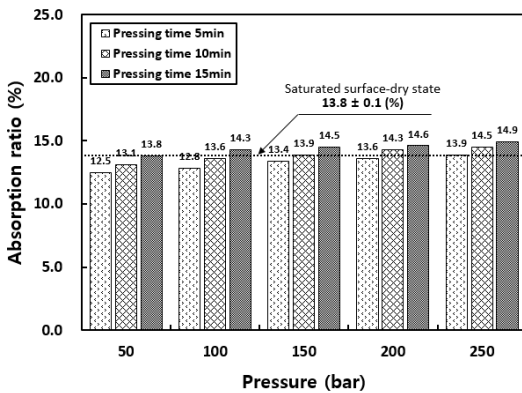
Fig. 2(a)는 가압에 따른 CC의 흡수 특성을 평가하여 나타



(a) CC



(b) RG



(c) LC

Fig. 2 Absorption Properties of Coarse Aggregate

낸 것이다. Fig. 2(a)의 결과, CC의 경우 가압조건(50, 100, 150, 200 및 250 bar) 및 유지시간(5, 10 및 15 min) 증가에 따라 흡수율이 다소 증가되는 것으로 나타났지만 그 차이는 크지 않아 압력 작용에 따른 영향은 없는 것으로 판단된다.

Fig. 2(b)는 가압에 따른 RG의 흡수 특성을 평가하여 나타낸 것이다. Fig. 2(b)의 결과, RG의 경우에도 CC의 결과와 마찬가지로 가압조건 및 유지시간 증가에 따라 흡수율이 다소 증가되는 것으로 나타났지만 그 차이는 크지 않아 압력 작용에 따른 영향은 없는 것으로 판단된다.

이러한 결과를 통하여 CC 및 RG의 경우 250 bar 정도의 높은 압력이 작용하여도 각각의 표건 흡수율 $0.68 \pm 0.03\%$ 및 $1.78 \pm 0.03\%$ 이상으로 흡수율은 증가되지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 2(c)는 가압에 따른 LC의 흡수 특성을 평가하여 나타낸 것이다. Fig. 2(c)의 결과, LC의 경우 가압조건 및 유지시간 증가에 따라 흡수율이 증가되는 것으로 나타났다. 또한, 유지시간 5 min 및 10 min의 경우 가압조건 증가에 따라 흡수율이 평균 약 0.35% 정도 선형적으로 증가되는 것으로 나타났으며, 유지시간 15 min의 경우 가압조건 증가에 따라 흡수율이 평균 약 0.28% 정도 선형적으로 증가되는 것으로 나타났다. 유지시간 15 min, 가압조건 250 bar에서 흡수율은 최대 14.9%로 나타났다.

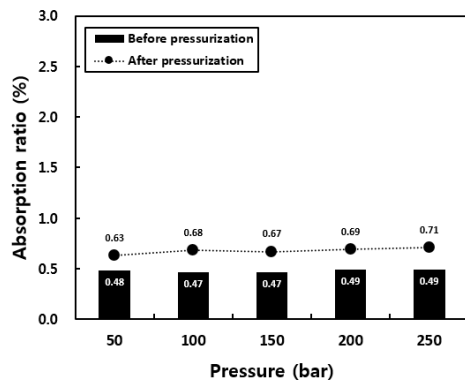
LC의 경우 유지시간 5 min의 가압조건 250 bar에서 가압후 흡수율은 LC의 표건 흡수율 $13.8 \pm 0.1\%$ 와 비교하여 동등한 수준으로 나타났으며, 유지시간 10 min의 가압조건 200 bar 이후부터 가압후 흡수율은 LC의 표건 흡수율 이상으로 증가되는 것으로 나타났다. 또한, 유지시간 15 min의 모든 가압조건에서 가압후 흡수율은 LC의 표건 흡수율 이상으로 증가되는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 LC의 경우 내부에 다량의 공극이 일정비율로 형성되어 있는 다공성 구조이기 때문에 KS F 2533의 규정에 따라 물 속에 24시간 흡수시킨 후 표면의 수막을 닦아 내서 표면 건조 상태로 하여도 골재 내부가 완전한 포화 상태로 되어 있지 않아 물이 흡수 될 수 있는 공극이 남아있기 때문인 것으로 판단된다.

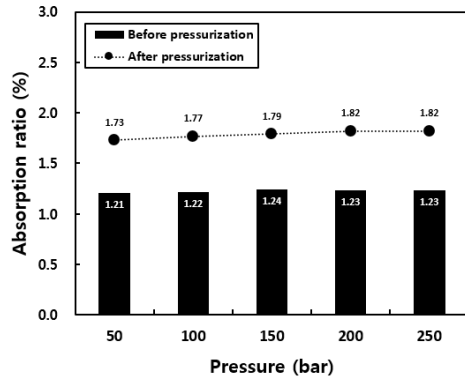
4.2 가압에 따른 HFC 내부 굵은골재의 흡수 특성

4.2.1 가압 전·후 HFC 내부 굵은골재의 흡수율

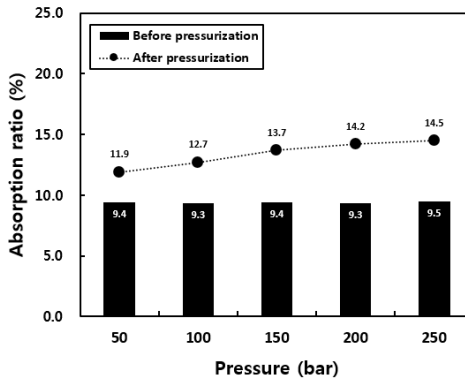
Fig. 3(a)는 가압 전·후 HFC 내부 CC의 흡수 특성을 평가하여 나타낸 것이다. Fig. 3(a)의 결과, CC의 경우 가압전 CC의 흡수율은 0.47~0.49% 범위로 나타났으며, 가압후 CC의 흡수율은 유지시간 10 min의 모든 가압조건(50, 100, 150, 200 및 250 bar)에서 가압장치에 굵은골재 및 물을 넣고 실험한 가압에 따른 굵은골재의 흡수 특성 실험결과와 동일한 경향으로



(a) CC



(b) RG



(c) LC

Fig. 3 Absorption Properties of Coarse Aggregate in HFC

나타났다.

Fig. 3(b)는 가압 전·후 HFC 내부 RG의 흡수 특성을 평가하여 나타낸 것이다. Fig. 3(b)의 결과, RG의 경우 가압전 RG의 흡수율은 1.21~1.24% 범위로 나타났으며, 가압후 RG의 흡수율은 CC의 결과와 마찬가지로 가압에 따른 굵은골재의 흡수 특성 실험결과와 동일한 경향으로 나타났다.

이러한 원인은 CC 및 RG의 경우 비교적 조직이 치밀하고 일반적으로 표면 건조 상태에서 내부공극이 완전히 포화되었기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과를 통하여 CC 및 RG의 경우 HFC 내부에서도 압력 작용에 의하여 흡수율은 증가

되지 않는 것으로 판단된다.

이러한 결과는 기존 연구(Kim et al., 2006; Ko et al., 2010)에서 보고된 펌프압송 전·후 콘크리트의 다양한 품질변화 중 유동성 및 단위수량 감소의 주된 원인은 압력에 의한 골재의 흡수를 증가라는 연구결과와 상반된 결과로 판단된다. Kim의 연구결과는 대규모 펌프압송 실험을 실시하여 유추 해석한 결과이기 때문 다른 오차요인이 많지만 본 연구의 결과는 직접적인 압력을 작용시킬 수 있는 입체가압형 가압장치를 이용하여 측정된 결과이기 때문에 보다 신뢰성 있는 것으로 판단된다.

Fig. 3(c)는 가압 전·후 HFC 내부 LC의 흡수 특성을 평가하여 나타낸 것이다. Fig. 3(c)의 결과, LC의 경우 가압전 LC의 흡수율은 9.3~9.5% 범위로 나타났으며, 가압후 LC의 흡수율은 CC 및 RG의 결과와 마찬가지로 가압에 따른 굵은골재의 흡수 특성 실험결과와 동일한 경향으로 나타났다.

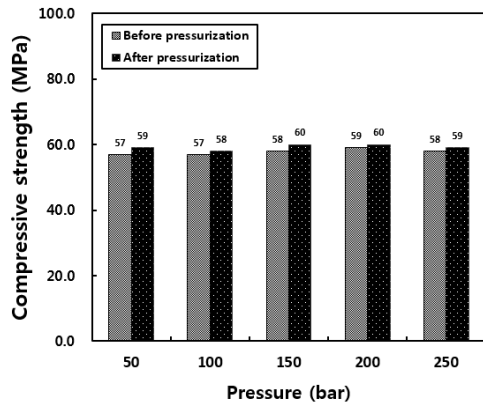
이러한 결과를 통하여 LC의 경우 표면 건조 상태를 KS F 2533의 규정에 따라 24시간 침수 시킨 것으로 하는 것은 바람직하지 못 할 것으로 판단되며, LC를 사용한 HFC를 150 bar 이상으로 펌프압송할 경우에는 예비실험을 통하여 LC의 가압조건에 따른 흡수 특성을 충분히 파악한 다음 사용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4.2.2 가압 전·후 HFC의 압축강도

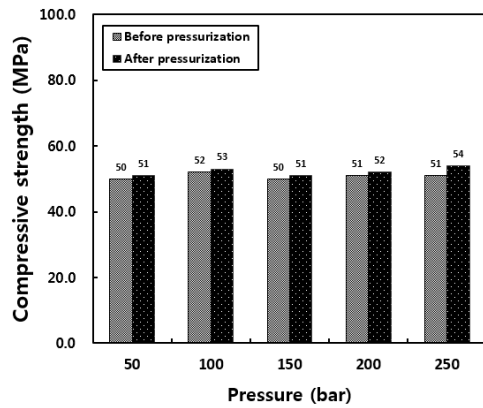
Fig. 4(a)는 CC를 사용한 HFC의 가압 전·후 압축강도 특성을 평가하여 나타낸 것이다. Fig. 4(a)의 결과, CC를 사용한 HFC의 경우 가압전 압축강도는 57~59 MPa 범위로 나타났으며, 가압후 압축강도는 유지시간 10 min 및 가압조건(50, 100, 150, 200 및 250 bar)에 따른 영향은 미소한 것으로 나타났으며, 58~60 MPa 범위로 나타났다. 또한, 가압후 압축강도는 가압전 압축강도와 비교하여 약 1~2 MPa 정도 증가되는 것으로 나타났지만, 그 차이는 크지 않아 오차범위 이내로 나타났다.

이러한 원인은 CC의 경우 표건 흡수율이 작아 절대건조상태의 CC 사용에 따라 보정된 수량이 약 6.2 kg/m³ 정도였으며, 가압전 흡수율은 평균 0.48%로 측정됨에 따라 골재 내부로 이동한 수량은 약 4.4 kg/m³ 정도로 가압전과 가압후 HFC의 수량 차이는 약 1.8 kg/m³ 정도에 불과하기 때문에 보정수량이 압축강도에 미친 영향은 없는 것으로 판단된다.

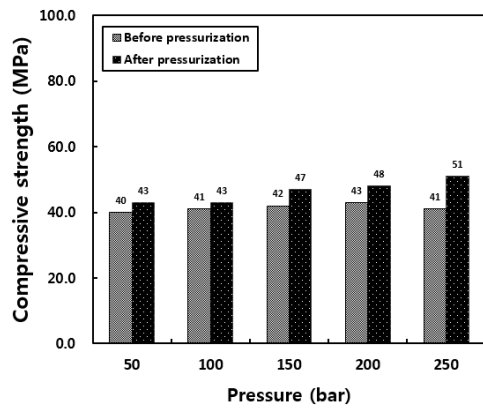
Fig. 4(b)는 RG를 사용한 HFC의 가압 전·후 압축강도 특성을 평가하여 나타낸 것이다. Fig. 4(a)의 결과, RG를 사용한 HFC의 경우 가압전 압축강도는 50~52 MPa 범위로 나타났으며, 가압후 압축강도는 유지시간 10 min 및 가압조건에 따른 영향은 CC를 사용한 HFC의 결과와 마찬가지로 미소한 것으로 나타났지만, 51~54 MPa 범위로 나타남에 따라 CC를 사용한 HFC와 비교하여 압축강도가 평균 약 6~7 MPa 정도 감소



(a) CC



(b) RG



(c) LC

Fig. 4 Compressive strength of HFC

된 것으로 나타났다. 이러한 원인은 일반적으로 RG는 입형이 둥글고 표면이 매끄러운 특징이 있어 CC 보다 매트릭스와의 부착력이 낮기 때문에 이에 기인하여 나타난 결과로 판단된다. 한편, 가압후 압축강도는 가압전 압축강도와 비교하여 약 1~2 MPa 정도 증가되는 것으로 나타났지만, 그 차이는 크지 않아 오차범위 이내로 나타났다.

이러한 원인은 RG의 경우 CC 보다 비교적 표건 흡수율이 크기 때문에 절대건조상태의 RG사용에 따라 보정된 수량이

약 15.8 kg/m³이지만 가압전 흡수율은 평균 1.22%로 측정됨에 따라 골재 내부로 이동한 수량은 약 10.8 kg/m³ 정도로 가압전과 가압후 HFC의 수량 차이는 약 5 kg/m³ 정도로 비교적 작기 때문에 보정수량이 압축강도에 미친 영향은 없는 것으로 판단된다.

Fig. 4(c)는 LC를 사용한 HFC의 가압 전·후 압축강도 특성을 평가하여 나타낸 것이다. Fig. 4(a)의 결과, LC를 사용한 HFC의 경우 가압전 압축강도는 40~42 MPa 범위로 나타났으며, 가압후 압축강도는 유지시간 10 min 및 가압조건에 따른 영향은 CC 및 RG를 사용한 HFC의 결과와 다르게 가압조건 증가에 따라 다소 압축강도가 증가되는 것으로 나타났으며, 43~51 MPa 범위로 나타남에 따라 CC를 사용한 HFC와 비교하여 압축강도가 평균 약 11~13 MPa 정도 감소된 것으로 나타났다. 이러한 원인은 일반적으로 LC는 다공질이며, 골재 자체의 강도가 작기 때문에 이에 기인하여 나타난 결과로 판단된다. 한편, 가압후 압축강도는 가압전 압축강도와 비교하여 평균 약 5~7 MPa 정도 증가되는 것으로 나타남에 따라 LC를 사용한 HFC의 경우 가압에 따라 압축강도가 증가되는 경향으로 나타났다.

이러한 원인은 LC의 경우 표건 흡수율이 13.8%로 크기 때문에 절대건조상태의 LC사용에 따라 보정된 수량이 약 89.3 kg/m³ 정도로 매우 많으며, 가압전 흡수율은 평균 9.4%로 측정됨에 따라 골재 내부로 이동한 수량은 약 60.8 kg/m³ 정도로 가압전과 가압후 HFC의 수량 차이는 약 28.5 kg/m³ 정도로 비교적 크기 때문에 압축강도에 영향을 미칠 수 있는 양으로 판단되며, LC의 가압에 따른 흡수 특성 실험결과 및 가압에 따른 HFC 내부에서의 흡수 특성 실험결과와 같이 유지시간 10 min의 가압조건 200 bar 이후, 유지시간 15 min 및 모든 가압 조건에서 표건 흡수율 이상으로의 흡수율 증가가 나타남에 따라 LC의 경우 유지시간 및 가압조건 증가에 따라 흡수율 증가에 기인하여 압축강도에 영향을 미치는 수량이 점차 감소하여 나타난 결과로 판단된다.

5. 결론

고압송용 HFC 개발을 위한 기초적인 연구의 일환으로 펌프압송시 압송관내 콘크리트가 받는 압력을 재현할 수 있는 입체가압형 가압장치를 개발하여 펌프압송시 발생하는 다양한 품질변화의 원인 중 압력에 의한 단위수량 감소에 중점을 두어 가압에 따른 콘크리트용 굵은골재의 흡수 특성 및 HFC 내부 굵은골재의 흡수 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 가압에 따른 굵은골재의 흡수 특성은 부순굵은골재 및 강자갈의 경우 250 bar 정도의 높은 압력이 작용하여도 흡수율은 각각의 표건 흡수율 이상으로 증가되지 않는 것으로 나타났지만, 경량굵은골재의 경우 표건 흡수율 이상으로 흡수율이 증가되는 것으로 나타났다.
- 2) 가압에 따른 HFC 내부 굵은골재의 흡수 특성은 부순굵은골재 및 강자갈의 경우 가압후 흡수율은 표건 흡수율과 동등한 수준으로 나타났으며, HFC 내부에서도 압력 작용에 의하여 증가되지 않는 것으로 나타났지만, 경량굵은골재의 경우 표건 흡수율 이상으로 흡수율이 증가되는 것으로 나타났다.
- 3) 가압 전·후 HFC의 압축강도 특성은 부순굵은골재 및 강자갈을 사용한 HFC의 경우 가압에 따른 압축강도의 증감은 없는 것으로 나타났지만, 경량굵은골재의 경우 가압에 따라 압축강도가 증가되는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통하여 부순굵은골재 및 강자갈을 사용한 HFC의 경우 펌프압송시 압력에 의한 골재의 흡수율 증가에 따른 품질변화는 발생되지 않을 것으로 판단되지만, 경량굵은골재를 사용한 HFC를 150 bar 이상으로 펌프압송할 경우에는 예비실험을 통하여 경량굵은골재의 가압조건에 따른 흡수 특성을 충분히 파악한 다음 사용할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의한 연구입니다. 이에 감사드립니다.

References

1. Choi, Y. W., Jung, J. S., Moon, D. J., Shin, H. C. (2003), A Study on Proportion of Normal-Strength Self-Compacting Concrete Using Ground Calcium Carbonate, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 23(4A), 627-637.
2. Choi, Y. W., Jung, M. Y., Jung, J. S., Moon, D. J., An, S. Y. (2002), Optimum Mixture Proportion of Self-Compacting Concrete Considering Packing Factor of Aggregate and Fine Aggregate Volume Ratio, *Korea Concrete Institute*, 14(2).
3. Choi, Y. W., Kim, Y. J., Kang, H. J. (2008), A Study on the Flowability Properties of the High Flowing Self-Compacting Concrete for Members of Bridge Precast, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 28(1A), 163-169.
4. Ji, S. W., Seo, C. H. (2006), Development of Concrete Pumping Technology in High-rise Buildings, *Review of Architecture and Building Science*, 50(4), 66-71.
5. Kim, K. M., Yoo, J. K., Shin, H. C., Choi, J. W. (2006), Properties of Water Content Variances in Ultra High Flowing Concrete Before and After the Pumping Operation, *Korea concrete institute*, 18(2).
6. Kim, S. Y., (2007), An Experimental Study on the Internal Pressure of Pipeline in Concrete Pumping, Ph. D. Program in Architectural Engineering Graduate school of Konkuk University.
7. Ko, J. H., Yoo, S. Y., Koo, J. S., Moon, H. J., Kim, J. J., Park, S. J. (2012), An Experimental Study to Apply for High-Rise Construction according to Various Technical Properties of Ultra High-Strength Concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 28(1), 85-92.
8. Ko, J. W., Kim, J. J., Lee, S. H., Moon, H. J., Park, S. J. (2010), An Experimental Study on the Physical Property Change of High Strength Concrete for High-rise Building Before and After Concrete Pumping Transfer, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 26(9), 71-78.
9. Ko, J. W., Moon, H. J., Seok, W. K., Park, S. J., Kim, H. J. (2008), A Study on the 1:1 Full Scale Core Wall Mock-up Test of High Strength Concrete Performed by Testing Pumpability, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 24(8), 203-210.
10. Su, N. Hsb, K. C., Chai, H. W., (2001), A Simple mix Design Method for Self-compacting Concrete, *Cement and Concrete Research*, 31(12) 1799-1807.
11. Su, N. Miao, B. (2003), A new method for the mix design of medium strength flowing concrete with low cement content, *Cement and Concrete Composite*, 25(2), 215-222.

Received : 09/02/2015

Revised : 11/25/2015

Accepted : 02/26/2016

요 지 : 본 연구에서는 고압송용 고유동콘크리트 개발을 위한 기초적인 연구의 일환으로 펌프압송시 압송관내 콘크리트가 받는 압력을 재현할 수 있는 가압장치를 개발하였다. 이를 통하여 펌프압송할 경우 발생하는 품질변화의 원인 중 압력에 의한 단위수량 감소에 중점을 두어 가압에 따른 콘크리트용 굵은골재의 흡수 특성 및 고유동콘크리트 내부 굵은골재의 흡수 특성을 평가하였으며, 고유동콘크리트의 가압 전·후 압축강도를 평가하였다. 실험결과, 250 bar의 높은 압력이 작용할 경우 부순굵은골재 및 강자갈의 흡수율은 표건 흡수율 이상으로 증가되지 않는 것으로 나타났으며, 경량굵은골재의 흡수율은 표건 흡수율 이상으로 증가되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 고압송, 고유동콘크리트, 가압, 굵은골재, 흡수