

고로슬래그를 혼입한 콘크리트 수로관의 구조 성능

Structural Capacity of Water Channel Fabricated of Blast Furnace Slag Concrete

유성원¹ · 양인환^{2*}Sung-Won Yoo¹ · In-Hwan Yang^{2*}

(Received November 30, 2016 / Revised December 9, 2016 / Accepted December 9, 2016)

Structural capacity of water channel fabricated of concrete including blast furnace slag were investigated in this paper. An experimental study was consisted of materials test and structural test of concrete water channel. The mechanical properties of concrete including blast furnace slag were investigated. Ordinary Portland cement (OPC) was used as basic binder and the effect of the replacement of blast furnace slag for OPC was investigated. Experiments were performed to measure mechanical properties including compressive strength, elastic modulus and modulus of rupture. Test results show that the compressive strengths and modulus of ruptures of mixtures containing blast furnace slag were equivalent to those of OPC concrete. In addition, the structural capacity of concrete water channel with up to the replacement ratio of blast furnace slag of 45% was greater than the required strength in KS specification.

키워드 : 고로슬래그, 압축강도, 탄성계수, 파괴계수, 콘크리트 수로관

Keywords : Blast furnace slag, Compressive strength, Elastic modulus, Rupture of modulus, Concrete water channel

1. 서론

철강슬래그는 철을 생산하는 과정에서 발생하는 산업부산물로, 철강공정에서 발생하는 철 이외의 불순물과 이 불순물을 제거하기 위해 투입되는 원료의 물리화학적 혼합에 의해 형성되며, 발생하는 공정에 따라 크게 고로슬래그와 제강슬래그로 분류된다. 고로슬래그는 고로에서 선철을 제조하는 과정에서 철광석과 코크스, 석회석 등에 존재하는 SiO_2 와 Al_2O_3 등이 고온에서 석회와 반응하여 생성된다(Choi et al., 2003; Joo et al., 2002). 고로슬래그는 냉각방식에 따라 수재(급냉슬래그), 괴재(서냉슬래그)로 분류할 수 있으며, 수재는 포틀랜드시멘트와 유사한 화학성분을 나타낼 뿐만 아니라 잠재수경성이 있어 시멘트 혹은 시멘트 대체재로, 괴재는 파쇄 및 입도선별의 과정을 거쳐 도로 노반재, 성토재 등으로 활용하고 있다(Lee et al., 2000; Joo et al., 2002; Han et al., 2000; Lee et al., 2004).

고로슬래그의 70% 이상은 고로에서 발생한 용융슬래그를 물로 급속분사시켜 급랭시킨 수재로, 비정질로 형성되며 잠재수경성을 지니고 있어 고로슬래그시멘트 및 고로슬래그 미분말 제조 시 원료로 주로 활용되고 있다. 국내 철강 산업의 확장에 따른 고로 증설에 따라 계속 증가하여 고로슬래그 수요 및 용도 확대를 위한 다양한 방안을 강구할 필요가 있다(Yi et al., 2013; Hong et al., 2015).

한편, 콘크리트 수로관 제품은 도로, 공단조성 및 대규모택지개발에 사용되는 콘크리트 수로관으로 목적에 따라 우수와 하수, 폐수 등을 배출하기 위해서 사용되고 있다. 현재 대부분의 수로관은 콘크리트 제품이 경제성 및 유지관리의 측면에서 가장 많이 사용되고 있다. 콘크리트 수로관은 제품의 사용특성상 끊임없이 물과 접하게 되며, 특히 해양 환경조건 및 바닷가 근처의 매립환경에서는 내구성능 저하 환경에 노출된다. 이러한 해양환경조건에서 콘크리트 수로관의 내구성을 향상시키기 위해서 일반콘크리트보다 고로슬래그 미분말을 적용한 콘크리트가 유리하다고 알려져 있

* Corresponding author E-mail: ihyang@kunsan.ac.kr

¹가천대학교 건축공학과 교수 (Department of Architectural Engineering, Gachon University, Professor, Seongnam, 13120, Korea)

²군산대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Professor, Kunsan, 54150, Korea)

다(Song et al. 2003; Kim et al. 2004), 그러나 고로슬래그 미분말을 사용한 수로관의 구조거동 특성 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 기본적인 역학적 특성을 파악하고, 수로관 제품에 적용하여 수로관의 구조성능 특성을 파악하였다.

2. 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트의 배합설계

배합에 사용한 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그 미분말의 XRF 분석을 수행하였으며, 이를 통한 화학성분 분석결과를 Table 1에 나타내었다

Table 1. Chemical composition

Compositions	Chemical composition(%)	
	OPC	Blast furnace slag
Na ₂ O	0.35	0.32
MgO	3.28	4.63
Al ₂ O ₃	6.79	19.69
SiO ₂	32.91	42.30
SO ₃	5.15	5.37
K ₂ O	2.14	0.38
CaO	46.75	25.07
TiO ₂	0.12	0.18
Fe ₂ O ₃	0.65	0.07
P ₂ O ₄	0.41	0.05
MnO	0.04	0.03
L.O.I	0.90	1.54
Sum	99.50	99.66

Table 2. Mix proportion

Mixtures	Unit weight(kg/m ³)							
	w/c (%)	s/a(%)	Water (w)	Cement (C)	Slag (BS)	Fine agg.	Coarse agg.	Super-plasticizer
Plain	30.6	46.0	136.0	445.1	0	764.0	962.0	0.7% (Binder weight)
GS-15				378.3	66.8	764.0	962.0	
GS-30				311.6	133.5	764.0	962.0	
GS-60				178.0	267.1	764.0	962.0	

고로슬래그 미분말 치환율을 콘크리트 배합의 실험변수로 설정하였다. 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 기준으로 고로슬래그를 0, 15, 30 및 60%로 치환하여 실험을 수행하였다. 또한, 설계압축강도 35MPa에 대하여 고로슬래그 치환율에 따른 영향을 평가하고자 하였다. 폴리카르본산계 고성능 AE감수제를 혼화제로 사용하였다. 배합 시 골재의 표면상태는 표면건조내부포화(S.S.D.) 상태를 기준으로 준비하였다. 굵은골재는 부순자갈로서 최대직경 25mm인 골재를 사용하였으며, 배합표를 Table 2에 나타내었다.

배합 방법으로는 본배합 실시 전 팬 믹서기 내부에 모르타르 코팅을 하여 수분의 흡수를 방지하였으며 굵은골재, 잔골재, OPC 및 고로슬래그 미분말을 순서대로 투입한 후 제 1속도로 1분간 건비빔을 실시하였다. 그 후, 30초동안 고성능 AE감수제를 혼합한 배합수를 투입하였다. 배합수 투입이 끝난 후, 제 2속도로 30초동안 비빔을 하였으며, 1분간 정지하였다. 마지막으로 제 2속도로 1분간 비빔을 다시 실시하였다. 수로관 제품은 주로 증기양생을 실시하며, 이에 따라 실험시편을 증기양생을 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도

배합 별 콘크리트의 7일, 28일 및 56일의 압축강도를 측정하였다. 압축강도 실험은 Fig. 1과 같이 직경 100mm, 높이 200mm의 원주형 공시체를 만능시험기로 하중을 재하하여 측정하였다. 각 시리즈별 7일 압축강도 측정결과를 Table 3과 Fig. 2에 도식화하였다.

Plain 배합 콘크리트(고로슬래그 치환율=0)의 평균압축강도는 31.2MPa, 고로슬래그 치환율 15, 30 및 60%일 때의 평균압축강도는 30.9, 29.7 및 29.3MPa로서 치환율 증가에 따른 압축강도 변동성 영향이 적다. 본 실험에서는 증기양생을 실시하였으므로 각 배합의 7일 압축강도 변동성이 작은 것으로 판단된다. 이는 고로슬래그 치환율에 따라 콘크리트의 7일 압축강도는 불리하지 않은 것을 의미한다.

재령 28일의 압축강도와 탄성계수를 측정하기 위하여 2,000kN

Table 3. Test results

Mixtures	Specimens	Slump (mm)	Compressive strength (7 days) (MPa)	Compressive strength (28 days) (MPa)	Compressive strength (56 days) (MPa)	Elastic modulus (28 days) (MPa)	Rupture modulus (28 days) (MPa)
Plain	1	145	34.4	34.4	39.3	20,314	5.5
	2		28.2	37.2	38.1	24,088	4.6
	3		30.9	36.8	37.2	22,744	4.9
	Mean		31.2	36.1	38.2	22,382	5.0
BS-15	1	143	31.6	33.2	39.9	22,956	5.5
	2		31.2	36.3	39.5	24,088	5.3
	3		29.9	37.8	38.5	25,111	4.1
	Mean		30.9	35.8	39.3	24,052	5.3
BS-30	1	146	31.9	33.9	40.1	24,353	4.8
	2		27.9	36.7	42.3	25,595	4.7
	3		29.3	35.6	38.3	25,583	5.0
	Mean		29.7	35.4	40.2	25,177	4.8
BS-60	1	143	30.0	36.7	44.7	26,611	5.4
	2		29.5	35.4	41.3	24,693	4.9
	3		28.4	36.2	43.6	25,132	5.7
	Mean		29.3	36.1	43.2	25,479	5.3

용량의 만능시험기(UTM)를 사용하였다. 하중재하는 변위제어 방식으로 0.8mm/min의 속도로 재하하였다. 하중재하 전 공시체 원주방향으로 3개의 LVDT를 120도 간격으로 설치하였다. LVDT는 공시체 중앙 100mm구간에 설치하여 하중재하시 변위를 측정하였다(Fig. 2), 28일 압축강도 측정결과는 Table 3과 Fig. 2에 나타내었다.



Fig. 1. Compression test setup

Plain 콘크리트(고로슬래그 치환율=0)의 28일 평균압축강도는 36.1MPa, 치환율 15, 30 및 60%일 때 평균압축강도는 35.8, 35.4 및 36.1MPa로서 치환율 증가에 따른 압축강도 변동성 영향이 적다. 이는 고로슬래그 치환율에 따라 콘크리트의 7일 강도 특성과 유사하

게 콘크리트의 28일 압축강도는 불리하지 않은 것을 의미한다. 고로슬래그 미분말 치환율 증가에 따라 28일 강도는 약간 감소하나, 변동성이 크지 않은 것은 증기양생을 실시하였기 때문으로 판단된다.

재령 56일의 압축강도 실험 결과를 Table 3과 Fig. 2에 나타내었다. Plain 콘크리트(고로슬래그 치환율=0)의 56일 평균압축강도는 38.2MPa, 치환율 15, 30 및 60%일 때 평균압축강도는 39.3, 40.2 및 43.2MPa로서 치환율 증가에 따른 압축강도 변동성 영향이 적다. 이는 고로슬래그 치환율에 따라 콘크리트의 56일 압축강도는 불리하지 않은 것을 의미한다.

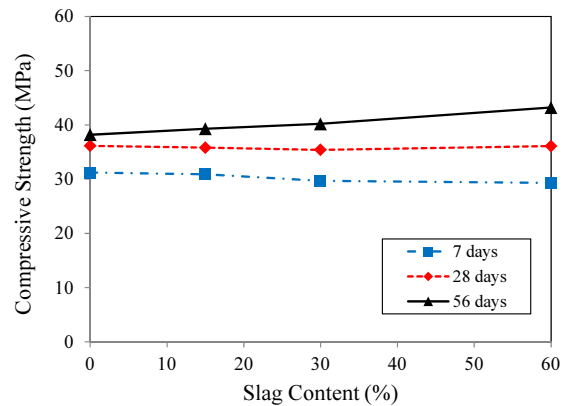


Fig. 2. Comparison of compressive strengths at various curing days

또한 Fig. 2에 고로슬래그 미분말을 함유한 콘크리트의 재령에 따른 즉, 7일, 28일 및 56일의 압축강도를 비교하여 나타내었다.

고로슬래그 치환율이 0%일 때 재령 7일 압축강도는 31,2MPa이며, 재령 56일 압축강도는 38,2MPa로서 재령 7일 압축강도 대비 22.4% 증가하였다. 고로슬래그 치환율이 15%일 때 재령 7일 압축강도는 30,9MPa이며, 재령 56일 압축강도는 39,3MPa로서 재령 7일 압축강도 대비 27.2% 증가하였다. 고로슬래그 치환율이 30%일 때 재령 7일 압축강도는 29,7MPa이며, 재령 56일 압축강도는 40,2MPa로서 재령 7일 압축강도 대비 35.4% 증가하였다. 또한, 고로슬래그 치환율이 60%일 때 재령 7일 압축강도는 29,3MPa이며, 재령 56일 압축강도는 43,2MPa로서 재령 7일 압축강도 대비 47.4% 증가하였다. 실험결과와 OPC 대비 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 압축강도는 28일까지 차이는 크지 않으나, 28일 이후의 장기강도에는 유리한 것을 나타낸다.

3.2 탄성계수

탄성계수는 콘크리트의 압축응력-변형을 관계 곡선 측정결과를 이용하여 산정하였다. 압축응력-변형을 관계 곡선에서 변형률이 0.000050일 때의 압축응력과 최대압축강도의 40%일 때의 압축응력의 두 점을 연결한 선분의 기울기로 결정하는 할선계수(secant modulus) 방법으로 산정하였다.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050} \quad (1)$$

여기서,

S_2 : 최대 하중의 40%에 대응하는 응력(MPa)

S_1 : 변형률 0.000050에 대응하는 응력(MPa)

ϵ_2 : 응력이 S_2 일 때의 변형률 측정값

탄성계수 측정결과를 Table 3과 Fig. 3에 나타내었다. 고로슬래그 치환율이 0%일 때, 탄성계수는 22,382MPa이며 치환율 15%인 경우, 24,052MPa로서 7.5% 증가하였다. 고로슬래그 치환율이 30%일 때의 탄성계수는 25,177MPa로서 12.5% 증가하였으며, 60%일 때의 탄성계수는 25,479MPa로서 13.8% 증가하였다. 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 탄성계수는 증가하는 경향을 나타낸다. 따라서, OPC에 대한 고로슬래그 치환은 탄성계수 성능 측면에서 유리한 특성을 나타낸다.

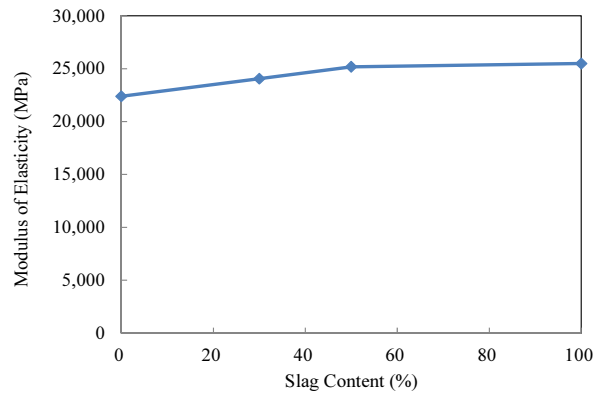


Fig. 3. Test results of elastic modulus(age of 28 days)

3.3 파괴계수

단면이 100×100mm의 정사각형이고 길이가 400mm인 프리즘 형상의 시편을 사용하여 콘크리트의 휨인장강도를 측정하였다. 시편 끝단으로부터 지점까지의 거리는 5mm로 설정하였으며 순지간은 300mm로 설정하였다. 측정장치는 2,000kN 용량의 만능시험기(UTM)를 사용하여 변위제어방식으로 0.3mm/min의 속도로 하중을 재하하였다. 가력점은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 시간중양에서 좌·우로 각각 100mm로 떨어진 곳에 위치한다.

파괴계수 측정결과를 Table 3과 Fig. 5에 결과를 각각 나타내었다. 고로슬래그 치환율 0%일 때의 파괴계수는 5.0MPa이며, 15%일 때의 파괴계수는 5.3MPa로서 6% 증가하였다. 치환율이 60%인 경우의 파괴계수는 5.3MPa로서 6% 증가하였다. 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 파괴계수는 증가하는 경향을 나타낸다.

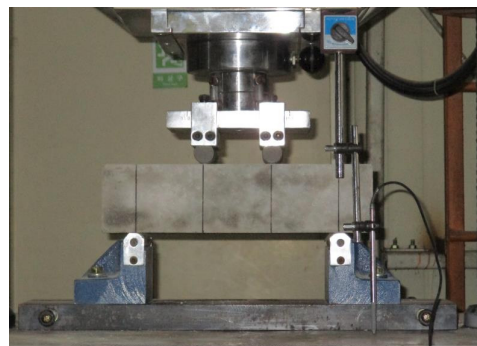


Fig. 4. Rupture modulus test setup

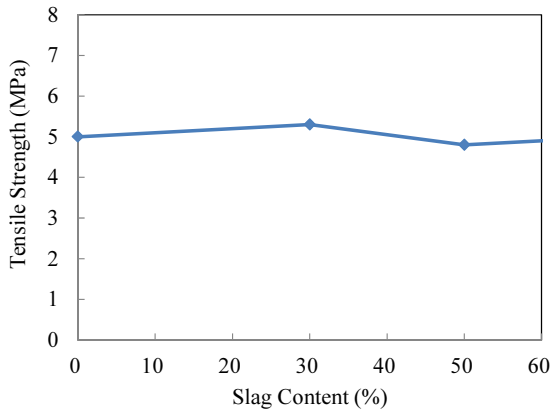


Fig. 5. Test results of tensile strength(age of 28 days)

4. 고로슬래그 콘크리트 수로관의 강도성능 실험

고로슬래그를 함유한 콘크리트를 이용하여 제작한 수로관을 이용하여 강도성능실험을 수행하였다. 콘크리트의 재령 28일에 수로관의 강도성능실험을 수행하였다. 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트 수로관의 구조성능실험을 수행하고 수로관의 구조성능 실험결과와 KS 기준의 휨강도와 비교하여 고로슬래그 시멘트를 사용한 수로관 구조 거동의 적정성 평가를 수행하였다.

4.1 수로관 시험체 준비 및 제작

수로관은 한국산업규격 KS F 4010의 규격에 맞춰 설계 하였으며, 모양, 치수 및 이음방법에 따라 I종, II종, III종으로 구분하며 시험에 사용된 수로관은 III종 300C를 적용하였다. 수로관의 생산 과정은 다음과 같다.

- ① 용접철망준비 : 종선 및 횡선을 규격에 맞게 용접하여 철망 제작
- ② 몰드에 설치 : 준비된 용접철망을 몰드에 설치
- ③ 타설 및 다짐 : 배합된 콘크리트를 투입한 후 진동판 위에서 고주파 및 저주파 진동 다짐 실시
- ④ 양생 : 양생실에 투입하여 제품 출하 시에 소요 강도를 얻을 수 있도록 함
- ⑤ 탈형 : 양생종료 후 몰드 제거
- ⑥ 검사 : 탈형 후 수로관의 겉모양, 치수검사 실시

4.2 하중성능 시험방법

고로슬래그 치환율에 따른 콘크리트 수로관의 구조성능을 파악

하기 위하여 가력장치를 이용하여 수로관의 길이방향으로 중앙부에 하중을 연직으로 재하하여 하중 저항 능력을 파악하고자 하였다.

수로관의 길이방향을 따라 하중을 균등하게 분포되도록 하여 하중을 가력하였다. 휨성능 시험을 할 때 수로관의 가압면 및 지지면에 고무판을 삽입하고, 하중이 균등하게 분포되도록 하였다(Fig. 6).

균열이 예상되는 단부 및 바닥판 하면에 콘크리트 변형률 게이지를 부착하였다. 계측센서 C1과 C2는 수로관 단부에 부착하였고, C3, C4, C5는 수로관의 소켓부를 제외한 바닥판 하면을 3등분 하여 각각 500mm간격으로 부착하였다. Fig. 7과 같이 계측센서를 부착하였다.



Fig. 6. Test setup



Fig. 7. Instrumentation for strain gauges

5. 고로슬래그 콘크리트 수로관의 강도성능 평가

측정에 사용된 각 시리즈별 수로관 시험체는 Table 4에 나타내었다. 기준 시험체(M1)의 경우, OPC를 100% 사용하였으며, 고로슬래그 미분말의 치환율을 각각 15%(M2 부재), 30%(M3 부재), 45%(M4 부재) 및 60%(M5 부재)로 고려하여 각 치환율에 따라 시험체의 구조성능 시험을 수행하였다.

측정된 부재의 균열하중 (P_{cr})과 극한하중 (P_u)을 Table 5에 나타내었다. 콘크리트 변형률 측정결과를 Fig. 8에 나타내었다. 하중

을 수로관에 균등하게 연직 재하하여 시간에 따른 변형률을 측정 한 결과, C1 게이지는 압축영역을 나타내고, C2 게이지는 인장영역을 나타내었다. 또한, 균열이 발생하기 전 초기 구간에서는 곡선이 수직으로 증가하는 선형구간을 나타낸 후, 균열하중 이후 비선형구간을 나타내었다.

Table 4. Replacement ratio of blast furnace ratio

Channel	Blast furnace slag ratio(%)	
	OPC(%)	Blast furnace slag(%)
M1	100	0
M2	85	15
M3	70	30
M4	60	45
M5	40	60

Table 5. Structural test results

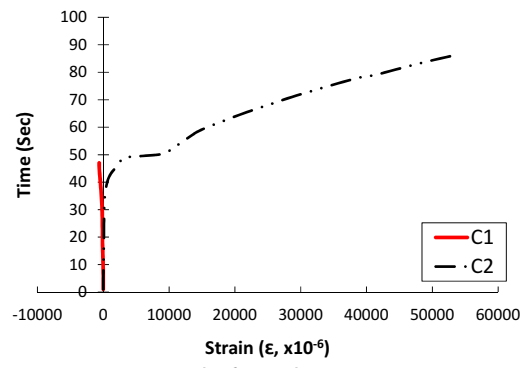
Members	Measured load (kN)		KS (kN)	Remarks
	P_{cr}	P_u	P_{cr}	
M1	58	70	46	O.K.
M2	51	66	46	O.K.
M3	49	63	46	O.K.
M4	47	54	46	O.K.
M5	45	60	46	N.G.

수로관 성능실험은 KS B 5533에 규정하는 시험기와 동등한 성능을 가진 시험기를 사용하였으며, 하중은 일정한 속도로 재하하였다. 하중 측정은 규칙적으로 하중단계마다 데이터 로거(data logger)를 이용하여 자동측정을 수행하였다.

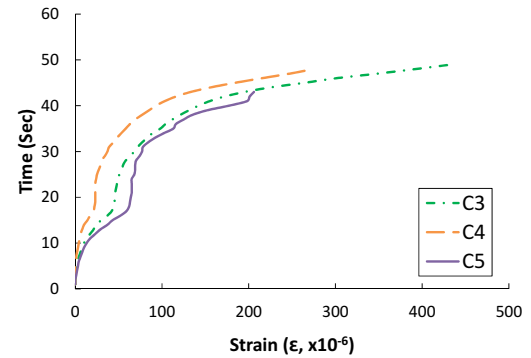
대표적으로 부재 M1, M2 및 M3의 균열형상은 Fig. 9에 나타내었다. 초기 균열은 수로관 단부에서 수직으로 발생하였고, 이후 균열은 수로관 바닥판 하면에서 중심을 따라 종방향으로 진전되었다. 휨 실험에 의한 부재 M1, M2, M3, M4의 균열하중은 58, 51, 49, 47kN으로서 KS 기준값인 46kN을 상회하여 만족한다.

휨 실험에 의한 부재 M5는 OPC를 고로슬래그 미분말로 100% 치환한 수로관 시험체이며, 앞선 시험체들과 다르게 강도 실험에 의한 균열하중은 45kN으로 KS 기준값인 46kN보다 작게 나타난다.

수로관의 휨 강도 실험결과를 Fig. 10에 나타내었으며, KS F 4010의 기준값도 함께 나타내었다. 부재 M1, M2, M3, M4 및 M5의 수로관의 균열하중은 58, 51, 49, 47 및 45kN으로 측정되었다. 수로관 M1, M2, M3 및 M4의 균열하중은 KS 기준값인 46kN을 상회



(a) End of member(C1, C2)



(b) Bottom slab(C3, C4, C5)

Fig. 8. Strain measurement(M3)



(a) End of slab



(c) Bottom of slab

Fig. 9. Failure patterns(M2)

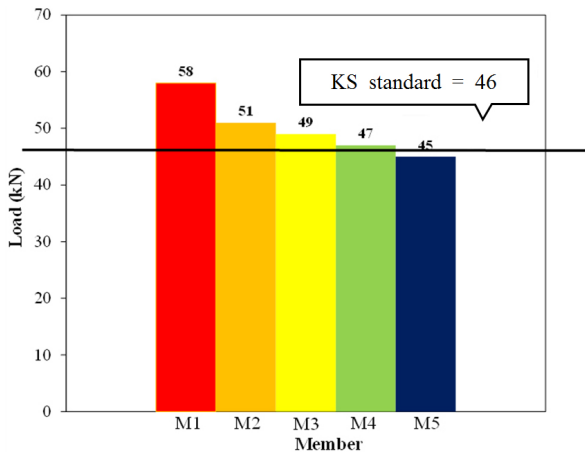


Fig. 10. Comparison of crack load

하여 만족하지만, 수로관 M5의 균열하중은 45kN으로서 KS 기준 값인 46kN 미만이므로 만족하지 않는다.

6. 결론

본 연구에서는 수로관 제작용 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 기본적인 역학적 특성을 파악하고, 고로슬래그 혼입 콘크리트를 사용한 수로관의 강도성능 실험을 수행하여 구조거동 및 구조적 강도 특성을 분석하였다.

1. 고로슬래그 콘크리트의 28일 압축강도는 OPC 콘크리트의 28일 압축강도와 거의 대등한 것으로 나타나며, 고로슬래그 콘크리트의 56일 압축강도는 OPC 콘크리트의 56일 압축강도보다 다소 크게 나타나 장기강도가 우수한 것으로 나타난다.
2. 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 탄성계수는 증가하는 경향을 나타낸다. 따라서, OPC에 대한 고로슬래그 치환은 탄성계수 증가에 따른 강성 증가 측면에서 유리한 특성을 나타낸다.
3. 고로슬래그 치환율 0%일 때의 파괴계수는 5.0MPa이며, 15%일 때의 파괴계수는 5.3MPa로서 6% 증가하였다. 치환율이 60%인 경우의 파괴계수는 5.3MPa로서 6% 증가하였다. 고로슬래그 치환율이 증가함에 따라 파괴계수는 증가하는 경향을 나타낸다.
4. 고로슬래그를 0%, 15%, 30% 및 45% 혼입한 수로관의 균열하중은 모두 KS 기준값인 46kN을 상회하여 강도성능을 만족한다. 반면에, 고로슬래그를 60% 포함한 수로관 균열하중은 45 kN으로서 KS 기준값인 46kN 미만이므로 강도성능을 충족하지 않는다. 따라서, 고로슬래그 치환율을 45%까지 치환하여 수로관 제작에 적용하는 것이 합리적이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 환경정책기반공공기술개발사업에서 지원받았습니다.

References

- Choi, S.W., Ban, S.S., Ryu, D.H., Choi, B.J. (2003). An experimental study on strength properties of concrete using blast-furnace slag subjected to freezing at early age, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **15(1)**, 43–51 [in Korean].
- Han, S.H. (2000). Strength characteristics of concrete containing blast-furnace slag as coarse aggregate, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **12(5)**, 59–68 [in Korean].
- Hong, S.H., Kim, H.S., Choi, S.W., Lee, K.M., Choi, S.J. (2015). Compressive strength properties of steam-cured high volume ggbfs cement concrete, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **3(1)**, 1–6 [in Korean].
- Joo, M.K., Jin, N.J., Yeon, K.S. (2002). Strength and durability of polymer-modified mortars using ground granulated blast-furnace slag, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **14(2)**, 164–170 [in Korean].
- Joo, M.K., Yeon, K.S., Ohama, Y. (2002). Strength properties of sbr-modified concrete using ground granulate blast-furnace slag, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **14(3)**, 315–320.
- Kim, E.K., Kim, J.K., Lee, D.H., Kim, Y.U., Kim, Y.C. (2004). A study of corrosion resistance of the reinforcement in concrete using blast-furnace slag powder, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **16(1)**, 1–9 [in Korean].
- Kim, J.H., Jeong, J.Y., Jang, S.Y., Jung, S.H., Kim, S.I. (2015). Strength development and durability of high-strength high-volume ggbfs concrete, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **3(3)**, 261–267 [in Korean].
- Lee, K.M., Kwon, K.H., Lee, H.K., Lee, S.H., Kim, G.Y. (2004). Characteristics of autogenous shrinkage for concrete containing blast-furnace slag, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **16(5)**, 621–626 [in Korean].
- Lee, S.S., Won, C., Kim, D.S., Park, S.J. (2000). A study on the engineering properties of concrete using blast-furnace slag powder, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **12(4)**,

49–58 [in Korean].

Song, H.W., Kwon, S.J., Lee, S.W., Byun, K.J. (2003). A study on resistance of chloride ion penetration in ground granulated blast-furnace slag concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, **15(3)**, 400–408 [in Korean].

Yi, S.T., Noh, J.H., Kim, J.H., Lee, K.J. (2013). A study on the improvement of early-age compressive strength of smart BFS powder added cement mortar, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, **17(2)**, 135–141 [in Korean].

고로슬래그를 혼입한 콘크리트 수로관의 구조성능

이 연구에서는 고로슬래그를 혼입한 콘크리트를 사용하여 제작한 콘크리트 수로관의 구조성능을 파악하였다. 고로슬래그 혼입 콘크리트의 재료특성 실험과 고로슬래그 혼입 콘크리트 수로관의 구조거동실험을 수행하였다. 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 기본 바인더로 하여 고로슬래그 혼입량에 따른 콘크리트의 물성을 파악하였다. 콘크리트의 역학적 특성으로써 압축강도, 탄성계수 및 파괴계수를 측정하였다. 고로슬래그 혼입 콘크리트의 역학적 특성은 OPC 콘크리트의 역학적 특성과 거의 대등한 수준으로 나타난다. 또한 고로슬래그를 45%까지 혼입한 콘크리트의 구조 강도는 KS 기준의 강도 하한값보다 크게 나타난다. 연구결과는 고로슬래그 혼입 콘크리트를 사용한 수로관의 구조성능 평가의 유용한 연구자료로 활용될 수 있다.