

슬래그 미분말을 혼입한 프리캐스트 암거의 휨실험에 관한 연구

A Study on the Flexural Experiment of Precast Culvert with Slag

태기호* 전중규** 장석우*** 곽종원****
Tae, Ghi-Ho Jeon, Jung-Khu Jang, Suk-Woo Koak, Jong-Won

ABSTRACT

This study is intended to discuss the application of blast slag for concrete to improve the durability of precast concrete box culvert. The precast concrete box culverts with blast slag are tested to verify the effect of early strength. The results show that the initial cracking load and yielding load of the blast slag concrete members are increased when they are compared with those of the normal concrete. In the prototype precast concrete box culvert experiment, initial crack control effect and ductility index are increased. It can be concluded that the use of blast slag was improved the durability in precast concrete box culvert.

1. 서론

Precast Segment에 의한 암거의 가설은 현장 타설식 암거에 비해 많은 장점과 경제적인 효율성에 힘입어 그 동안 활발한 연구와 개발이 이루어져 왔다. 우선 Precast Box 암거는 공기를 줄일 뿐만 아니라 콘크리트 품질의 우수성, 그리고 도심지와 같이 복잡하고 협소한 작업공간에서 우수한 시공성을 인정받고 있으며 요즘 사회적인 문제로 대두되고 있는 각종 오염, 소음, 분진 등의 환경적인 요인 등에서도 탁월한 효과가 있는 것으로 나타난다. 그러나 도로 밑 지중에 매설하는 암거는 교통량의 증가에 따른 교통하중의 증대와 내부공간의 증가에 따라 외압강도가 커짐으로 이를 수용할 수 있는 고품질의 암거를 시대의 요구에 맞춰 만족하여야 한다.

본 연구는 암거의 성능을 더욱 향상시켜 암거의 상재 허용하중을 증가시키며, 취약 지역에서도 시공이 유용하며 내구성이 뛰어난 암거를 연구 개발하고자 한다. 콘크리트의 품질향상을 위한 연구 및 이에 따른 각종 시험과 콘크리트 품질의 향상을 바탕으로 구조적인 성능 개선을 통하여 더욱 경제적이고 새로운 암거를 만들고자 하였다.

2. 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 재료적 실험

본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 혼입한 콘크리트의 최적 배합비를 도출하기 위하여 슬래그 치환율을 변수로 각각 배합별로 압축강도를 시험하였으며, 그 결과를 프리캐스트 콘크리트 제작에 고

* 정희원, 부천대학 토목과 교수, 공학박사

** 정희원, 한양대학교 산업과학연구소 연구원, 공학박사

*** 정희원, (주) 리다산업 대표이사

**** 정희원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원, 공학박사

려하였다. 프리캐스트 박스 암거는 현장타설에 비해 공기가 단축되므로, 현행 1일이나 2일 강도가 우선시 되고 있으므로 조기강도발현이 중요한 변수이다. 따라서, 슬래그를 혼합한 콘크리트의 강도발현 여부 영향도 살펴보았다. 사용재료로는 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC로 약함) 및 고로슬래그미분말(이하 BFS로 약함)를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

Item Types	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (mm ² /kg)
OPC	20.2	5.8	3.0	63.3	3.4	2.1	1.2	3.15	311.2
BFS	31.7	14.5	0.7	41.7	5.4	2.1	2.6	2.92	600.0

잔골재는 바다모래를 세척하여 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 25mm인 부순돌을 사용하였으며, 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Item Types	비 중	흡수율 (%)	실적률 (%)	조립률	단위질량 (kg/m ³)
Fine aggregate	2.60	1.01	56.8	3.0	1,475
Coarse aggregate	2.62	1.78	65.4	6.9	1,741

설계기준강도는 재령 28일에서 압축강도 35MPa이며, 목표로 하는 슬럼프는 120±15mm이고, 공기량은 4.5±0.5%이며, 굵은 골재 최대치수 25mm의 부순돌을 사용하였다. 한편, 프리캐스트 콘크리트를 제조하기 위하여 OPC, OPC + BFS 40%(BFS40으로 약함), OPC + BFS50%(BFS50으로 약함), OPC + BFS60%(BFS60으로 약함)로 정한 4배합의 콘크리트를 제조하였다. 이들 시험체는 28일 동안 수중양생한 후 시험 재령은 3, 7 및 28일로 정하였다.

실험결과, 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그미분의 혼합량을 각각 40, 50 및 60% 달리하여 제조한 공시체를 28일 동안 수중양생한 후 측정된 압축강도를 정리한 것이 그림 1이다.

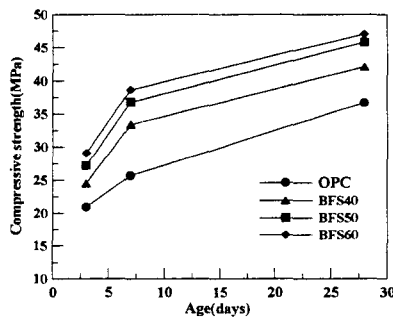


그림 1 압축강도 실험결과

이 그림에서 재령 28일에서의 OPC, BFS40, BFS50 및 BFS60 시험체의 압축강도는 각각 36.7, 42.1, 45.8 및 47.0 MPa를 나타내었으며, 고로슬래그미분말을 혼합한 콘크리트의 압축강도는 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트보다 크게 나타났다. 또한 고로슬래그미분말의 혼합율이 증가할수록 콘크리트의 압축강도는 조금씩 증가하는 결과를 나타내었다.

이러한 결과는 고로슬래그미분말의 분말도의 영향이 큰 것으로 판단되며, 또한 고로슬래그미분말의

잠재수경성에 의하여 콘크리트의 조직이 치밀해졌기 때문으로 생각된다.

3. 박스 압거 휨 실험

고로슬래그를 혼입한 콘크리트의 재료적 특성을 분석하기 위하여, 지하 콘크리트박스의 일반적인 형식인 내부제원 1.0m×1.0m인 박스압거 6개를 제작하고 이를 슬래그의 사용유무와 치환율을 변수로 2개씩 시험체를 제작하였다.

실험에 사용된 콘크리트는 재료적 실험결과에서 선정된 배합비를 근거로 하였으며, 또한, 재령별 콘크리트 압축강도를 슬래그를 치환하지 않은 경우와 비교하여 다음 표3에 나타내었다. 배근된 철근은 설계항복강도가 4,000 kgf/cm²인 SD40A를 사용하였으며, 철근에 대한 재료실험을 실시한 결과는 표4와 같다. 지하 박스압거의 일반적인 형태인 내부공간 1.0m×1.0m, 길이 2m 제원의 박스압거를 제작하였다. 시험체는 철근콘크리트 구조설계기준에 따른 강도설계법으로 설계하였다.⁽¹⁾(그림 2, 3참조)

표 3 실물시험체의 종류 및 특징

No.	시험종류	특징	비고
OPC	강도시험	비접합	보통콘크리트
BSC	강도시험	비접합	슬래그치환(40%)
PI	강도시험	비접합	슬래그 치환(50%)

표 4 철근의 재료적 성질

종류	항복강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)	극한강도 (kgf/cm ²)
철근 (SD40A)	4000	4500~6100	2.04×10 ⁶	6600

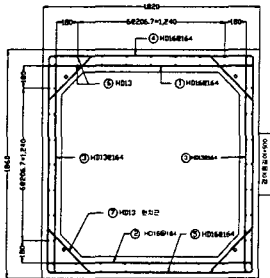


그림 2 실물시험체 단면제원

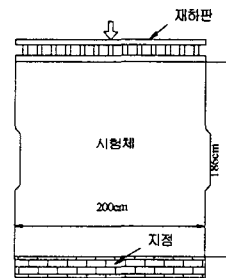


그림 3 시험재하방법

4. 실험 결과 및 분석

고로슬래그를 혼입한 시험체(BSC)는 보통콘크리트로 제작한 시험체(OPC)와 비교하여 유사한 파괴양상을 가지는 반면, 균열의 수가 적고 균열의 형태도 비교적 간결하였다. BSC 시험체와 OPC 시험체의 초기균열 발생시 변형률은 각각 884×10⁻⁶과 680×10⁻⁶으로 나타나 BSC시험체가 약간 우수한 것으로 나타났다. 다음 그림 4는 상부슬래브의 인장측 주철근 중앙에서 측정된 철근의 하중-변형률 선도이며 초기균열이 발생한 이후 변형률의 기울기가 상대적으로 증가하는 휨실험의 결과와 유사한 양상을 보여준다. 그림 5는 상부슬래브와 측벽 중앙에서의 처짐과 하중과의 관계를 나타낸 것으로 상부슬래브와 측벽 모두 BSC 시험체의 처짐이 작게 나타났으며 하중이 직접 재하되는 상부슬래브에서 그 차이가 두드러졌다. 처짐의 차이는 철근이 항복하기 전까지 증가하였으나 철근이 항복한 뒤 감소하였다. BSC 시험체는 OPC 시험체와 비교하여 초기균열하중, 항복하중, 최대하중에서 각각 47.2%, 35.5%, 6.6% 각각 더 큰 것으로 나타났으며 처짐의 제어에서도 상대적인 우수성을 보여주었다. 이상의 결과를 통해 실물시험체의 경우에도 팽창제에 의한 화학적 프리스트레스가 유효하게 도입됨을 알 수 있다. 또한, 파괴시 균열양상도 그림 6와 같이 팽창콘크리트를 사용한 시험체가 적은 수의 균열과 분포를 가지고

있는 것으로 나타났다.

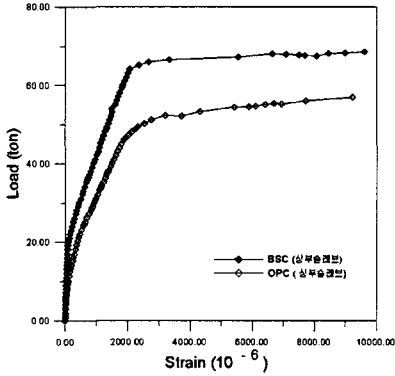


그림 4 하중-변형률선도(실물시험체)

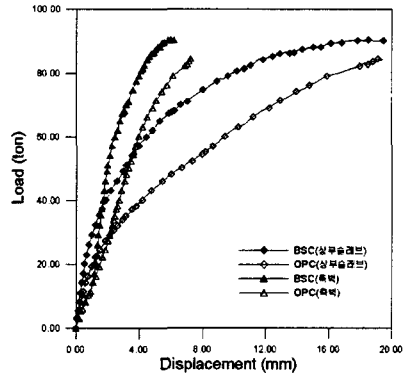
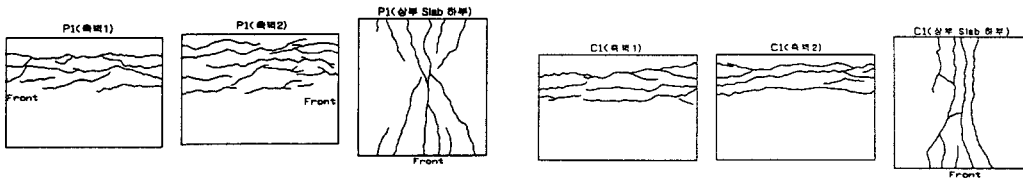


그림 5 하중-변위도(실물시험체)



(a) OPC 시험체

(b) BSC 시험체

그림 6 콘크리트 종류에 따른 시험체의 파괴양상

5. 결론

박스암거의 내구성개선을 위한 고로슬래그를 혼입한 프리캐스트 박스암거의 휨실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고로슬래그의 치환율을 높인 결과, 각각 40%, 50%, 60%에 대해 50%와 60%의 차이는 미미한 것으로 나타났으며, 40%보다는 미소하게 증가하는 것으로 나타나, 50% 조건이 가장 적합한 것이라 생각된다.
- 2) 휨 실험 결과, 초기균열 발생하중이 슬래그를 혼입한 경우가 약간 증가하는 것으로 나타났으며, 보통콘크리트와 최대하중의 차이는 미비하였으나, 연성의 문제에서는 슬래그로 치환한 경우가 훨씬 유리한 것으로 나타났다.
- 3) 향후, 내구성평가를 위한 실험이 이루어져야 할 것으로 판단되나, 휨 성능에서는 실험결과를 토대로 생각해 볼 때 고로슬래그의 유용한 사용실례가 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2005) "콘크리트 구조설계기준"
2. 장석훈(1994) "프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 세그멘탈 박스 거더 교량의 접합부 거동연구", 서울대학교
3. 조승호, "대형 판넬 프리캐스트 콘크리트 구조 수직접합부 전단기의 전단내력에 관한 실험적 연구" 인하대학교
4. Clyde E. Kesler, Donald W. Pfeifer(1970) "Expansive Cement Concrete - Present State of Knowledge", Journal of Material, ACI Journal, Vol 77 No. 5 684 - 689
5. P. Kumar Mehta, Paulo J.M. Monteiro(1997) "Concrete - structure, properties, and material", 2nd Edition, Prentice Hall,