

플라이애쉬의 치환율에 따른 고강도 자기충전 콘크리트의 특성

Properties of the high strength and self-compacting concrete according to the replacement ratio of fly ash

권영호* 이현호* 이화진* 하재담**
Kwon, Yeong-Ho Lee, Hyun-Ho Lee, Hwa-Jin Ha, Jae-Dam

ABSTRACT

This study describes the optimum mix proportion of the high strength and self-compacting concrete placed in main structures of LNG above tank. This concrete requires high strength level about 60~80MPa, low hydration heat, balance between workability and consistency without vibrating in the actual work. For this purpose, low heat portland cement and fly ash are selected and design factors including water-binder ratio, replacement ratio of fly ash are tested.

As experimental results, low heat portland cement shows lower the confined water ratio than another cement type and the optimum replacement ratio of fly ash in order to improve properties of the binder-paste shows 10% by cement weight considering test results of the confined water ratio(β_p). Also, flowability of the high strength and self-compacting concrete by using fly ash about 10~20% is improved. The replacement ratio of fly ash 10% and water-binder ratio 25~27% are suitable to the design strength 80MPa and cost, In case of the design strength 60MPa, the replacement ratio of fly ash and water-binder ratio show 20% and 25~30% separately. Based on the results of this study, the optimum mix proportions of the high strength and self-compacting concrete will be applied to the construction of LNG above tank as a new type.

1. 서론

지금까지 국내에서 건설된 지상식 LNG 저장탱크의 용량은 대부분 10만~14만kl 범위였으나, 가스 수요의 증대로 향후 16만~18만kl의 대용량 저장탱크가 건설될 예정이다. 이러한 대용량의 LNG 저장탱크를 기존방식으로 건설할 경우에는 막대한 공사비가 소요되는데, 이를 절감하기 위한 방안으로 고강도 자기충전 콘크리트를 적용하는 것이 가장 효과적일 것으로 사료된다. 기존 설계기준강도 40MPa인 지상식 저장탱크에 60MPa 또는 80MPa의 고강도 자기충전 콘크리트를 적용하게 되면 벽두께 및 자중의 감소, 콘크리트 타설량 및 지지말뚝의 개수도 줄일 수 있을 뿐만 아니라 콘크리트의 다짐작업에 따른 인력절감과 경제성 확보 및 시공관리의 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 이러한 구조물에 적용할 고강도 자기충전 콘크리트를 개발하기 위한 단계의 일환으로 수화열 저감과 유동성 및 자기충전성의 확보에 비교적 효과적인 저열 포틀랜드 시멘트와 플라이애쉬를 결합체로 사용하는 방안을 선정하였다. 따라서, 플라이애쉬의 치환율에 따른 구속수비의 결정 및 콘크리트의 특성을 실험적으로 검토하여 최적 치환율 및 이에 따른 영향을 평가하고자 한다.

* 정희원, 동양대학교 건축공학과 교수 (공학박사)

** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 수석연구원 (공학박사)

2. 사용재료 및 평가기준

2.1 사용재료

고강도 자기충전 콘크리트에 사용된 재료는 Table 1과 같다. 시멘트는 S사의 저열 포틀랜드 시멘트 (벨라이트 시멘트)를 사용하였고, S산업의 당진공장에서 생산되는 F급 플라이애쉬와 D사의 고성능 감수제를 각각 사용하였다. 또한, 굵은골재는 19mm 쇄석을, 잔골재는 강모래를 각각 사용하였다.

Table 1 Materials used in the high strength and self-compacting concrete

Cement	Fly ash	Chemical admixture	Coarse aggregate	Fine aggregate
-Belite cement(C ₂ S 48%) -Blaine : 3,500cm ² /g -Gravity : 3.22	-Loss ignition : 3.5% -Blaine : 3,735cm ² /g -Gravity : 2.19(F Class)	-Poly-carbone base -Glenium SP-8L -Gravity : 1.04±0.02	-F.M : 6.67 -Gravity : 2.62 -G _{max} :19mm(Crashed)	-F.M : 2.62 -Gravity : 2.60 -River sand

2.2 기본배합 및 평가기준

플라이애쉬의 치환율에 따른 고강도 자기충전 콘크리트의 기본배합 및 평가기준은 Table 2와 같다. 또한, 지상식 LNG 저장탱크의 배근조건은 일본 토목학회의 시공지침⁽¹⁾에서 분류하는 수준2에 해당하기 때문에, 고강도 자기충전 콘크리트의 평가기준을 Table 2와 같이 제시하였다.

Table 2 The fundamental mix design condition and the required performances of the fresh concrete

W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					Ad (B×%)	Slump flow (cm)	50cm reaching time (sec)	V-type flow time (sec)	U-box height (mm)	Air content (%)
		W	C	Fly ash	S	G						
27	50.5	165	611	0	818	811	1.1	65±5	7±3	15±5	min. 300	4±1

3. 변수범위 및 시험방법

3.1 변수범위

고강도 자기충전 콘크리트의 변수범위 및 시험방법은 Table 3과 같다. 즉, 단위수량 165kg/m³을 대상으로 물-결합재비 25~33%(4단계), 플라이애쉬의 치환율을 시멘트의 5~30% 범위로 선정하였다.

Table 3 Variation Items and ranges of the fresh and hardened concrete

Variations	Water-binder ratio (%)	Unit water (kg/m ³)	Replacement ratio of fly ash (%)	Remark
Range	25, 27, 30, 33 (4 Cases)	165 (1 Case)	5, 10, 15, 20, 30 (5 Cases)	Confined water ratio

3.2 시험방법

시험방법은 플라이애쉬의 치환율에 따른 페이스트의 구속수비 평가와 굳지 않은 콘크리트의 유동성·충전성 및 재령별 압축강도를 대상으로 하였으며, 이를 통해 설계기준강도 60MPa 및 80MPa에 대한 플라이애쉬의 영향을 비교, 평가하고자 한다. 구속수비(β_p)는 Fig.1과 같은 시험방법에 따라 고강도 자기충전 콘크리트의 유동성에 기여하지 못하는 시멘트의 구속수량을 평가하는 것으로, 플라이애쉬의 치환율에 따른 유동성 평가에도 유효할 것으로 사료된다.⁽²⁾

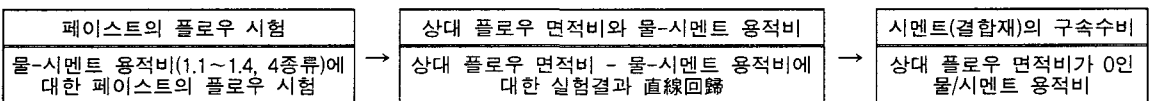


Fig.1 Confined water ratio test for cement and cementitious material

여기서, 페이스트의 플로우 시험은 KS R 5201에 준용하지만, 플로우 판에 낙하운동을 가하지 않고 플로우 콘을 제거한 후, 페이스트의 변형이 종료된 시점에서 2방향의 직경을 측정한다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 플라이애쉬의 치환율에 따른 구속수비 평가

Fig.2 및 Fig.3은 시멘트의 종류와 플라이애쉬의 치환율에 따른 구속수비의 실험결과를 각각 나타낸 것이다.

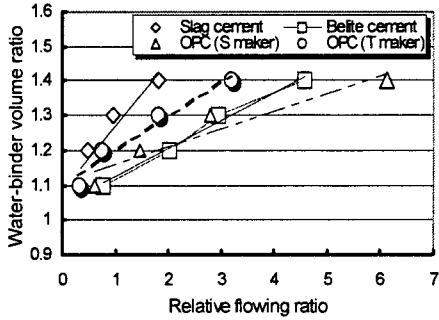


Fig.2 Confined water ratio for cement type

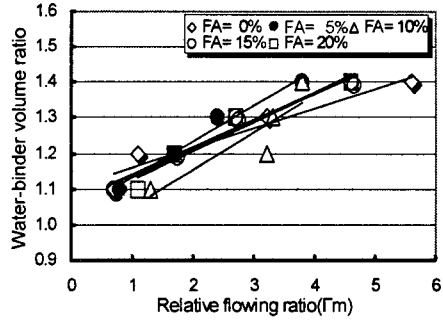


Fig.3 Confined water ratio for replacement ratio(FA)

시멘트 종류별 구속수비는 $OPC_1 > OPC_2 > \text{슬래그 시멘트} > \text{벨라이트 시멘트}$ 의 순으로 측정되었는데, 구속수비가 높다는 것은 시멘트-페이스트의 유동성에 기여하지 못하고 시멘트의 입자에 흡착되는 수량이 크다는 것을 의미한다. 따라서, 벨라이트 시멘트는 슬럼프 플로우를 증대시키는데 필요한 단위수량이 다른 시멘트에 비해 낮다는 것을 알 수 있다.

또한, 플라이애쉬의 치환율 10%까지는 구속수비가 감소하지만, 15~20%에서는 약간 증가하는 경향을 보였다. 반면에 변형계수는 10%까지 증가하지만 15~20%에서는 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 플라이애쉬의 치환율 10%범위에서 시멘트의 구속수량을 저감시키는데 효과적인 것으로 사료된다.

4.2 플라이애쉬의 치환율에 따른 유동성 및 점성평가

Fig.4 및 Fig.5는 플라이애쉬의 치환율에 따른 고강도 자기충전 콘크리트의 슬럼프 플로우 및 50cm 플로우 도달시간에 대한 실험결과를 각각 나타낸 것이다.

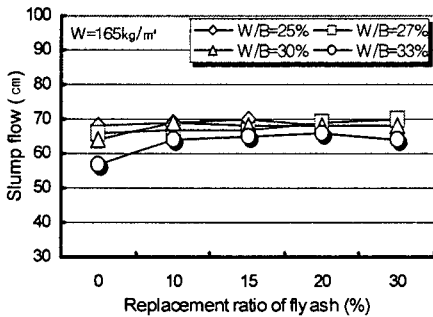


Fig. 4 Slump flow for replacement ratio(FA)

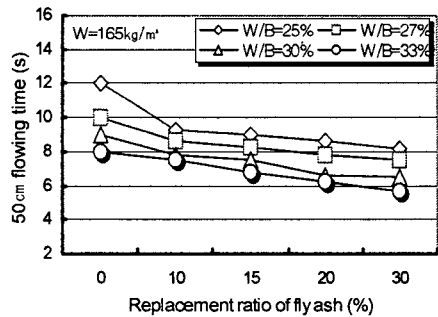


Fig. 50cm flow time for replacement ratio(FA)

실험결과, 단위수량 165kg/m³에서 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 슬럼프 플로우가 증가하는 경향을 보였지만, 치환율 30%에서는 약간 저하되는 것으로 나타났다. 또한, 50cm 플로우 도달시간은 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 감소하다가 20% 이후에는 일정해 지는 경향을 보였다. 물-결합재비에 따라 차이는 있지만, 플라이애쉬의 사용으로 유동성이 증진되었으며, 반면에 점성은 약간 저하되는 것으로 나타났다.

구속수비 및 굳지 않은 콘크리트에서 볼 때, 벨라이트 시멘트를 사용한 고강도 자기충전 콘크리트에 분체로 플라이애쉬를 사용할 경우에는 10~20% 범위에서 최적 치환율이 존재할 것으로 예상된다.

4.3 플라이애쉬의 치환율에 따른 압축강도 평가

Fig.6은 플라이애쉬의 치환율에 따른 재령91일의 압축강도를 나타낸 것이며, Fig.7은 플라이애쉬의 치환율이 10%일 때 재령에 따른 고강도 자기충전 콘크리트의 강도발현 성상을 나타낸 것이다.

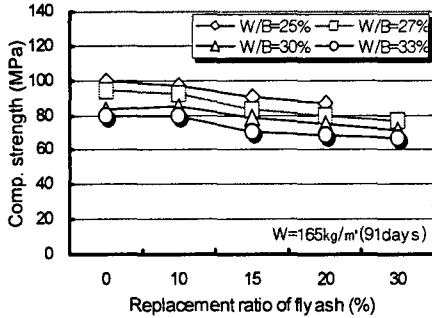


Fig.6 Compressive strength for replacement ratio(FA)

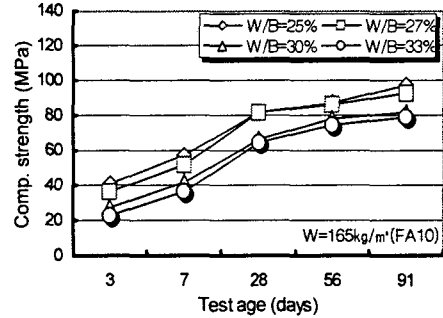


Fig.7 Compressive strength for test age(FA 10%)

Fig.6에서 보듯이 플라이애쉬 치환율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다. 플라이애쉬 치환율이 10%일 때, 물-결합재비에 관계없이 대부분 80MPa 이상의 압축강도 발현을 만족하였다. 그러나 현장에서의 강도손실율의 최대값을 20%로 산정할 때, 설계기준강도 80MPa를 만족하는 배합강도는 96MPa로 산정되기 때문에 재령 28일 압축강도와 91일 압축강도의 발현성을 비교하여 평가하는 방안이 필요하다.

Fig.7에서 보면, 플라이애쉬 치환율이 10%일 때, 28일 압축강도는 91일 압축강도의 81~88%로 나타났으며, 재령 28일 이후의 강도증가율은 평균 19.5%였다. 따라서, 재령 28일 압축강도를 설계기준강도의 조건으로 볼 때 설계기준강도 80MPa를 만족하는 배합조건은 플라이애쉬의 치환율 10%, 물-결합재비 25~27%범위로 사료된다. 또한, 플라이애쉬의 치환율 20%일 때, 28일 압축강도가 91일 압축강도의 75~84%로 나타났으며, 재령 28일 이후의 강도증가율은 평균 20%로 나타났다. 따라서, 설계기준강도 60MPa를 만족하는 배합조건은 플라이애쉬의 치환율 20%, 물-결합재비 25~30%의 범위로 나타났다.

5. 결론

- 1) 저열 포틀랜드 시멘트(벨라이트 시멘트)는 구속수비가 낮고, 플라이애쉬를 10%까지 치환할 경우에 구속수비 및 유동성 개선에 효과적이다. 또한, 플라이애쉬를 사용한 고강도 자기충전 콘크리트의 유동성은 개선되었지만, 점성은 약간 저하되는 것으로 나타났다.
- 2) 설계기준강도 80MPa 고강도 자기충전 콘크리트는 플라이애쉬 치환율 10%, 물-결합재비 25~27% 범위가 적합하며, 60MPa의 경우에는 플라이애쉬 치환율 20%, 물-결합재비 25~30%로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국가스공사의 “고강도 자기충전 콘크리트의 개발” 과제로 수행된 것임을 밝혀드립니다.

참고문헌

- (1) 日本土木學會., “高流動コンクリート施工指針”, 93コンクリートライブラリー.
- (2) 權寧鎬, 李賢浩, 李華振, 河在潭., “결합재의 종류 및 치환율에 따른 구속수비의 특성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집 제16권1호, pp.584~587, 2004.5.