

라이닝콘크리트에서의 FA적용에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Application of Fly Ash for Lining Concrecre

최 세 진* 임 정 열** 김 완 영*** 김 무 한****
Choi, Se Jin Lim Jeong Yeol Kim, Wan Young Kim, Moo-Han

ABSTRACT

The lining concrete of water tunnel is a structure that is constructed to prevent from corroding of the rock around tunnel and reduce the deterioration of geology by flowing water, and to improve the durability of tunnel, which must not only economy, stability but also satisfy the engeneering properties of concrete.

This is an experimental study to analyze the usability of fly ash in the tunnel lining concrete. For this purpose, after select the mix proportion of plain concrete and concrete using fly ash(the replacement of 15 and 30% by weight of cement) to satisfy slump, air content and compressive strength through the mix design, the test of slump, setting time, compressive strength, tensile strength, drying shrinkage and adiabatic temperature rise was performed.

According to test results, it was found that FA 15 concrete was more effective than the others to reduce drying shrinkage as well as satisfy other engineering properties.

1. 서론

라이닝콘크리트란 터널의 영구적인 라이닝으로서 무근 또는 철근콘크리트로 구축되는 터널의 가장 내측에 시공되는 터널의 부재를 말하며¹⁾, 라이닝의 목적은 터널주변 암반의 풍화방지 및 유수에 의한 지반열화 경감, 터널의 내구성 증대 등으로, 일반적으로 그림 1과 같은 단면형상을 하고 있다.

라이닝시 콘크리트는 시공불량, 내부응력, 건조수축 등에 따라 균열을 야기할 수 있으며, 콘크리트 구조물에서 발생하는 이러한 균열은 내구성의 저하와 외관의 손상을 초래하여 사용성을 저하시킬 뿐만아니라, 균열로 인한 보수비용을 증대시킨다.

본 연구는 플라이애쉬를 라이닝콘크리트에 적용하기 위한 실험적 연구로서, 플레인콘크리트와 플라이애쉬를 대체한 콘크리트의 배합설계를 통하여 실험배합을 결정하였다. 그 후, 선정된 실험배합에 의하여 표 1과 같은 실험항목들을 측정·분석함으로써 라이닝콘크리트에 플라이애쉬의 적용가능성을 검토 하였다.

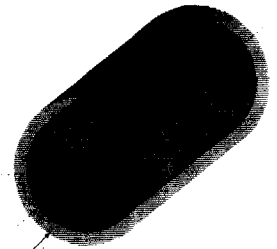


그림 1 라이닝콘크리트의 형상

2. 실험

2.1 실험계획

- *정회원, 충남대학교 대학원 박사과정
- **정회원, 한국수자원공사 수자원연구소 연구원
- ***정회원, 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원
- ****정회원, 충남대학교 건축공학과 교수

표 1 실험 진행 flow 및 측정항목

실험 Flow	측정 항목	
	아직굳지않은 콘크리트	경화콘크리트
배합설계 ↓ ←보정 W/B의 결정 ↓ ← 배합선정 본실험	1. 비빔온도.(°C), 공기량(%), 단위용적중량(kg/l) 2. 슬럼프(cm) : 경시변화(ini,30,60,90min.) 3. 응결시간	1. 압축강도 (7, 28, 56days) 2. 건조수축 3. 단열온도 상승시험

플라이애쉬는 그 품질이 원탄의 종류 및 품질, 분쇄정도, 연소시의 온도 등에 따라 다르기 때문에 소요 품질의 콘크리트를 제조하기 위해서는 시험비빔을 행하는 것이 좋다²⁾.

본 실험의 경우 실제 현장적용에 대비하여 플레인 콘크리트와 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 시험비빔을 통한 배합설계를 각각 실시하여 설계기준강도를 만족시키는 배합을 실험에 적용하였다.

측정항목으로는 공기량, 단위용적중량, 슬럼프, 응결시간, 압축강도, 건조수축, 단열온도 상승시험 등을 실시하였다.

2.2 사용재료 및 배합설계

본 연구에 사용된 재료는 표 2와 같다.

배합설계는 콘크리트 시방서에 의해 목표치(설계기준강도 : 270kgf/cm², 증가계수 : 1.15, 슬럼프 : 15cm, 공기량 : 5%)를 만족시킬 때까지 보정을 행하며 시험비빔을 실시하였고, 슬럼프와 공기량을 만족시키기 위하여 혼화제의 첨가율도 각기 다르게 적용하였다.

그림 2는 시험배치의 압축강도 시험결과를 나타낸 것으로, 물시멘트비를 산정하면 다음과 같다.

- 1) Plain콘크리트 : $\sigma_{28} = 178.18C/W - 115.47 \rightarrow W/C \approx 42\%$
- 2) FA15콘크리트 : $\sigma_{28} = 132.55C/W - 15.868 \rightarrow W/C \approx 41\%$
- 3) FA30콘크리트 : $\sigma_{28} = 232.56C/W - 313.93 \rightarrow W/C \approx 37\%$

Table 4는 배합설계를 통해 선정된 실험배합표를 나타낸 것이다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트 실험결과

3.1.1 공기량 및 단위용적중량의 변화

공기량 및 단위용적중량의 변화를 나타낸 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 공기량의 경우 4.8~5.8%의 수준으로서 목표 공기량인 5±1%를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 일반적으로, 플라이애쉬를 사용하게 될 경우 플라이애쉬 대체율이 증가하게 되면 플라이애쉬중에 포함되어 있는 미연탄소가 AE제를 흡착하기 때문에 공기량이 저하하는 것으로 알려져 있다²⁾. 그러나, 본 실험의 경우에는 플라이애쉬 대체율을 증가시키고 동시에 혼화제 첨가율도 증가시켰으므로, 이러한 경향은 나타나지 않았다.

표 2 사용재료

시멘트	· 1종보통포틀랜드시멘트 · 비중 : 3.14 · 분말도 : 3,329cm ² /g
플라이애쉬	· 보령産, 비중 : 2.23 · 분말도 : 3,144cm ² /g · 강열감량 : 3%
혼화제	· AE감수제
굵은골재	· 강자갈, Gmax. : 25mm · F.M. : 7.10 · 비중 : 2.59, 흡수율 : 1.67%
잔골재	· 강모래, Gmax. : 5mm · F.M. : 2.82 · 비중 : 2.57, 흡수율 : 1.43%

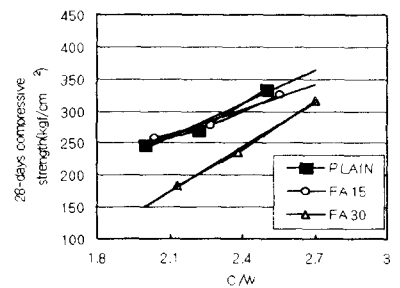


그림 2 압축강도 시험결과

표 4. 실험 배합

시멘트 종류	W/B (%)	FA 대체율 (%)	S/A (%)	단위수량 (kg/m ³)	절대용적 (l/m ³)				단위중량 (kg/m ³)				
					C	FA	S	G	C	FA	S	G	AE(g)
1종 보통	42	0	42.4	174	132	0	273	371	414	0	702	961	1035
	41	15	41.4	166	110	27	268	379	344	61	689	982	1133
	37	30	42.0	170	102	62	259	357	321	138	665	925	2294

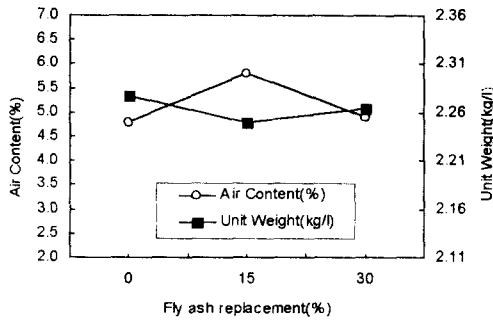


그림 3 공기량 및 단위용적중량의 변화

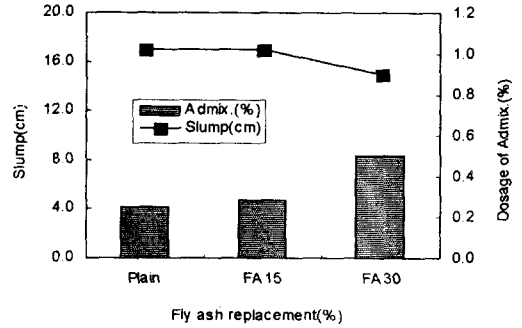


그림 4 슬럼프 및 혼화제첨가율의 변화

단위용적중량은 콘크리트중의 공기량이 높게 되면 상대적으로 단위용적중량이 낮게 나타나는 일반적인 경향을 보이고 있다.

3.1.2 슬럼프의 변화

그림 4는 슬럼프 및 혼화제 첨가율의 변화를 나타낸 것으로, 배합결정시에 설계기준강도를 기준으로 배합설계를 행하여 모두의 배합이 다르기 때문에 플라이애쉬를 대체할수록 유동성이 개선되는 현상은 뚜렷이 나타나지 않았다. 혼화제 첨가율의 경우 플라이애쉬를 대체한 경우가 상대적으로 많은 양을 첨가한 것을 알 수 있는데 이는, 플라이애쉬를 대체함에 따라 콘크리트의 분체량이 많아져 그로 인해 점성이 커지고, 또한 미연탄소의 AE제 흡착성 때문에 공기량확보를 위한 첨가량 증대로 생긴 현상이며, 특히 Plain 콘크리트와 FA30의 경우는 혼화제 첨가율이 2배가량 차이나고 있다.

그러나, FA15의 경우 혼화제 첨가율은 Plain 콘크리트와 비교해 소량 증가되었지만, 상대적으로 플라이애쉬를 대체하여 시멘트량을 절약할 수 있기 때문에, 전체공사 차원(total cost)에서 보면 대략 유사하거나, 그 이하일 것으로 판단된다.

3.1.3 응결시간의 변화

그림 5는 콘크리트의 응결시간을 파악하기 위하여 나타낸 관입저항치의 변화이다.

그림에서 알 수 있듯이, Plain 콘크리트보다는 플라이애쉬를 사용한 콘크리트가 응결시간이 상대적으로 느리게 나타났으며, 특히 FA 30 콘크리트의 경우에는 초결(35kg/cm²)까지 이르는 시간이 21시간이 소요되는 것으로 나타나, 현장 적용시 거꾸집 탈형 시기와 공기자연으로 이어질 가능성이 있어 주의가 요망된다. FA 15 콘크리트의 경우 Plain 콘크리트와 비교해 다소 차이는 보이나, 라이닝 콘크리트 현장적용시 문제점은 없을 것으로 판단된다.

3.1.4 단열온도 상승시험 분석

간이 단열온도상승 시험결과(그림 6)에서 알 수 있듯이, 플라이애쉬를 사용함에 따라 온도상승의 최대치

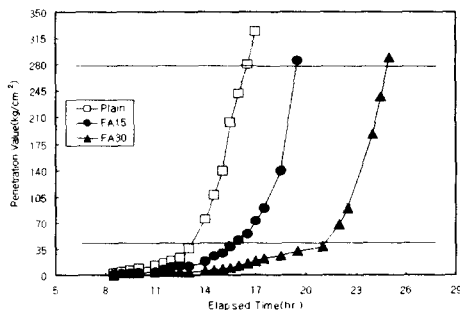


그림 5 응결시간의 변화

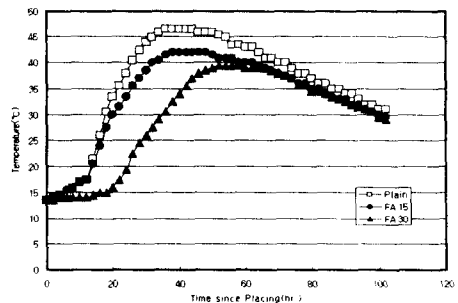


그림 6 단열온도 상승곡선의 변화

가 낮게 나타나고 있다. 즉, 플라이애쉬 대체율이 증가함에 따라 최대온도가 낮게 나타나고 있어 플라이애쉬를 사용함에 따라 5~7.5℃의 온도저감효과를 가져오고 있다.

3.2 경화콘크리트의 특성 검토

3.2.1 압축강도의 변화

각 재령별 압축강도의 변화를 나타낸 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 1주와 4주 압축강도 모두 10%내외로 FA 15 콘크리트가 가장 높은 값을 발현하고 있다. 이는 동일한 물시멘트비라면 플라이애쉬를 사용한 경우가 더 낮을 것으로 예상되나 본 실험의 경우, 플라이애쉬를 사용한 배합에서 물결합재비를 41%로 낮추었기 때문으로 생각된다.

또한, 모든 배합을 배합설계를 통하여 설정하였음에도 불구하고, FA 30 콘크리트의 경우 28일(4주) 압축강도가 배합강도인 311kgf/cm²에 미치지 못해, 플라이애쉬를 다량 사용한 콘크리트의 배합설계에 주의가 요망된다.

3.2.2 건조수축의 변화

그림 8은 각 요인별 건조수축에 의한 길이변화를 나타낸 것으로, 플라이애쉬를 대체한 콘크리트의 길이변화가 작은 것을 알 수 있는데, 이는 플라이애쉬의 사용이 단위수량을 감소시켜 나타난 결과로 생각된다. 따라서, 플라이애쉬를 적절히 사용함으로써 라이닝콘크리트에서의 건조수축에 의한 균열을 저감 할 수 있을 것으로 예상된다.

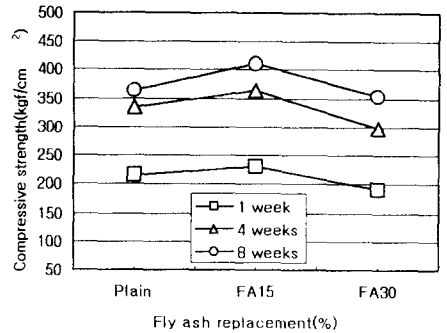


그림 7 압축강도의 변화

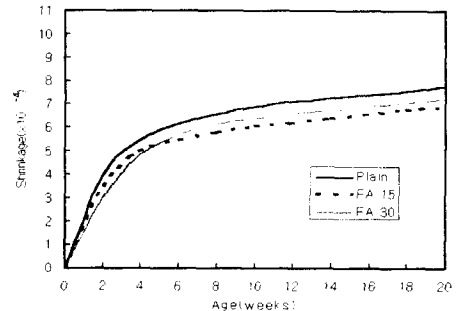


그림 8 건조수축의 변화

4. 결 론

플라이애쉬의 수로터널 라이닝콘크리트에의 적용가능성을 검토하기위한 시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 플라이애쉬를 15% 사용한 콘크리트의 경우 목표 슬럼프 및 공기량을 만족시키기위한 혼화제 첨가량이 Plain 콘크리트와 비교해 0.25%와 0.28%로 유사하였다.
- 2) FA 15 콘크리트의 응결시간은 Plain 콘크리트와 비교해 초결이 3시간 이내로 큰 차이가 없었다. 또한, FA 30 콘크리트의 경우, 28일 압축강도가 298kgf/cm²로 배합강도인 311 kgf/cm²에 미치지 못해 플라이애쉬의 대체율이 많은 콘크리트의 배합설계에 주의가 요망된다.
- 3) 플라이애쉬를 대체한 배합에서 Plain 콘크리트보다 건조수축이 6~10% 낮게 나타나, 플라이애쉬를 적절히 사용함으로써 라이닝콘크리트에서의 건조수축에 의한 균열을 저감 할 수 있을 것이다.
- 4) 본 연구결과 플라이애쉬의 라이닝콘크리트에의 적용가능성을 확인하였다.

참고 문헌

1. 한국수자원공사 ; 수로터널 설계 및 시공지침(안), pp.161~166, (1997).
2. ACI Committee 226 : Use of Fly Ash in Concrete, ACI Materials Journal, Vol.84, No.5, PP.381~409, 1987.Sep-Oct.
4. 김무한 ; 高流動콘크리트의 콘시스턴스 特性 및 各種 影響要因에 關한 考察, 레미콘지, (1996).
6. U.S.Department of the Interior ; FLY ASH AND FLY ASH CONCRETE, Engineering and Research Center, (1984).
9. 김무한, 최세진 외 ; 플라이애쉬의 미연탄소 함유량에 따른 고유동콘크리트의 품질에 관한 실험적연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 제9권2호, pp. 381~384, (1997).
10. 山田有一, 増田和機 ; フライアッシュ, コンクリート工學, Vol.26, No.4, pp.14~18, (1988).