

지하구조물을 위한 수밀콘크리트의 개발 및 실용화

Development and Application of Low Permeable Concrete for Underground Structures

백상현* 박성수** 박종유*** 백원준*** 엄태선**** 최룡****
 Paik, S. H. Park, S. S. Park, J. Y. Paik, W. J. Um, T. S. CHOI, L.

ABSTRACT

In underground reinforced concrete structures, such as drainage structure, water and chloride ion penetrated into concrete through the cracks of concrete and its permeable property, cause the corrosion of reinforcing steel bar, which accelerates the expansive cracks and deterioration of concrete. It is necessary to control those deterioration of underground structure by improving its permeability and durability through the reasonable solutions in design, construction and materials.

In the present study, fly ash concrete, which has good material properties in long-term period, was compared and studied with plain concrete using ordinary portland cement in terms of fundamental mechanical properties, permeability, drying shrinkage and durability. Also, the mix design and field test of low permeable concrete using fly ash were performed. From this study, fly ash concrete can control the penetration of water and chloride ion effectively by forming dense micro-structure of concrete. Therefore, fly ash concrete may increase the long-term function, performance and serviceability of underground structures.

1. 서론

지하 RC구조물은 수밀성 부족 및 균열로 인하여 콘크리트 내부로 침투되는 수분 및 염소이온 등이 철근을 부식시켜 팽창균열 및 열화를 가속화하게 된다. 이와같은 배수지 등 지하구조물의 열화방지를 위하여는 설계, 시공 및 재료의 종합적 접근을 통한 구조물의 수밀화가 필요하다.

본 연구에서는 수밀화에 영향을 주는 시공조건과 설계 등을 고찰하여 수밀화를 위한 재료, 설계, 품질, 시공조건 등을 검토하였다. 또한, 장기 물성이 우수한 플라이애쉬를 적용한 콘크리트의 특성평가를 통하여 수밀콘크리트를 위한 최적의 배합조건을 선정하였으며, 현장 B/P 시험생산을 수행하여 그 적용성을 평가하여, 수밀콘크리트를 위한 최적의 품질설계 조건을 제시하였다.

2. 플라이애쉬를 사용한 콘크리트의 특성 평가

2.1 배합조건

표 1 플라이애쉬 사용에 따른 콘크리트 특성평가를 위한 적용 배합

시험명	S/a (%)	W/C(B) (%)	사용재료량(kgf/m ³)			AE감수계 (C ^{wl} *%)	AE계 (kg/m ³)	S/L (cm)	Air (%)	
			플라이애쉬	총바인더	W					
CTR	44.8	50.9	0	375	191	0.15	0.00	15±2	4.5±1	
FA5	44.6	51.3	18.8	375	192					5.63
FA10	44.4	51.7	37.5	375	194					11.25
FA15	44.2	52.1	56.3	375	195					16.88
FA20	44.0	52.3	75.0	375	196					22.50

* 정희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

** 정희원, 서울시 대현산 배수지 공사 감리단 신우Eng., 단장

*** 정희원, 서울시 대현산 배수지 공사 시공사 남광토건(주), 소장

**** 정희원, 쌍용양회공업(주) 레미콘팀 차장

***** 정희원, 쌍용양회공업(주) 중앙연구소 콘크리트연구실 책임연구원

2.2 강도 및 수밀성

플라이애쉬(이하 FA라 함) 사용에 따라 초기 강도가 저하되었으나, 재령경과에 따라 강도가 크게 증가하였다. FA 양이 많을수록 투수계수가 감소하였고, 급속염분투과시험으로부터 28일 이후에서 투과 전하량이 크게 감소하여, 장기수밀성 증진효과가 우수하였다. FA 사용에 따른 건조수축량은 감소하였으며, 특히 초기재령에서 크게 감소하여 수축균열을 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

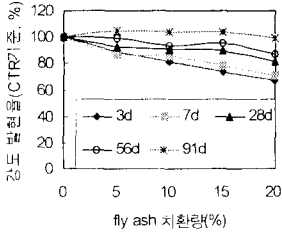


그림 1 수준별 강도 발현율

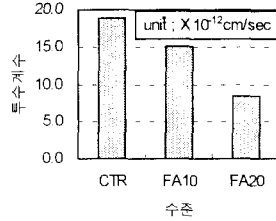


그림 2 투수계수(14일 양생)

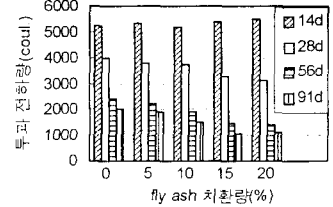


그림 3 수준별 투과 전하량

2.3 내구성

동결융해 시험결과, 인형공기량을 확보하고 충분한 양생을 실시한 FA 콘크리트는 CTR과 동등한 특성을 나타내었다. 지하 구조물은 동해의 가능성이 적고, 공기포는 수밀성을 저하시키므로 공기량은 적게(3±1%) 관리하여도 무방한 것으로 판단된다. FA 사용에 따라 중성화가 큰 것으로 나타났으며, 지하구조물은 대기에 노출되지 않으므로 중성화는 열화 인자로서 작용하지는 않을 것으로 판단된다.

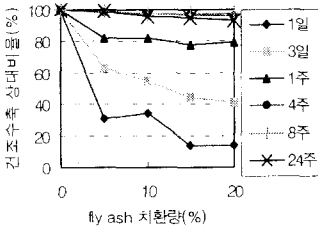


그림 4 수준별 건조수축특성

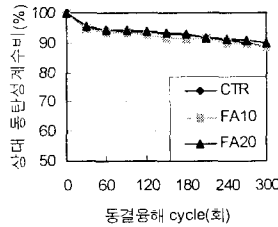


그림 5 동결융해 시험결과

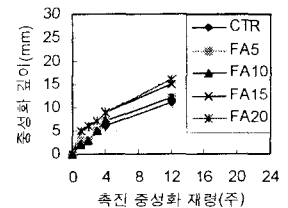


그림 6 수준/양생재령별 중성화 결과

3. 플라이애쉬를 적용한 수밀콘크리트의 배합설계 및 특성평가

3.1 플라이애쉬를 적용한 수밀콘크리트의 배합설계

본 연구에서는 수밀화를 위한 FA 사용량을 15%로써 선정하였는데, 근거는 다음과 같다.

첫째, FA를 20%이상 치환하면 강도저하가 커져 W/C비를 매우 낮게 요구하므로 비경제적이다.
둘째, FA를 15%이상 사용하는 경우, 수밀성이 크게 개선되었고, 15%와 20%에서는 유사하였다.
선정된 28일 설계압축강도를 위한 FA 수밀콘크리트의 배합설계 조건은 다음과 같다.

표 2 수밀콘크리트 설계를 위한 시험배합조건

수준	S/a (%)	W/B (%)	단위재료량(kg/m ³)			슬럼프 (cm)	공기량 (%)
			C	FA	W		
1	45.2	57	288	51	193	15±2	4.5±1
2	44.2	52	319	56	195		
3	43.2	47	354	63	196		
4	42.2	42	400	71	198		

표 3 수밀콘크리트 배합설계조건 선정

설계강도 (kgf/cm ²)	배합강도 (kgf/cm ²)	W/C(B) (%)
240	300	47.5

3.2 설계기준강도 조건에서의 플라이애쉬 콘크리트 특성

3.2.1 배합조건

설계기준강도 조건에서의 특성을 평가하기 위하여 적용된 배합조건은 표 4와 같다.

3.2.2 설계기준강도 조건에서의 플라이애쉬 콘크리트 특성

블리딩 시험결과, LP-HRA1은 블리딩수가 CTR대비 약 20%가량 감소되어 구조물 이음부 및 표층에서의 수밀성 저하를 방지할 수 있을 것으로 판단된다. FA를 15%적용하고 W/C를 47.5% 적용한 배합조건은 CTR과 동등한 28일 압축강도를 발현하였다. 급속염분투과시험 결과, LP와 LP-HRA1는 투과전하량이 CTR 및 FA15에 비하여 감소되었다. 따라서, 플라이애쉬 사용, W/B비 감소, 단위수량 감소는 수밀성을 크게 증진시킬 것으로 판단된다. LP-HRA1은 건조수축량이 가장 적었는데, 이와같이 수밀구조물을 위하여는 플라이애쉬와 함께 양질의 혼화제를 적용하여 단위수량을 최대한 낮추어야 초기 및 장기 수축균열을 감소시킬 수 있다.

표 4 동일 설계기준강도에서의 특성평가를 위하여 적용된 배합조건

수준	구분	S/a (%)	W/B (%)	단위재료량(kg/m ³)			A.D		비고 (혼화제)
				FA	C	W	C* ^{W/C}	kg	
1	CTR	44.8	50.9	0	375	191	0.15	0.56	AE감수제
2	FA15	44.0	51.5	56	319	193	0.15	0.56	AE감수제
3	LP	43.0	47.5	61	347	194	0.15	0.61	+AE제
4	LP-HRA1	44.5	47.5	58	327	183	0.70	2.70	고성능AE감수제

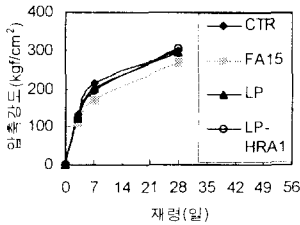


그림 7 수준별 압축강도

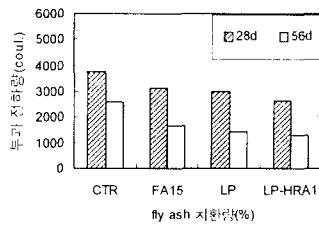


그림 8 급속염분투과시험 결과

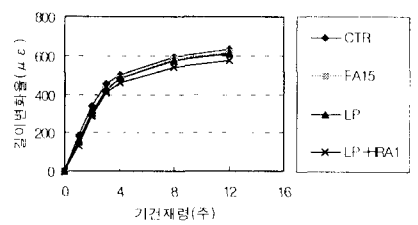


그림 9 수준별 건조수축

4. 현장적용을 위한 B/P 시험

4.1 적용 배합

표 5 B/P 시험생산을 위한 시방배합의 선정

수준	구분	S/a (%)	W/B (%)	단위재료량(kg/m ³)					A.D		비고 (혼화제)
				FA	C	W	S	G	C* ^{W/C}	kg	
1	CTR	44.8	50.9	0	375	191	769	965	0.15	0.56	AE감수제
2	LP	43.2	47.5	62	349	195	718	962	0.15	0.62	AE감수제+AE제
3	LP-HRA1	44.0	47.5	57	326	182	756	981	0.70	2.68	고성능AE감수제

4.2 시험결과

레미콘 트럭에 의한 경시변화 시험결과, 시간경과에 따른 슬럼프의 변화는 거의 없었으나, LP와 LP-HRA1는 시간에 따른 공기량의 감소를 보였으며, LP-HRA1는 상대적으로 공기량 감소가 적었다.

플라이애쉬 적용 배합은 CTR배합과 동등 혹은 그 이상의 28일 압축강도를 나타내었다. 급속염분투과시험을 수행한 결과, 전반적으로 투과전하량이 시험실 결과에 비하여 절대값이 높았는데 이는 생산시 표면수 오차에 기인한 것으로 판단된다. 각 수준별 상대적 특성은 시험실적 검토결과와 유사한 경향을 보여 LP배합과 LP-HRA1배합일수록 수밀성이 개선되었다. LP-HRA1배합이 건조수축량이 가장 적어 단위수량을 가급적 낮추는 것이 바람직하다.

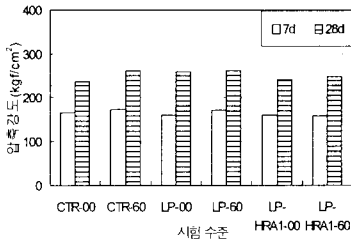


그림 10 수준별 압축강도

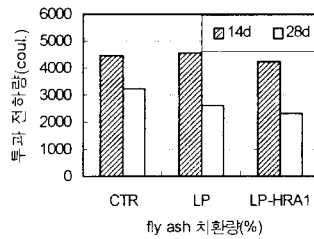


그림 11 급속염분투과시험 결과

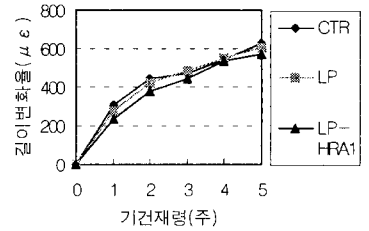


그림 12 수준별 건조수축

5. 플라이애쉬 적용 수밀콘크리트의 시방배합

FA를 이용한 수밀콘크리트의 추천 시방배합 조건(LP-HRA1)은 다음 표 6과 같다. LP-HRA1은 고성능AE감수제를 적용하였으며, 현장에서의 시공성을 확보한 배합이다.

표 6 시방배합 조건

구분	S/a (%)	W/B (%)	단위재료량(kg/m³)			A.D. 1	
			FA	C	W	C ^{*w/c}	kg/m³
CTR	44.8	50.9	-	375	191	0.15	0.56
LP-HRA1	45.0	47.5	56	319	178	0.9	3.37

수화열 특성을 평가하기 위한 단열온도상승시험 결과, 수밀콘크리트는 최대온도 상승량이 감소하고, 반응속도도 낮아져 실구조물에서의 온도응력을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

표 7 단열온도상승시험 분석 결과

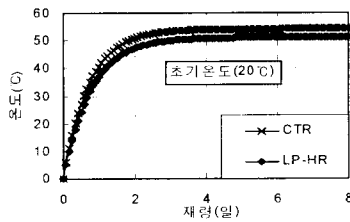


그림 7 단열온도상승시험 결과

구분	열적 특성치	
	K(°C)	α
CTR	54.25	1.389
LP-HR	51.17	1.283

6. 결론

- 1) 지하 구조물 열화의 제어는 콘크리트의 수밀화 및 균열의 발생을 최소화하는 것이다.
- 2) FA 콘크리트는 재령에 따른 강도가 대폭 향상되고, 장기재령에서 우수한 수밀성을 나타내었으며, 초기 수축이 크게 감소되었다. FA 콘크리트는 연행공기량을 확보하면 동해 저항성을 확보할 수 있는데, 지하구조물의 경우 연행 공기포는 수밀성을 저하시키므로 공기량을 적게 하여야 한다. 이러한 결과로부터, 수밀콘크리트를 위한 FA사용량을 15%로 선정하여 배합설계 조건을 선정하였다.
- 3) 현장 적용성 평가를 위하여 공장 B/P 시험을 수행하였는데, FA를 이용한 수밀콘크리트는 실험실적 결과와 유사하게 양호한 결과를 나타내었다.
- 4) FA의 사용, W/C 감소, 고성능AE감수제를 사용한 수밀콘크리트의 시방 배합을 선정하였는데, 시방배합 조건은 개선된 수화열 특성을 나타내어 수화열 응력을 감소시킬 것으로 판단된다.
- 5) 추천된 수밀콘크리트는 지하 구조물의 열화를 방지하여 내구년한을 증가시킬 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 村田二郎, "콘크리트의 수밀성 연구", 토목학회논문집, 77, 31P., 1961.
2. OHTSUKI, M., "Characteristics of FA", 시멘트콘크리트, No.443, PP.43~49., 1984. 1.
3. 山田我張, "A STUDY ON WATER TIGHTNESS OF CONCRETE USING A SLUMP RETENTIVE SUPER PLASTICIZER", 일본건축학회강연경개집, A, PP.991-92., 1991.