방사선 차폐용 콘크리트 개발을 위한 기초 특성 연구

문영범[1], 이재형[1], 최현국[1], 오정환[2], 최수석[2*]
[1]성신양회 기술연구소, 세종특별자치시 부강면 부강외천로 48-37
[2]제주대학교, 제주특별자치도 제주시 제주대학로 102
*sooseok@jejunu.ac.kr

1. 서론

최근 고리 원전 폐기가 이슈가 되고 있는 가운데 방사성 폐기물의 안전한 처리에 대한 중요성이 강조되고 있다. 일반적으로 원전 1기를 해체하면 약 55만 톤의 폐기물이 발생되는데, 이러한 방사성 폐기물의 밀봉 및 보관에 콘크리트가 널리 사용되고 있다.

콘크리트는 방사선 차폐 성능 및 시공의 편리성과 경제적인 요인으로 방사선 차폐용 재료로 광범위하게 사용되고 있다. 일반적으로 콘크리트의 단위 용적 질량에 비례하여 방사선 차폐 효과가 증가되기 때문에, 방사선 차폐용 구조물에는 중량 골재를 사용한 중량 콘크리트가 적합하다.

그러나 방사성 폐기물을 위한 중량 콘크리트 및 시멘트 재료에 대한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 방사성 폐기물의 안전한 운반과 보관을 위하여 차폐율 및 내구성을 향상시킨 중량 콘크리트 개발을 목적으로 기초연구를 수행하였다.

2. 본론

2.1 재료

본 연구에서는 시멘트 재료로서 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 1종 조강형 포틀랜드 시멘트, 2종 고로슬래그 시멘트, 저발열 시멘트, 플라이애시 20% 혼합시멘트를 사용하였다. 또한 골재는 일반골재 및 다양한 중량골재를 비교하였다. 중량 골재 중 하나인 산업부산물 골재는 철강생산 전기로 공정에서 발생하는 슬래그이며, 천연 골재는 국내에서 생산하는 철광석이다. 실험에 사용된 시멘트와 골재의 재료적 특성을 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

2.2 콘크리트 배합설계

중량 골재 및 시멘트를 변수로 설계한 배합표를 Table 3에 나타내었다. 제조된 콘크리트를 대상으로 감마선 차폐 측정 및 콘크리트 슬럼프, 공기량, 압축강도 실험을 실시하였다. 콘크리트 시험 방법은

Table 1. Material property of binders

Type		Density (g/cm^3)	Fineness (cm^2/g)	Residue (%)
Binder	OPC	3.15	3240	9.3
	High Early Strength Cement(HES)	3.1	4320	2.7
	Slag Cement (S/C)	2.66	3870	6.1
	Low Cement (L/C)	2.85	3940	8.9
	Fly Ash (FA)	2.2	4530	9.2

Table 2. Material property of aggregates

Type		Density (g/cm^3)	Diameter (mm)	Absorption (%)
Normal Aggregate	Sand (S)	2.6	1.2	1.0
	Gravel (G)	2.65	20	1.0
High Weight Aggregate	By-Product Sand (BPS)	3.77	2.5	-
	By-Product Gravel (BPG)	3.62	20	1.2
	Natural High-Weight Sand (JS)	3.98	10	2.6
	Natural High-Weight Gravel (JG)	3.6	12	1.0

KS 시험방법을 적용하였으며, 감마선 차폐 시험 기기로는 ^{137}Cs를 방사선원으로 하여 NaI(Tl) 검출기를 구비한 Canberra사의 Model 727 Lead Shield를 사용하였다. 감마선 차폐율 시료는 직경 50 mm, 최대두께 50 mm로 제작하여 측정하였다.

2.3 골재의 화학적 조성

Table 4에는 일반 및 중량골재의 화학분석 결과를 나타내었다. 위의 Table 2에서 중량 골재가 일반 골재 보다 높은 밀도를 나타내는데, 이는 중량 골재에 포함되어 있는 Fe_2O_3성분이 골재의 밀도를 높이는데 주로 기여하는 것으로 생각된다.

2.4 콘크리트 중량에 따른 감마선 차폐율

중량 골재와 바인더 배합에 따른 콘크리트의 차폐율 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 중량 골재를 사용한 경우 일반 골재를 사용한 경우보다 차폐율이

Table 3. Mixing Design and Unit Weight

No	Type			Unit Weight(kg/m3)				Unit weight (kg/m3)
	F.A	C.A	B	W	C	F.A.	C.A.	
1	S	G	OPC	175	350	889	906	2320
2	BPS	G	OPC			1289	906	2720
3	S	BPG	OPC			889	1238	2656
4	JS	G	OPC			1361	906	2792
5	S	JG	OPC			889	1231	2649
6	BPS	JS	OPC			1289	1361	3175
7	BPS	JS	HES			1286	1357	3168
8	BPS	JS	S/C			1251	1320	3096
9	BPS	JS	L/C			1267	1338	3130
10	BPS	JS	F/O			1271	1342	3138

*F.A.=Fine Aggregate, C.A.=Coarse Aggregate
*F/O =FA 20% + OPC 80%

Table 4. Chemical property of Aggregates

Type	Chemical composition (%)						
	Al_2O_3	SiO_2	SO_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	Etc.
S	5.75	86.17	0.02	0.47	0.54	0.18	6.87
G	12.97	66.07	0.15	5.6	3.19	2.17	9.85
BPS	4.04	26.21	0.11	28.43	33.14	7.86	0.21
BPG	7.71	23.97	0.57	31.69	27.83	8.01	0.22
JS	5.39	12.97	0.24	6.28	45.57	23.36	0.19
JG	7.99	36.93	0.04	15.40	13.11	26.28	0.25

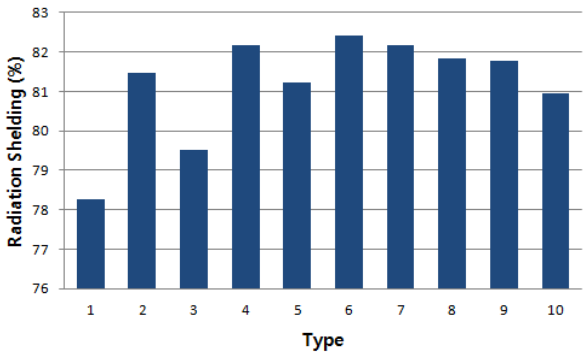

Fig. 1. Radiation Shielding Rate.

높았으며, 중량골재만 조합한 경우는 더욱 높은 차폐율 결과를 얻을 수 있었다. 이는 단위 용적 중량이 높을수록 방사선 차폐효과가 증가되며, 중량골재의 밀도가 상대적으로 높기 때문이다. 반면, 시멘트의 종류를 변화시킨 배합에서는 차이가 크지 않았다.

2.5 콘크리트 특성

압축강도 및 물성실험 결과를 Table 5에 나타내었다. 일반 콘크리트에 비해 중량 골재를 배합한 콘크리트의 강도가 높게 나타났다. 이는 중량 골재의 표면이 거칠어 시멘트 페이스트와 부착력이 증대되고 골재 입자간의 결합력이 커진 결과로 판단된다. 시멘트 배합별 결과에서는 1종 조강형 포틀랜드 시멘트를 사용한 배합강도가 가장 높게 나타났다.

Table 5. Result of compressive strength and property

No	Compressive Strength (MPa)				Slump (mm)	Air (%)	SP (%)
	1D	3D	7D	28D			
1	4.6	17.4	23.7	35.1	300	1.5	0.8
2	8.5	20.2	24.9	35.1	300	2	0.8
3	8.0	24.7	33.3	48.9	215	3	0.8
4	14.1	27.0	34.5	43.7	50	0.5	0.8
5	9.1	23.5	35.3	41.8	185	1.4	0.8
6	5.9	22.4	27.8	37.3	185	4.2	2.4
7	17.1	35.4	42.0	54.1	190	4.5	1.7
8	4.0	18.4	28.8	50.6	185	4.6	1.3
9	2.5	13.7	25.5	47.2	190	4.5	1.3
10	3.9	17.3	24.1	33.7	185	4.4	2.2

이는 시멘트의 미세한 입자가 다량 분포하여 수화반응성이 높기 때문에 나타난 결과이다. 또한 일반 콘크리트보다 중량 콘크리트의 경우 슬럼프가 대부분 감소하였으며, 공기량의 경우 중량 골재마다 차이가 크게 나타났다. 이는 중량 골재의 흡수율이 높고 골재입도에서 차이가 나기 때문인 것으로 분석된다.

3. 결론

일반 골재에 비해 중량 골재를 배합한 콘크리트의 경우 감마선 차폐율이 향상된 것을 확인할 수 있었으며, 서로 다른 중량 골재에서 화학 성분이 방사선 차폐에 중요한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 콘크리트의 일반적인 특성인 압축강도 측면에서도 중량골재를 이용한 경우가 일반 골재의 경우보다 우수하게 나타났으며, 특히 1종 조강형 포틀시멘트를 사용한 경우에는 강도가 크게 증가한 것을 확인 할 수 있었다. 따라서, 방사선 차폐 효과를 높이기 위해서는 밀도가 높은 골재의 사용과 수밀성 및 내구성 향상을 위한 시멘트 재료의 선택이 필수라고 판단된다. 향후 다양한 중량 골재 및 시멘트 재료를 사용하여 연구를 보다 체계적으로 진행한다면 차폐성과 내구성을 향상시킨 방사성 차폐용 콘크리트를 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

[1] 임희섭, 이한승, 최재석, “전기로산화슬래그 골재를 활용한 방사능차폐콘크리트 개발에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 2011 춘계학술발표회, 제 31권, 1호, 2011.