

# 방사선 차폐용 중량콘크리트의 기초 특성

## Properties of Heavyweight Concrete for Radiation Shielding

양승규\*      엄태선\*\*      이종열\*\*\*      김용호\*\*\*\*      우상익\*\*\*\*\*      김태봉\*\*\*\*\*

Yang, Seung Kyu   Um, Tai Sun   Lee, Jong Ryul   Kim, Yong Ho   Wu, Sang Ik   Kim, Tae Bong

---

### ABSTRACT

Concrete is considered to be one of the excellent and versatile shielding material and is widely used for the radiation shielding material. Specially, heavyweight(or high density) concrete is used in counter weights of bascule and lift bridges, but it is generally used in radiation shielding structures and differ from normal weight concrete by having a higher density and special compositions to improve its attenuation properties.

Thorough examination and evaluation of heavyweight aggregate sources are necessary to obtain material suitable for the type of shielding required.

Therefore, this paper aims to study mechanical properties of heavyweight concrete by using normal cement, natural and heavyweight aggregate.

### 요 약

콘크리트는 방사선 차폐용 구조물에 광범위하게 사용되고 있는 재료 중의 하나이다. 특히, 중량콘크리트는 중장비 또는 엘리베이터의 무게중심 등으로도 일부 사용되지만, 일반적으로 방사선 차폐 구조물에 주로 사용된다. 중량콘크리트는 일반 콘크리트 대비 높은 밀도뿐만 아니라, 콘크리트 배합적으로도 특별한 조성을 갖는다. 중량콘크리트를 구성하는 재료 중, 특히 중요한 것이 골재의 선정이다. 목표로 하는 콘크리트 밀도를 얻기 위해서는 실험 등에 의해 적절한 골재의 선정이 무엇보다도 중요하다. 그러나, 국내 실정에 적합한 중량골재원 및 이에 대한 참고자료가 많지 않은 상황으로, 지속적인 연구 개발 및 관심이 필요한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 국내 실정에 적합한 방사선 차폐용 고밀도 중량콘크리트의 실용화를 목적으로, 골재 및 기타 재료의 적합성 시험, 콘크리트 기초 물성시험 등을 통하여 고밀도 중량콘크리트의 적용 가능성을 검토하였다.

---

\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 주임연구원  
\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사  
\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장  
\*\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 콘크리트종합시험실 실장  
\*\*\*\*\* 정회원, 한국원자력연구원 냉중성자원 시설계통개발 과제책임자, 공학박사  
\*\*\*\*\* 정회원, 대덕대학 교수, 공학박사

## 1. 서 론

현재 사용할 수 있는 에너지원 중에는 석탄, 석유, 천연가스와 같은 화석에너지가 있고, 비화석 에너지로 수력, 풍력, 지열, 조력과 같은 자연에너지와 핵분열 에너지를 이용하는 원자력 등이 있다. 이 중에서 가장 이상적인 것은 자원재생이 가능한 무한의 자연에너지를 이용하는 것인데, 이 중에서 수력이나 지열, 조력 등은 지리적 조건이 갖추어져야 하고 풍력이나 태양열은 넓은 시설공간을 필요로 할 뿐만 아니라, 방대한 에너지를 중단 없이 공급받기에는 아직 문제점이 있고, 화석에너지의 경우는 해마다 그 매장량이 줄고 있기 때문에 원자력에너지가 주요 에너지원으로 각광받고 있다. 우리나라의 경우, 원자력발전이 현재 국내 전체 발전량의 절반 정도를 차지하고 있고, 앞으로 점차 늘어날 추세여서 그와 관련된 기술의 개발이 시급한 실정이다. 우리나라 최초의 원자력발전소는 1977년 6월 19일 상업 원자력 발전소인 고리원자력발전소 1호기를 시작으로, 부산광역시 4기, 영광군에 6기, 경주시에 4기, 울진군에 6기 등 총해서 20기의 원자로 가동 중에 있으며, 지속적인 원자력발전소의 추가 건설이 예상되고, 각종 중·저준위 핵폐기물의 처리문제도 예상된다. 그러나, 이와 같은 추세에 비하여 방사선 차폐콘크리트에 대한 연구는 미비한 실정이며, 국내 실정에 맞는 방사선 차폐에 관한 참고자료가 많지 않은 상황으로, 이에 대한 지속적인 연구개발 및 관심이 필요한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 국내 실정에 적합한 방사선 차폐용 고밀도 중량콘크리트의 실용화를 목적으로, 골재 및 기타 재료의 적합성 시험, 콘크리트 기초 물성시험 등을 통하여 고밀도 중량콘크리트의 적용 가능성을 검토하였다.

## 2. 실험 방법 및 사용재료

### 2.1 사용재료

본 연구에 사용한 재료는 결합재로 보통 포틀랜드시멘트 및 플라이애쉬, 골재로 자철광 잔골재 및 중정석 굵은골재를 사용하였다. 또한, ASTM C 494 Type F 및 ASTM C 1017 Type II의 고성능감수제를 소량 사용하여 콘크리트의 유동성을 확보하였다. 실험에 사용된 재료의 종류 및 특성은 표1과 같다.

표1. 사용 재료의 종류 및 특성

종류		비 중	분말도	흡수율	조립률	최대치수
결합재	시멘트	3.15	3214	-	-	-
	플라이애쉬	2.22	3643	-	-	-
잔골재	자철광	4.21	-	0.6	2.8	-
굵은골재	중정석	4.31	-	0.5	6.8	20

### 2.2 실험 항목 및 방법

실험 항목은 굳지 않은 콘크리트 특성으로 슬럼프, 공기량, 단위용적중량 등을 측정하였으며, 굳은 콘크리트 특성으로 압축강도를 측정하였다. 각각의 실험방법은 ASTM의 기준에 의거하여 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 중량콘크리트 배합설계

콘크리트의 단위용적중량( $3.50\text{t/m}^3$  이상)과 압축강도(재령 28일  $45\text{MPa}$  이상)를 목표로 설정하여 배합시험을 실시하였으며, 단위용적중량 및 현장적용시 펌핑성능을 고려하여 단위수량과 잔골재율을 소폭 조정하면서 시험을 실시하였다. 또한, 유동화 콘크리트로 적용하기 위하여 ACI 및 ASTM의 규정에 의거, 베이스 콘크리트와 유동화 콘크리트의 슬럼프를 만족하는 콘크리트 배합조건을 검토하였다. 본 실험의 배합설계표는 표2와 같다.

표2. 배합설계표

배합 No.	W/B	S/a	단위재료량( $\text{kg/m}^3$ )						
			W	B		S	G	Ad. 1 <sup>주1)</sup>	Ad. 2 <sup>주1)</sup>
				C	F/A	자철광	중정석	(C×%)	(C×%)
1	42	53	160	381	-	1600	1453	2.2	-
2		55	157	374	-	1673	1402	2.2	-
3				348	26	1666	1393	2.4	-
4		1725	1333			2.5	-		
5		57	1725			1333	2.4	-	
6			1725			1333	2.4	0.3	

주1) Ad.1: ASTM C 494 Type F, Ad.2: ASTM C 1017 Type II

#### 3.2 실험결과

측정항목별 실험결과를 표3에 나타내었다. 굳지 않은 콘크리트의 단위용적중량 및 압축강도는 모든 배합에서 설계목표치를 만족하는 것으로 나타났다. 펌핑성능을 확보하기 위하여 잔골재율을 소폭 조정(53~57%)한 경우에는 슬럼프 및 작업성이 다소 저하하는 것으로 나타났으나, 고성능감수제의 사용으로 일정수준 이상의 작업성을 확보할 수 있었다. 잔골재율이 높아짐에 따라 슬럼프가 저하되는 원인은 잔골재에 포함되어 있는 미립분의 영향인 것으로 판단된다.

한편, 방사선 차폐성능을 극대화시키기 위해서는 콘크리트 내부 공극을 최소화 할 필요가 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 ACI의 규정을 참고하여 Non-AE콘크리트로 고려하였으며, 본 실험의 경우, 공기량은 갇힌 공기량으로 1.5~2.0% 수준인 것으로 나타났다.

또한, 블리딩에 의한 재료분리 및 공극발생을 최소화하기 위하여 단위수량을 혼합 및 작업성 확보, 펌핑이 가능한 범위 내에서 최대한 관리하였다. 본 실험의 경우, 단위수량을 약  $3\text{kg/m}^3$  감소시키면, 단위용적중량이 약  $0.03\text{t/m}^3$  정도 증가하는 것으로 나타났으며, 동일 골재조건의 경우에 단위수량의 관리가 콘크리트의 단위용적중량에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

표3. 실험결과

배합 No.	슬럼프 (mm)	공기량 (%)	단위용적중량 ( $\text{t/m}^3$ )	압축강도(MPa)		
				3일	7일	28일
1	190	1.5	3.51	30.3	40.6	49.1
2	90	1.8	3.52	35.9	44.4	50.7
3	135	1.8	3.51	33.3	43.3	48.1
4	130	1.6	3.54	29.3	37.2	47.4
5	110	2.0	3.54	29.9	39.1	48.9
6	190	1.8	3.54	28.2	38.2	49.2

현장적용시 펌핑성, 작업성 등의 용이성을 고려하여 유동화 콘크리트로의 적용성을 검토한 결과, 베이스 콘크리트(배합 No. 5 참조)에 Ad.2(ASTM C 1017 Type II)를 단위시멘트량의 0.3% 첨가하여 유동화 콘크리트(배합 No. 6 참조)로의 제조가 가능함을 알 수 있었다. 유동화 콘크리트로 적용한 경우, Ad.2의 지연성능에 의해 초기강도(재령 3, 7일)는 다소 저하하지만, 설계기준강도(재령 28일)는 동등 이상의 물성을 발휘함을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

국내 실정에 적합한 방사선 차폐용 중량콘크리트의 실용화를 목적으로, 콘크리트 기초 물성시험 등을 통하여 고밀도 중량콘크리트의 적용 가능성을 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 잔골재에 포함되어 있는 미립분의 영향으로 잔골재율을 상향 조정한 결과, 슬럼프 및 작업성이 다소 저하하는 것으로 나타났다.
- 2) 중량콘크리트의 단위용적중량은 단위수량에 따라 크게 변하는 것으로 나타났다.
- 3) 단위수량의 최소화는 밀도의 확보뿐만 아니라 블리딩에 의한 재료분리 및 내부공극을 최소화할 수 있기 때문에 콘크리트의 차폐성능에도 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다.
- 4) 중량콘크리트의 현장적용성을 고려하여 유동화 콘크리트로의 적용 가능성을 검토한 결과, 재료분리 없이 유동성 및 작업성이 좋은 콘크리트를 제조할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 우상익, “하나로 냉중성자원 유도관 차폐실용 고밀도 중량콘크리트 배합설계 및 제작 공급(기술시방서)”, 한국원자력연구원, 2007, pp. 1~20.
2. ACI 207.2R, “Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete”
3. ASTM C 29, “Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate”
4. ACI 211.1, “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavy-Weight, and Mass Concrete”
5. ASTM C 173, “Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method”
6. ASTM C 192, “Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”
7. ACI 301, “Specifications for Structural Concrete”
8. ACI 318, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete”
9. ACI 304.3R, “Heavyweight Concrete: Measuring, Mixing, Transporting, and Placing”