

# 방사선 차폐용 중량콘크리트의 현장 적용성

## In-Site Application 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

This paper was discussed about in-site application of heavyweight(or high density) concrete. Heavyweight concrete was placed with the method of conventional. Placement of conventionally mixed heavyweight concrete is subject to the same considerations of quality control as normal density concrete, except that it is far more susceptible to variations in quality due to improper handling. It is particularly subject to segregation during placement. Segregation of heavyweight concrete results not only in variation of strength but, far more importantly, in variation in density that are intolerable for work this type, since this adversely affects shielding properties.

Heavyweight concrete materials and heavyweight concrete should be sampled and tested prior to and during construction to insure conformance with applicable standards and specifications.

### 요 약

국내 실정에 적합한 방사선 차폐용 고밀도 중량콘크리트의 실용화를 목적으로 실시한 일련의 콘크리트 기초 특성평가 결과를 토대로, 레미콘 B/P 이용 시험생산 및 Mock-up Test를 실시하였다.

중량콘크리트의 경우, 보통 콘크리트에 비하여 재료들 간의 비중 차이에 의한 재료분리 현상이 발생할 가능성이 높기 때문에 생산, 운반, 타설, 다짐 등에 각별한 주의를 기울여야 한다. 현장타설의 경우에는 재료분리가 발생할 가능성이 크고, 재료분리는 강도뿐만 아니라 이보다 더 중요하다고 할 수 있는 콘크리트 비중 및 차폐성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

또한, 중량콘크리트 및 콘크리트 재료는 적절한 규정에 의거하여 시험을 실시하여야 한다. 본 연구에서는 레미콘 생산 직후 및 펌프압송 전, 후로 구분하여 품질평가를 실시하였으며, 시험생산 및 Mock-up Test(시험시공) 실시 결과, 목표성능(슬럼프, 공기량, 단위용적질량, 압축강도 등)을 만족하였으며, 양호한 펌핑성능 및 시공성을 확보할 수 있었다.

\* 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

원자핵의 상태가 불안정하여 안정된 상태를 찾기 위하여 방사선을 방출하는 방사선 종류로  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , X, 중성자선 등이 있다. 이와 같은 방사선은 물질을 투과하는 성질을 가지고 있는데  $\alpha$ 선,  $\beta$ 선과 같은 전하입자는  $\gamma$ 선, X선과 같은 전자파나 중성자선과 같은 무전하입자에 비교하면 투과력이 적다. 전자파나 무전하입자는 상당히 두꺼운 물체를 투과하는 성질이 있어 결국 콘크리트로 방사선을 차폐하는 대상은  $\gamma$ 선과 X선 및 중성자선이다.

일반적으로 방사선의 차폐효과는 비중과 두께의 곱에 비례하며, 두께가 동일하면 비중이 클수록 차폐효과는 우수한 것으로 알려져 있다. 따라서 차폐용 구조물에는 보통 중량콘크리트가 쓰이는데, 이때 이것은 고밀도화와 방사선 감쇠성능을 향상시키기 위한 특별한 구성성분을 갖게 된다. 중량콘크리트가 감마선을 흡수하는데 사용될 때는 밀도와 재료비가 가장 중요한 문제가 된다.

한편, 한국원자력연구원 하나로 원자로건물에는 냉중성자 유도관이 설치되는 유도관 차폐실이 건설된다. 유도관 차폐실은 정상운전 시 유도관으로부터 산란되는 중성자 및 감마선을 차폐하기 위하여 차폐용 고밀도 중량콘크리트로 건설된다.

따라서, 본 연구에서는 국내 실정에 적합한 방사선 차폐용 고밀도 중량콘크리트의 실용화 및 유도관 차폐실의 적용을 목적으로 실시한 일련의 콘크리트 기초 특성평가 결과를 토대로 현장적용성을 평가하였다. 현장적용성 평가는 실구조물체의 타설에 앞서 레미콘 B/P 이용 시험생산 및 실구조물을 모사한 구조물을 대상으로 Mock-up Test를 실시하였다.

## 2. 중량콘크리트 제조

### 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
결 합 재	시멘트	3.15	3214	-	-	-
	플라이애쉬	2.22	3643	-	-	-
잔 골 재	자철광	4.21	-	0.6	2.8	-
굵은골재	중정석	4.31	-	0.5	6.8	20

### 2.2 중량콘크리트 배합

콘크리트 배합은 선행 연구를 통하여 얻어진 유동화 콘크리트 배합을 적용하였으며, 배합비를 표 2에 나타내었다. 콘크리트의 단위용적질량( $3.50t/m^3$  이상)과 압축강도(재령 28일 45MPa 이상), 슬럼프(190mm 이상), 공기량(1.5~2.5%) 등을 목표로 설정하였다. 중량레미콘은 표2의 시방배합을 기준으로 레미콘 생산 직전 측정된 골재 조건을 기준으로 하여 현장배합으로 변경한 후, 제조하였다.

표2. 시방배합표

W/B	S/a	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )					Ad. 1 <sup>주1)</sup> (C×%)	Ad. 2 <sup>주1)</sup> (C×%)
		W	B		S	G		
			C	F/A	차철광	중정석		
42	57	157	348	26	1725	1333	2.4	0.3

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

### 3. 시험생산 및 Mock-up test

#### 3.1 시험체 형상

시험체 형상은 수화거동특성, 팽팽성, 다짐성, 침하수축 및 건조수축 등을 고려하여 그림1과 같이 선정하였다.

#### 3.2 시험생산 및 Mock-up Test

중량레미콘의 레미콘 B/P 이용 시험생산 및 Mock-up Test는 다음의 과정으로 실시하였다.

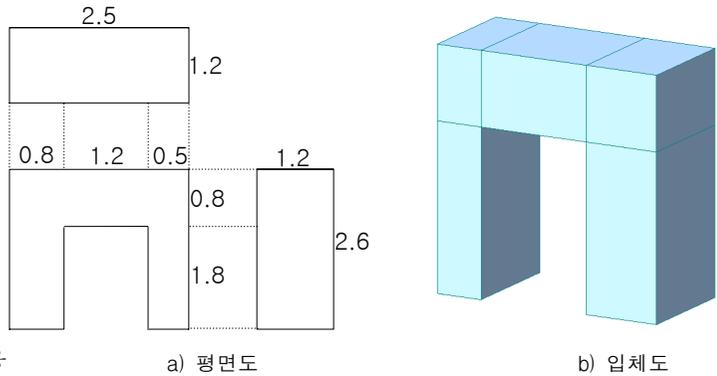


그림 1 Mock-up 시험체 형상(단위 : m)



그림 2 Mock-up Test 과정

레미콘 B/P를 이용하여 1m<sup>3</sup>을 생산한 후, 생산된 중량레미콘의 물리성능을 평가하였으며, 물성평

가에서 합격한 제품에 한하여 Mock-up 시험장으로 운반하였다. 중량콘크리트 이송배관은 본 타설 현장의 조건과 최대한 모사하기 위하여 굴곡부 3개소를 설치하였으며, 배관길이는 50m로 하였다. 중량콘크리트의 압송은 일반 콘크리트 압송장비인 펌프카를 통하여 실시하였다. 중량레미콘의 현장 품질평가는 콘크리트의 성상변화를 파악하기 위하여, 현장 도착 레미콘에 대하여 펌핑 전과 펌핑 후로 분류하여 실시하였다.

#### 4. Mock-up Test 결과

슬럼프의 경우, 레미콘 B/P 생산 직후에 비하여 현장 도착 후(펌핑 전 및 펌핑 후)의 경우가 다소 높게 평가되었는데, 이는 사용된 화학혼화제의 특성(슬럼프 유지 및 응결 지연성능)에 기인한 것으로 판단된다. 압축강도는 재령 7일에서 설계기준강도(35MPa)를 상회하는 것으로 나타났으며, 레미콘 생산직후와 비교하여 현장 도착 레미콘이 다소 낮은 압축강도 발현특성을 보였다.

표3. 실험결과

구분.	슬럼프 (mm)	공기량 (%)	단위용적질량 (t/m <sup>3</sup> )	압축강도(MPa)		
				3일	7일	28일
생산직후	210	1.7	3.53	31.8	38.1	45.7
펌핑 전	230	1.5	3.50	29.9	37.2	44.8
펌핑 후	225	2.0	3.50	28.2	35.7	44.1

#### 5. 결 론

국내 실정에 적합한 방사선 차폐용 중량콘크리트의 실용화를 목적으로 실시한 콘크리트 기초 물성시험을 토대로 고밀도 중량콘크리트의 현장적용 가능성을 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 중량콘크리트의 압송은 보통 콘크리트용 압송장비(펌프카)로 가능하였다.
- 2) 중량레미콘의 생산 직후 및 펌핑 전, 후의 재료분리는 거의 없는 것으로 판단된다.
- 3) 철저한 품질·생산관리를 통하여 중량레미콘의 현장타설 가능성을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 우상익, “하나로 냉중성자원 유도관 차폐실용 고밀도 중량콘크리트 배합설계 및 제작 공급(기술서방서)”, 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. ACI 301, "Specifications for Structural Concrete"