

XRF를 활용한 경화 콘크리트의 배합비 역추적에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on the Reanalysis of Mixing Proportion for Hardened Concrete Using X-ray Fluorescence

이준구* 박광수** 이응찬*** 김한중**** 김명원* 박미현*

Lee, Joon Gu Park, Kwang Su Lee, Eung Chan Kim, Han Joung Kim, Myung Won Park, Mee Hyun

ABSTRACT

Exact estimation of cement content in a hardened concrete can provide useful data to evaluate the quality and strength of the concrete and might be used to inspect the quality of precast concrete secondary products. Observation obtained in this research included : (1) the volume of coarse aggregate in the hardened concrete measured by the area comparison method has a high accuracy ; (2) the cement content in the mortar and the X-ray intensity of Ca-K α have a correlation factor of 0.96 ; (3) the cement content in the ready mixed concrete was estimated with high accuracy such as correlation factor of 0.99 and standard deviation of 6.4.

1. 서론

본 연구에서는 경화된 콘크리트의 배합비를 역추적하기 위해 XRF를 활용하였으며 시멘트의 함량을 예측하기 위해 일차적으로 모르타르를 대상으로 배합비별 함량을 분석하였다. 모르타르의 분석결과를 토대로 단위결합재량별, 레디믹스트 콘크리트의 호칭강도별 시멘트함량을 분석하였다. 굵은골재의 양은 시험체를 절단하여 면적대비를 이용하여 예측하였다. 궁극적 목적은 경화된 콘크리트의 시공 당시의 배합비를 역추적 함으로써 시공시의 콘크리트 강도를 예측하고 현재 구조물의 강도를 측정함으로써 구조물의 열화속도를 평가하고 잔존 내구연한을 예측하고자 하였다. 또한 프리캐스트 콘크리트 2차 제품의 검사시험방법으로 활용하고자 하였다.

경화된 콘크리트의 강도나 내구성을 평가하는 방법은 다양한 각도에서 연구되어지고 있다. 역학적 특성을 평가하기 위해 비교적 손쉬운 방법으로 비파괴 시험을 많이 사용하고 있다. 비파괴 시험은 슈미트햄머, 초음파측정기등 다양한 장비를 이용하여 시험대상체를 손상시키지 않고 측정할 수 있는 장점이 있다. 반면 국부파손은 가져오지만 모체로부터 시험체를 채취하여 측정함으로써 신뢰성을 갖는 코야채취 방식이 있다. 이러한 시험법은 시험대상체가 비교적 큰 단면을 갖을 때 실시할 수 있다. 그러나 프리캐스트 콘크리트 2차제품 중 단면이 작은 소형 제품의 경우 적용하기가 어려운 시험법이다. 제품검사 시험방법으로 KS 기준은 압축강도, 휨강도, 외관 및 치수를 언급하고 있다.

콘크리트에서 단위시멘트의 양이 차지하는 비중은 크다. 시멘트의 양을 얼마나 사용하였느냐에 따라

* 정회원, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 주임연구원
** 정회원, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수석연구원
*** 정회원, 농어촌진흥공사 농어촌연구원 책임연구원
**** 정회원, 서울대학교 농업개발연구소

콘크리트의 강도나 내구성을 평가하는데 중요한 기준으로 작용할 수 있을 것이다. 더욱이 경화된 콘크리트의 배합당시 배합비를 알아낼 수 있다면 최근 관심의 대상이 되고 있는 구조물 안전진단 및 프리캐스트 콘크리트 2차 제품의 검사시험방법에 사용될 수 있을 것이다.

2. 실험개요

2.1 경화된 콘크리트 내의 굵은 골재 함량비

경화된 콘크리트내에 함유된 굵은 골재량을 추정하기 위해 배합비를 알고 있는 콘크리트를 비비고 경화된 콘크리트의 공시체를 절단하여 절단된 면의 굵은 골재를 트랜스페이퍼를 이용하여 그린 후 스케너와 오토캐드(ACAD)프로그램을 통하여 단면전체의 면적에 대한 굵은 골재가 차지하는 면적비를 구하였다. 배합설계시 반영된 실제 굵은 골재 용적비와 면적비를 비교·분석하여 면적비를 이용하여 도출한 굵은 골재 용적비의 신뢰도를 분석하였다.

2.2 모르타르내의 시멘트 함량 분석

모르타르내 시멘트 함량을 분석하기 위해 시멘트의 함량을 달리하여 여섯 종류의 모르타르배합을 실시하고(Table 2) 재령 28일에서 시료를 취하여 Ring Mill로 시료 입자 크기를 150 μ m 이하로 분쇄한 후 분쇄한 시료 7g에 3% Starch용액 1ml를 넣어 반죽하여 알루미늄 컵에 눌러 담고 압착하여 XRF를 통해 분석할 수 있는 시료로 제조하였다. 모르타르내의 시멘트 함량을 X-선의 세기를 통해 분석하기 위해 시멘트와 모래시료를 각각 XRF-Scanning하여 정량분석한 결과 모래에는 없거나 아주 미량이면 시멘트에는 다량 함유된 한 개의 성분을 결정하였는데 그것은 칼슘(Ca)으로 결정하였다. XRF로 각 시료의 Ca-K α 의 세기를 측정하였다.

Table 1 Ready Mixed Concrete and Each unit cement contents Mix Design

Specimens	Max size of coarse aggregate(mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/A (%)	Unit weight(kgf/m ³)				
						W	C	S	G	AD(%)
RR180	20	11	4.5	61.1	48.6	193	315	857	931	0.3*
RR210	20	10.5	4.2	55	47.7	190	345	834	938	0.3*
RR240	20	12	4.3	51.9	46.04	188	362	820	941	0.3*
RR270	20	11.5	4.5	43.5	48.5	174	400	844	903	0.3*
RU300	20	5	2.7	61.1	44	183.3	300	797	1053	1.3**
RU400	20	5	2.7	43.75	39.1	175	400	700	1090.18	1.3**
RU500	20	6	2.7	33.96	39.09	169.8	500	672	1046.9	1.2**
RU600	20	8	2.8	29.85	34.15	179.1	600	550.59	1061.53	1.2**

* RR180 - R : reanalysis, R : ready mixed concrete, 180 : compressive strength 180kgf/cm²

* RU300 - R : reanalysis, U : unit cement content, 300 : unit cement weight 300kgf/m³

* : AE water reducing admixture, ** : superplasticizer

2.3 경화 콘크리트내의 시멘트 함량 분석

모르타르내의 시멘트 함량분석을 실시하고 궁극적인 목표인 콘크리트내의 시멘트 함량을 예측하기 위해 검량선 도출을 위한 단위결합재량별 네가지 배합을 실시하고, 상용화 되어 있는 레디믹스트 콘크리트중 네가지의 호칭강도를 선정하여 배합을 실시하였다(Table 1). 콘

Table 2 Mortar Mix Design (Unit : kgf)

Ratio of cement content(%)	Water	Sand	Cement
100	400	0	1900
91.6	400	155	1700
82.6	400	317	1500
73.0	400	480	1300
63.1	400	643	1100
52.8	400	805	900

크리트중 시멘트 함량을 예측하기 위해 콘크리트중의 모르타르부분만을 추출하여 XRF시험용 시편을 제작하였다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 경화된 콘크리트 내의 굵은 골재 용적비

굵은 콘크리트의 배합비를 역추적 하기 위해서 콘크리트내에 함유된 굵은 골재의 양을 추정하였다. 콘크리트의 전체 단면적에 대한 골재가 차지하는 단면적의 비를 통해 콘크리트중의 굵은 골재의 용적을 추정한 결과 Table 3과 Fig.1에 나타낸 바와 같이 실제 배합시 굵은 골재가 차지한 용적비를 기준으로 할 때 평균 96.6%, 표준편차 7.8의 정도를 갖는 추정치를 얻을 수 있었다. 임의의 콘크리트 구조물에서 코아등의 시편을 채취한다면 콘크리트내에 굵은 골재의 용적을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3 Comparison of Coarse Aggregate Content Obtained by Volumetric Method

Specimens	Volumetric coarse aggregate content ratio (%)			Specimens	Volumetric coarse aggregate content ratio (%)		
	Real content ratio A	Area Method B	B/A		Real content ratio A	Area Method B	B/A
RR180	34.0	29.4	86.5	RU400	41.0	38.3	93.4
RR210	34.2	35.3	103.2	RU500	39.4	37.8	95.9
RR240	34.8	34.4	98.9	RU600	39.9	35.6	89.2
RR270	43.8	47.7	108.9	AVE	-	-	96.6(std.7.8)



Fig.1 Coarse aggregate content ratio obtained by Volumetric Area Method

3.2 모르타르내 시멘트 함량분석

콘크리트에 적용하기에 앞서 모르타르를 대상으로 실험하였다. 모르타르내의 시멘트함량을 예측하기 위해 시멘트에 다량 함유된 칼슘을 상대로 XRF를 통해 Ca-K α 의 세기를 측정하여 시멘트함량과 X-선의 강도와의 관계를 분석한 결과(Fig. 2) 결정계수 0.95라는 높은 상관성을 갖음을 알 수 있었으며 식 1을 유도할 수 있었다. 임의의 모르타르를 XRF를 통해 Ca-K α 의 세기를 측정하여 모르타르내 시멘트의 함량을 예측하고 품질을 평가할 수 있는 신뢰성 있는 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

$$Y = 0.5558X - 35.157 \text{ ----- (1)}$$

여기서, X : X-선의 세기, Y : 시멘트 함량

3.3 경화 콘크리트내의 시멘트 함량분석

경화된 콘크리트내의 시멘트 함량을 분석하기 위해 단위시멘트량별 콘크리트배합을 실시하고 XRF를 통해 검량선을 그렸다. 검량선을 통한 회귀식(Fig.3)을 이용하여 네 종류의 레디믹스트 콘크리트의 시멘트 함량을 측정된 결과 평균 83.2%, 표준편차 6.4의 정도를 갖는 추정값을 얻을 수 있었다(Table 4). 비교적 짧은 시간에 경화콘크리트내의 시멘트의 함량을 추정하는 방법으로 콘크리트의 품질을 평가하고 강도를 예측할 수 있는 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 현재 여러 가지의 변수로 작용할 수 있는 인자를 찾고 있으며, 다양한 분석방향을 모색한다면 보다 신뢰도가 높은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대되었다.

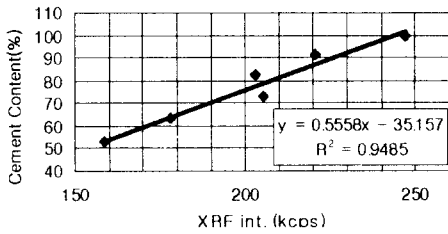


Fig. 2 X-ray density and Cement content in mortar

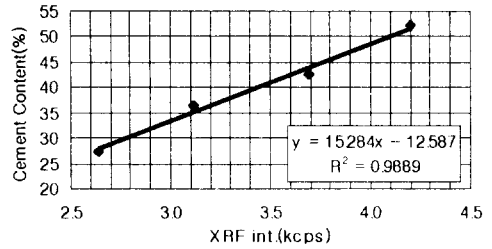


Fig. 3 X-ray density and Cement content in concrete

Table 4 Cement Content reanalyzed by XRF

Specimens	Cement (kg)	Sand (kg)	Real cement content A(%)	Cement content by XRF B(%)	A/B (%)
RR180	315	857	26.9	22.1	82.2
RR210	345	834	29.3	27.0	92.2
RR240	362	820	30.6	23.6	77.1
RR270	400	844	32.2	26.1	81.1
AVE.	-	-	-	-	83.2(std. 6.4)

4. 결 론

XRF를 활용한 경화 콘크리트의 배합비의 역추적을 위한 시멘트함량 추정시험 및 굵은 골재 용적 추정시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 경화 콘크리트내의 굵은 골재함량추정을 위한 면적비를 측정된 결과 평균 96.6%, 표준편차 7.8의 정도를 갖는 굵은 골재 용적비를 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

2) XRF를 활용하여 모르타르내의 시멘트 함량을 추정하기 위해 Ca-K α 강도를 측정된 결과 시멘트의 함량과 X-선 강도의 상관성을 나타내는 결정계수가 0.96인 회귀식을 얻을 수 있었다.

3) 단위결합재량별 콘크리트의 X-선 강도를 통해 검량선을 산출하고 이를 이용한 레디믹스트 콘크리트의 시멘트함량을 측정된 결과 평균 83.2%, 표준편차 6.4의 정도를 갖는 시멘트 함량 추정값을 얻을 수 있었다.

콘크리트의 구성 성분중 굵은 골재와 시멘트의 함량을 추정하고 잔골재와 공극량을 측정하면 경화된 콘크리트의 배합비를 역추적 할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 류영호, "글루콘산 나트륨에 의한 경화콘크리트의 단위시멘트량 추정 방법에 관한 연구," 대한 건축학회논문집, 14권 1호, 1998. p.369~376.
2. 한국 산업규격 KS F 2416, "경화된 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 시멘트 함유량 시험방법."
3. ASTM C 1084-92, "Test Method for Portland-Cement Content of Hardened Hydraulic-Cement Concrete."
4. RIGAKU, RIX 2000, "X선 형광 분석기 사용 메뉴얼."
5. 이승현, "플라이애쉬중의 유리질 정량방법," 시멘트, 1998. 6월, 한국양회공업협회, p.47~53.