

# 磁鐵鑛 骨材를 利用하는 重量콘크리트의 力學的 特性에 관한 實驗的 研究

## An Experimental Study on the Mechanical Properties of High Density Concrete Using Magnetite Aggregate

반 호 용\* 한 천 구\*\* 김 을 용\*\*\*

### 요 약

本 研究에서는 放射線 遮蔽用 重量콘크리트에 使用되는 國內의 磁鐵鑛骨材 콘크리트에 대하여 磁鐵鑛 骨材의 骨材特性을 分析하고, 굳지않은 콘크리트의 슬럼프등 特性과 壓縮強度등 力學的特性을 分析하므로써 重量콘크리트 施工 應用에 한 參考資料를 提示하고자 하였다. 實驗結果 磁鐵鑛 骨材 콘크리트의 슬럼프치는 天然骨材의 경우보다 50% 정도 작게, 單位容積 重量은 50% 정도 크게 나타났고, 시멘트 種類에 따른 壓縮強度 影響은 普通보다 中용열 포틀랜드시멘트에서 製造會社 차이로 5~19% 크게 나타났고, 잔骨材의 影響은 壓縮強度 340kg/cm<sup>2</sup>를 基準으로 그 以上 強度에서는 天然 잔骨材, 그 以下 強度에서는 磁鐵鑛 잔骨材 콘크리트에서 크게 나타났으며, 굵은骨材는 骨材間 結合力(Interlocking) 및 시멘트 페이스트와의 附着力(Bond) 增進에 起因하여 磁鐵鑛에서 17~22% 크게 나타났다.

### ABSTRACT

For the protection of radioactive leakage, the quality control of main concrete structure in nuclear power plants is very important. So, this study is designed to analyze the influence of kind of cement and aggregate on the mechanical properties of high density concrete. Test results of this study are as follows ;

- 1) The slump of magnetite aggregate concrete(MAC) is found half value of natural aggregate concrete (NAC).
- 2) As the effect of cement, the compressive strength of concrete using moderate heat cement is found higher 5~19% than that of ordinary portland cement.
- 3) As the effect of fine aggregate, the compressive strength of MAC is found higher than that of NAC below 340kg/cm<sup>2</sup> and lower than NAC above 340kg/cm<sup>2</sup>.
- 4) As the effect of coarse aggregate, the compressive strength of MAC is found higher 17~22% than that of NAC.

### 1. 序 論

1979년 3월 美國의 TMI 原電 事故 및 1986

\* 정희원, 청주대학교수, 공박

\*\* 정희원, 청주대 부교수, 공박

\*\*\* 정희원, 대전공업대 부교수, 청주대 박사과정

년 4월 蘇聯의 체르노빌 原電事故 以後 放射性物質의 自然 環境內 漏出과 이에 따른 人體 影響에 대하여 많은 사람들이 憂慮를 나타내기 始作하였고, 原電施設 構造物의 施工 및 管理의 重要性이 再三 認識되게 되었다.

즉, 原電施設의 建設은 이와 같은 安全問題와 관련하여 高度의 品質管理가 要求되고 있는데, 本 研究에서는 放射線 遮蔽用 重量 콘크리트에 使用되는 國內產의 普通 및 中庸熟 포틀랜드 시멘트와 天然 및 磁鐵鑛 骨材의 使用材料 變化를 實驗 要因으로 하였고, 分析項目으로는 먼저 重量骨材로서 磁鐵鑛의 骨材特性을 分析하고, 굳지않은 콘크리트의 슬럼프·空氣量·單位容積 重量등 特性과 壓縮·引張強度

및 彈性係數등 力學的 特性을 分析하므로써 重量 콘크리트의 施工 應用에 한 參考資料를 提示하는데 本 研究의 目的이 있다.

## 2. 實驗計劃 및 方法

### 2.1 實驗計劃

시멘트, 骨材, 물·시멘트비 및 슬럼프치 變化側面의 표 1과 같은 實驗計劃으로 重量 콘크리트의 굳지않은 狀態의 特性 및 硬化 狀態의 力學的 特性을 分析하도록 하였는데 이때의 콘크리트 配合은 표 2와 같다.

표 1. 實驗計劃

시멘트 種類	골재 種類	W/C (%)	슬럼프 (cm)	아직 굳지 않은 콘크리트				硬化 콘크리트				
				슬럼프 (cm)	공기량 (%)	비밀溫度 (°C)	單位重量 (kg/m <sup>3</sup> )	壓縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		彈性係數 (kg/cm <sup>2</sup> )
								28일	90일	28일	28일	
L N	FF	35	FF의 슬럼프 값이 4.5 ±0.5 cm 로 配合設計	○	○	○	○	○	○	○	○	
	NF	45										
		50										
	NN	55										

\* 시멘트 種類의 L은 中庸熟, N은 普通 포틀랜드 시멘트를 意味하고, 骨材種類의 FF는 磁鐵鑛 잔·굵은骨材, NF는 天然 잔骨材·磁鐵鑛 굵은骨材, NN은 天然 잔·굵은 骨材를 意味함.

표 2. 實驗配合

W/C (%)	S/A (%)	單位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絕對容積(ℓ/m <sup>3</sup> )		
			시멘트	잔骨材	굵은骨材
35	35	215	194	203	378
40	39	200	158	246	386
45	41.5	190	134	276	390
50	43.5	178	113	304	395
55	44.5	188	108	309	358

### 2.2 使用材料

本 實驗에 使用한 材料中 보통포틀랜드 시

멘트(1종)는 國內產 H社, 중용열 포틀랜드 시멘트(2종)는 國內產 S社製를 利用하였고, 骨材로 天然 잔·굵은骨材는 忠北 淸原郡 芙蓉江產(금강), 磁鐵鑛 잔·굵은 骨材는 江原道 襄陽郡 西面 長承里에 위치한 大韓鐵鑛開發(株) 襄陽鑛業所의 粉鑛과 塊鑛을 利用하였는데, 各 材料의 物理的 性質은 표 3, 4와 같고, 骨材의 粒度曲線은 그림 1과 같다.

混和劑는 使用하지 않았고, 물은 淸州市 上水道를 利用하였다.

표 3.

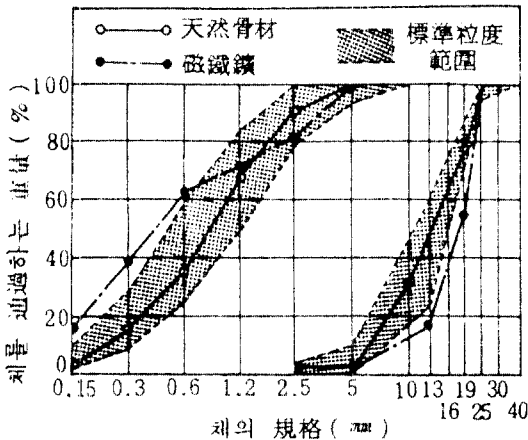
## 시멘트의 物理的 性質

種類	比重	粉末度 ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	凝結(h-m)		壓縮強度( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )			水和熱( $\text{cal}/\text{g}$ )	
			初結	終結	3日	7日	28日	7日	28日
1종	3.16	3450	3-50	7-20	229	274	340	69.6	76.0
2종	3.12	3730	4-30	7-50	242	309	381	86.2	93.1

표 4.

## 골재의 物理的 性質

種類	最大尺寸 (mm)		表乾比重	吸水率 (%)	粗粒率 (FM)	粒形判定實 積率(%)	單位重量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )		공극율(%)		磨耗率 (%)	No.200체 通過量(%)
	다짐대	삼					다짐대	삼				
잔골재	天然	2.5	2.53	2.85	2.81	58.1	1607	1449	36.4	42.7	-	1.86
	磁鐵鑛	5.0	4.52	0.81	2.25	51.7	3325	2939	26.4	43.9	-	11.14
굵은 골재	天然	25	2.65	1.51	6.81	65.1	1650	1543	37.7	41.7	31.4	0
	磁鐵鑛	25	4.45	0.46	7.29	59.2	2515	2374	43.4	46.6	46.2	0



[그림 1] 골재의 粒度曲線

## 2.3 實驗方法

使用材料에 관한 實驗으로, 시멘트 및 골재의 物理的 性質試驗은 KS L 및 KS F의 各 해당 規格에 의한 標準的인 方法에 따랐으며, 콘크리트 實驗으로 아직 굳지않은 상태에서의 콘크리트 混合·供試體 製作( $\phi 10 \times 20\text{cm}$ )·養生( $23 \pm 2^\circ\text{C}$  水中)은 KS F 2403, 슬럼프 試驗은 KS F 2402, 空氣量·單位容積 重量은 KS F 2409에 의거 실시하였고, 硬化 콘크리트로서 單位容積重量은 密度測定 方法, 壓縮強度는 KS F 2405, 引張強度는 KS F 2423, 彈性係數

試驗은 KS F 2438 規格에 의거 콤프레소미터 (Compresso meter)를 利用하여 最大壓力의 1/3 지점에 대한 割線 彈性係數(Secant Modulus)로 구하였다.

## 3. 實驗結果 및 分析

## 3.1 磁鐵鑛의 骨材特性

우리나라의 原電 施設用 重量 콘크리트에 주로 이용되는 磁鐵鑛의 콘크리트용 骨材性質은 표 4와 같다.

즉, 잔·굵은 骨材 공히 比重은 4.5前後로 天然骨材보다 70~80% 무겁고, 吸水率은 1% 이내로 매우 적은 반면, 굵은 골재로 磨耗率은 46%로 KS規格 『40% 以下』을 초과하고 있고, 잔골재로 No.200체 통과량은 11%로서 KS規格 『7% 以下』를 초과하여 粗粒率이 작고 標準 粒度範圍도 벗어나고 있는 등 잔·굵은골재 공히 天然 骨材와는 매우 다른 特性을 나타내었다.

## 3.2 굳지않은 콘크리트의 性質

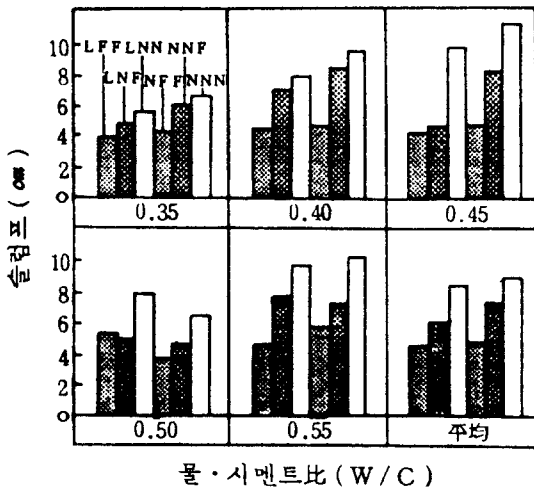
그림 2~4는 磁鐵鑛 骨材를 이용한 콘크리트의 굳지않은 狀態에서의 性狀을 W/C別 및

各 W/C를 綜合하여 平均한 概念으로 比較한 것이다.

먼저, 磁鐵鑛 質·굵은骨材 콘크리트의 경우 슬럼프치는 天然骨材보다 重量이 무거움에 따른 침하량 增加로 슬럼프치가 커질수 있는 要因과 骨材의 角이진 粒形 및 微粒分 함유에 의하여 감소 할 수 있는 要因의 複合으로 그림2와 같이 50% 정도 저하하였고, 單位容積 重量은 使用骨材의 比重에 起因하여 그림3과 같이 3550kg/m<sup>3</sup> 前後로서 50%정도 增加하였으며 空氣量은 그림4와 같이 0.5~2% 前後로 骨材別 차이는 거의 나타나지 않았다.

### 3.3 硬化 콘크리트의 性質

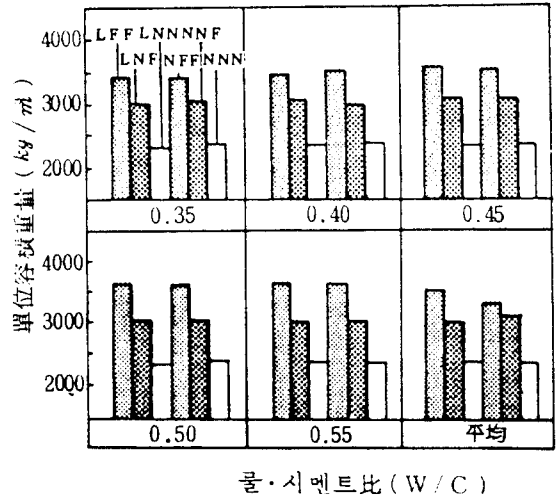
그림 5는 C/W變化에 따른 28일 壓縮強度 變化 傾向을 分析한 것으로, 各 骨材別 全般的인 傾向은, 당연한 結果이겠지만, C/W에 비례하여 增進하는데 LFF, LNF, NFF, NNF, LNN, NNN의 순으로 큰 壓縮強度를 나타내었다.



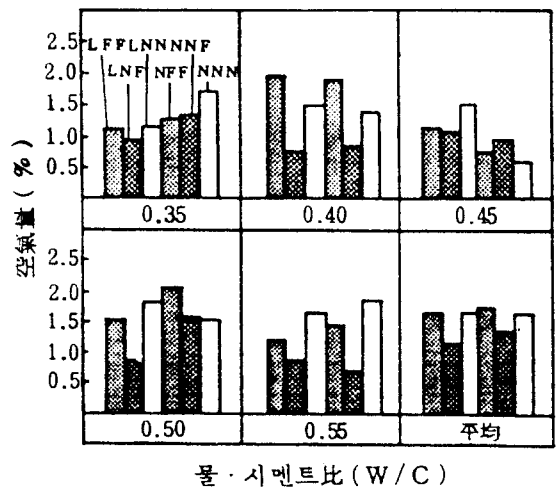
[그림 2] 材料配合에 따른 슬럼프值 比較

그림 6은 普通 및 中庸熟 波特蘭드시멘트

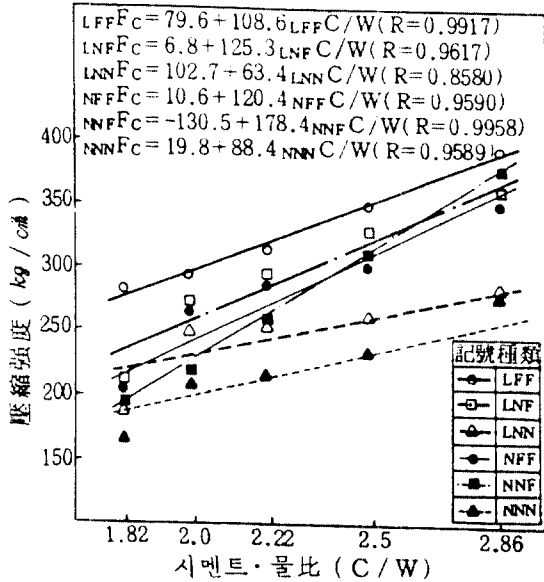
간의 시멘트 種類 變化에 따른 28일 및 90일 의 壓縮強度 比較로서, 全般的으로는 中庸熟 波特蘭드시멘트를 사용한 콘크리트는 普通波特蘭드 시멘트를 사용한 경우보다 5~19% 程度 크게 나타나고 있는데, 材齡 90일과 28일간의 壓縮強度 差異로는 200kg/cm<sup>2</sup>에서는 差異가 없는 반면, 400kg/cm<sup>2</sup>에서는 90일 強度가 약 5% 前後로 上昇되게 나타난다.



[그림 3] 材料配合에 따른 單位容積重量 比較

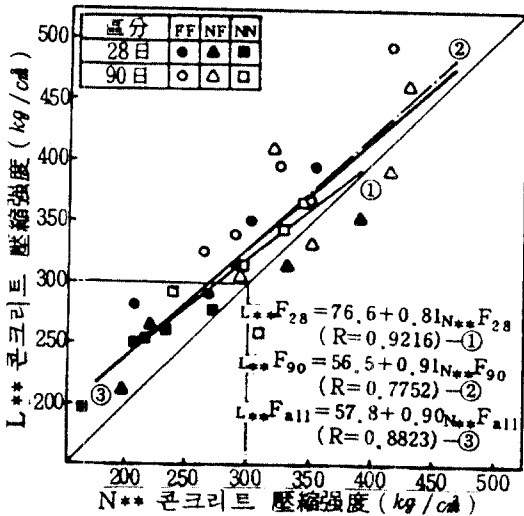


[그림 4] 材料配合에 따른 空氣量 比較

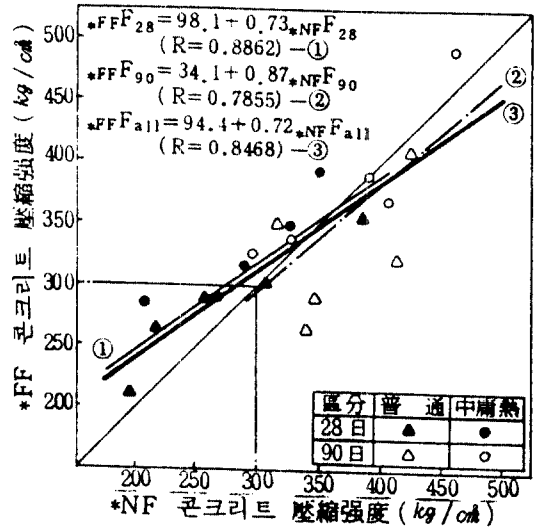


[그림 5] 시멘트·물비와 압축강도의 관계

그림 7은 잔골재 종류에 따른 압축강도 비교로서, 굵은골재가磁鐵鑛으로同一하며, 잔골재로天然과磁鐵鑛을利用하는NF와FF를比較한 것으로서, 잔골재의種類變化가 압축강도에 미치는影響은 압축강도 340kg/cm<sup>2</sup>를基準으로 그以上에서는天然, 그以下에서는磁鐵鑛 잔골재에서 크게 나타난다.

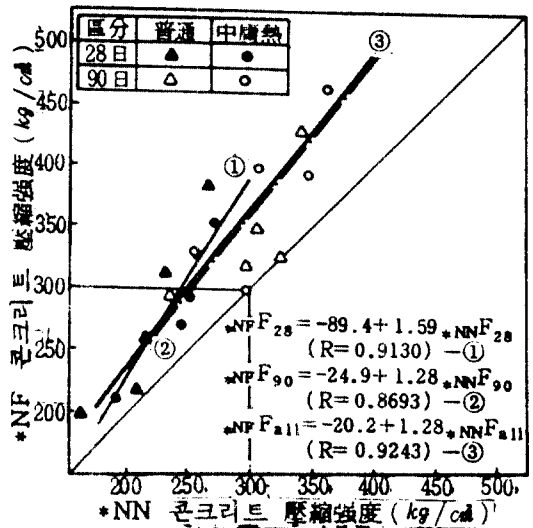


[그림 6] 시멘트 종류별 압축강도 비교



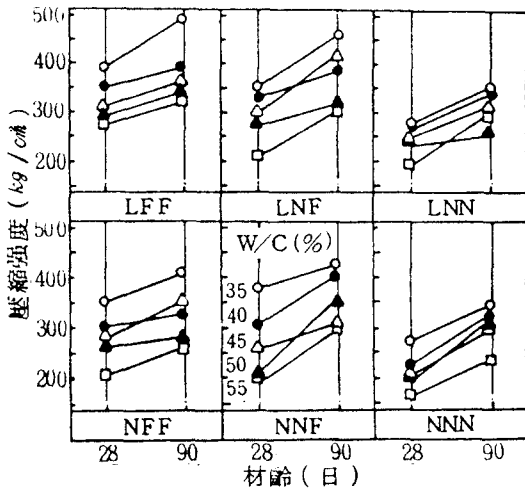
[그림 7] 잔골재 종류별 압축강도 비교

단, 材齡別의 경우 28일에서는 370kg/cm<sup>2</sup>, 90일에서는 270kg/cm<sup>2</sup>에서 骨材種類別 壓縮강도의 분기점이 되는 特性으로 즉, 材齡이 경과할수록 磁鐵鑛 잔골재의 壓縮강도가 작아짐을 나타내고 있다.

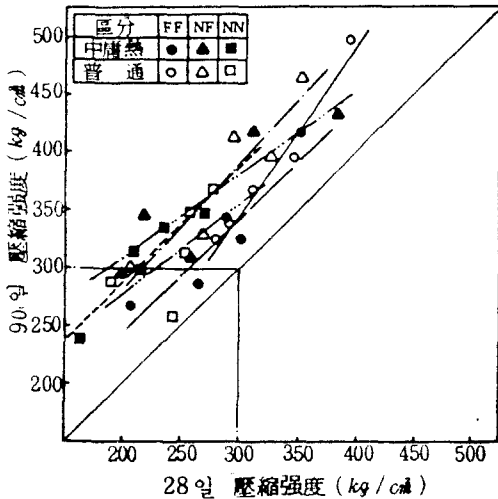


[그림 8] 굵은골재 종류별 압축강도 비교

그림 8은 굵은 骨材 種類에 따른 壓縮強度 比較로서 그림 7과 同一 要領으로 NN과 NF를 比較한 것인데, 全般的으로는 磁鐵鑛 굵은 骨材에서 17~22% 增加한 傾向이다. 材齡別의 影響으로는 磁鐵鑛 굵은骨材를 利用할 때 材齡 28일보다 90일 壓縮強度에서는 高強度化 할수록 強度의 增進이 鈍化되어 材齡增進에 따른 磁鐵鑛 粗骨材의 鈍化傾向과 類似한 結果임을 알 수 있다.

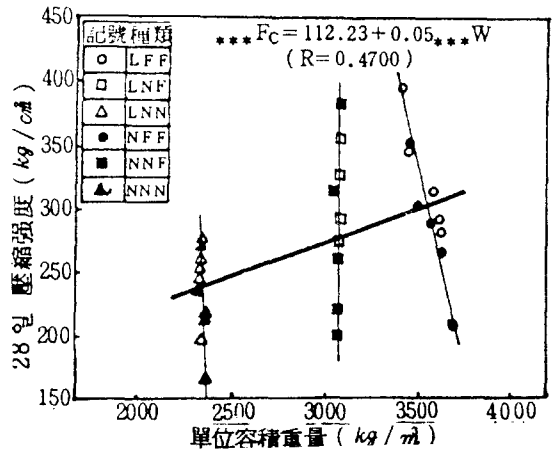


[그림 9] 사용골재별 재령과 압축강도관계

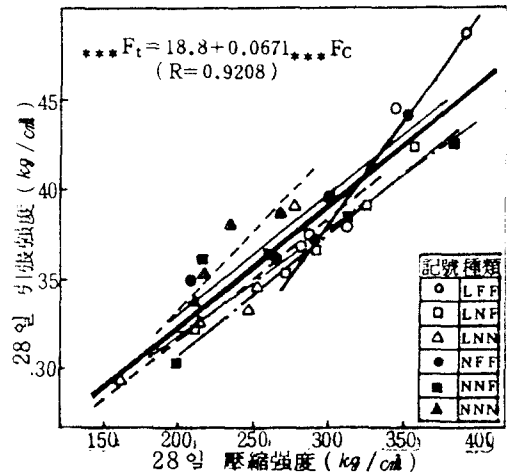


[그림 10] 재령 경과에 따른 압축강도관계

그림 9, 10은 시멘트 및 骨材種類別 材齡 경과에 따른 壓縮強度 變化를 나타낸 것이다. 使用材料에 의한 壓縮強度 增加 句配는 NNN, LNN, LNF, NNF, LFF, NFF의 順으로 크게 나타나고 있다.



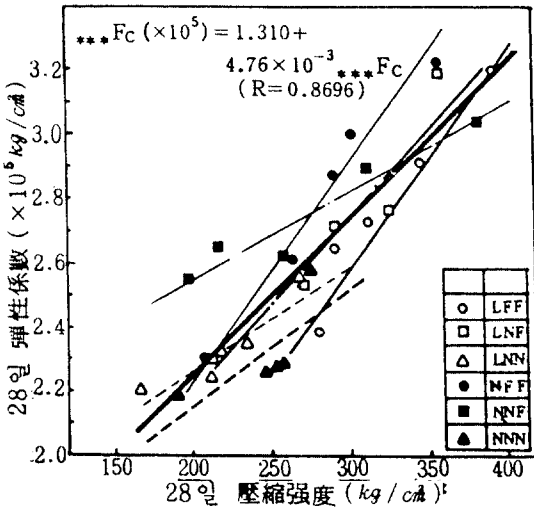
[그림 11] 단위용적중량과 압축강도의 관계



[그림 12] 압축강도와 인장강도의 관계

그림 11은 材齡 28일의 單位容積 重量과 壓

축강도의 관계로서 각 骨材別은 負相關의 양호한 關係이나, 骨材 種類를 무시한 全般的인 傾向은 重量보다는 骨材의 比重, 粒形 및 配合 등의 影響으로 正相關 關係인데 相關係數는 0.47 정도로 相關性이 매우 불량하게 나타났다.



[그림 13] 압축강도와 탄성계수의 관계

그림 12, 13은 壓縮強도와 引張強도 및 彈性係數의 關係로서 公히 양호한 相關性을 나타내는데 骨材 種類別 影響은 약간 存在하나 유의할 만큼 크지는 않은 것으로 分析된다.

#### 4. 結 論

放射線 遮蔽用 重量콘크리트의 活用に 있어 시멘트 및 骨材 種類의 變化가 콘크리트의 性狀에 미치는 影響을 分析하기 위한 實驗研究에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 磁鐵鑛 骨材는 骨材보다 比重은 4.5로 크고, 吸水率은 1.0% 以下로 작으며, 磨耗率은 46%로 크고, No.200체 通過量은 11%로 많은 등 天然骨材와는 매우 다른 特性을 나타내었다.

2) 磁鐵鑛 骨材 콘크리트의 슬럼프치는 天然 骨材의 경우보다 50% 정도 작게 나타나고, 單位容積 重量은 50% 정도 크게 나타났다.

3) 시멘트 種類에 따른 壓縮強도 影響은 製造會社 差異의 影響으로 中庸熟 포틀랜드 시멘트에서 5~19% 크게 나타났고, 간骨材의 影響은 壓縮強도 340kg/cm²를 基準으로 그 以上은 天然, 그 以下는 磁鐵鑛 骨材에서 크게 나타났으며, 굵은 骨材는 骨材間 結合力(Interlocking) 및 시멘트 페이스트와의 附着力(Bond) 增進에 起因하여 磁鐵鑛 骨材에서 17~22% 크게 나타났다.

4) 單位容積 重量과 壓縮強도 間의 相關性은 正相關의 相關係數 0.47 정도로 매우 不良하게 나타났으며, 壓縮·引張 및 彈性 係數間에는 良好한 相關性이 나타났다.

#### 參考文獻

1. 韓國原子力 産業會議; 環境과 原子力(1989)
2. 韓國電力公社; 現代人의 原子力常識(1989)
3. 韓國에너지研究所; 原子爐 構造體의 耐震 解析 研究報告書(1982)
4. 황선태, 박태순, 하석호; 放射線, 韓國標準 研究所 精密測定教材(1985)
5. 韓國에너지研究所; 放射線遮蔽解析 研究報告書(1981)
6. 祭熙泰, 崔 哲, 엄환식, 夫拓量; 建築構造 物의 放射線遮蔽에 대한 研究 (I), 大韓 建築學會論文集, Vol.3, No.6(1987)
7. 日本建築學會; 建築工事標準仕様書·同解説, -JASS 5N 原子力發電所施設에 ける 鐵筋콘크리트工事, 丸善(1985)
8. 日本 建築學會 콘크리트의 調査設計·調 合管理·品質檢査 指針案·同解説, 丸善(1976)
9. A. M. Neville; Properties of Concrete, (3rd Edition), Pitman(1981)
10. A. A. Moghissi, H.W.Godbee, M.S.Ozker, M.

W. Carter ; Nuclear Power Waste Technology, The American Society of Mechanical Engineers(1978)

•