

콘크리트용 用水로써 레미콘 回收水의 再活用に 관한 研究(II)

- 콘크리트 適用實驗을 中心으로 -

An Experimental Study on the Reuse of Recycling Water of Ready Mixed Concrete such as Concrete Water(II)

- A Case Study on the Concrete -

○ 金 基 喆¹⁾ 尹 起 源²⁾ 韓 千 求³⁾ 潘 好 鎔³⁾
Kim, Gi Cheol Yoon, Gi Won Han, Cheon Goo Bahn, Ho Yong

Abstract

This study is applying to the concrete with the variation of the sludge contents, to analyze the properties of the fresh concrete and the mechanical properties of hardened concrete give the reference data of actual ready mixed concrete. To the result of this study in the condition of the W/C 40%, there are problems less than 2% and no problems in the condition of W/C 60%. As a result of this experiment and considering the drying shrinkage, it is thought that in using sludge, the less amount of sludge than 4% can produce of good quality concrete.

I. 序 論

레미콘 生産 工場에서 필연적으로 發生되는 回收水는 産業 副産物로서 이를 廢棄處分하는 경우에는 環境保存 목적상의 어려움과 經濟的인 면으로도 많은 費用이 지출되는 등 문제시되므로 이를 레미콘 生産에 再利用하는 效果的인 活用方案이 要求된다.

그러므로 本 研究에서는 前 研究의 回收水를 모르터에 이용한 實驗結果에서¹⁾ 상등수를 用水로 使用하는 것은 전혀 문제가 없는 것으로 밝혀졌고, 回收水 發生後 12시간 이내에 回收水를 再利用한다면 슬러지를 단위시멘트량에 대하여 4%까지 사용하여도 모르터 品質에는 별다른 문제점이 없는 것으로 밝혀졌음에, 本 報에서는 레미콘 回收水를 一般強度 및 高強度 콘크리트에도 이와 유사하게 適用하여 回收水의 슬러지 含有量이 굳지않은 상태 및 硬化 콘크리트 상태의 諸般 性質에 미치는 影響을 綜合的으로 分析하므로써, 實務의 回收水 利用 레미콘 生産에 한 參考資料로 提示하고자 함에 本 研究의 目的이 있다.

II. 實驗計劃 및 方法

- 1) 正會員, 淸州大 大學院, 碩士課程
- 2) 正會員, 淸州大 大學院, 博士課程
- 3) 正會員, 淸州大 敎授, 工博

2.1 實驗計劃

本 研究의 實驗計劃은 표 1과 같다. 즉, 配合事項으로 먼저, W/C는 40%, 60%의 2개 水準으로 하였고, AE제 添加量은 콘크리트 混合後의 目標 空氣量을 $5 \pm 1\%$ 로 하여 實驗配合을 통하여 W/C 40%에서는 단위시멘트량에 대하여 0.05%, 60%에서는 0.02%를 標準量으로 정하였는데, AE제 添加量 變化에 따른 性狀을 究明하기 위하여 각 W/C에서 AE제를 標準量의 2배로 變化시켜 比較 分析하도록 하였다. 또한, 슬러지 含有率은 단위시멘트량에 대하여 0%, 1.5%, 3.0%, 4.5%, 6.0%의 5개 水準으로 하였는데, 이때 첨가하는 슬러지는 骨材로 간주하여 配合計算하였으며, 回收水의 放置時間은 12시간 1개 수준으로 고정하였다. 또한, 目標 슬럼프치는 슬러지 含有率 0%인 수도수를 基準으로 각 W/C에서 AE제 標準量 添加인 경우 $10 \pm 2\text{cm}$ 가 되도록 實驗配合으로 單位水量(W/C 40% : 200kg/m^3 , W/C 60% : 185kg/m^3) 및 骨材率(W/C 40% : 38%, W/C 60% : 46%)을 정하여 각 配合에 동일하게 適用하였다.

2.2 使用材料

本 實驗에 使用한 시멘트는 國內産 S社의 보통 포틀랜드 시멘트를 使用하였고(표 2 참조), 骨材는 충북 청원군 미호천산 천연사를 使用하였으며, 굵은骨材는 충북 청원군 옥산산 쇄석을 使用하였다(표 3 참조). 물은 청주시 상수도를 使用하였는데, 回收水는 수도수에 슬러지 固

표 1. 實驗計劃

W/C (%)	AE劑量 (%)	슬러지含有率 (%)	放置時間 (h)	아직굳지않은 콘크리트				경화콘크리트			
				슬럼프	슬럼프 플로우	單位容積重量	空氣量	壓縮強度	乾燥收縮	反發度	超音波速度
40	0.05	0	12	○	○	○	○	7, 28일	1일, 2주, 4주,	1주, 3주, 8주	28일
		1.5									
	3.0										
60	0.02	4.5									
		6.0									
	0.04										

形分을 既存의 文獻을 參考하여 잔骨材 미립분과 시멘트의 比率을 1:4로 混合, 슬러지 含有率을 實驗計劃과 같이 變化시켜 제조하고 12시간 放置한 후에 사용하였다. 混和劑로 AE제는 國內産 社 製品을 사용하였다.

표 2. 시멘트의 物理的 性質

比重	粉末度		凝結時間		Auto-Clave (%)	壓縮強度 (kg/cm ²)		
	Blaine (cm/g)	88 μ (%)	初結 (分)	終結 (分)		3日	7日	28日
3.15	3,120	0.8	270	410	0.09	189	238	374

표 3. 잔·굵은 骨材의 物理的 性質

區分	比重	吸水率 (%)	粗粒率 (F.M)	單位容積重量 (kg/cm ³)	空隙率 (%)	粒形判定實績率 (%)
잔骨材	2.56	1.76	2.61	1,457	43.1	53.8
굵은骨材	2.70	0.68	6.73	1,580	41.5	55.9

2.3 實驗方法

本 研究의 實驗方法으로 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프 플로우는 슬럼프 시험이 끝난 후 흘러내린 콘크리트의 입의 지름과 이에 직교하는 지름을 測定하여 두값의 平均으로 하였다. 또한, 單位容積重量은 KS F 2409, 空氣量은 KS F 2421에 의거 實施하였으며, 供試體의 製作 및 養生은 $\phi 10 \times 20$ cm 원주체로 KS F 2403의 標準的인 方法으로 실시하였다.

硬化 콘크리트의 實驗方法으로 壓縮強度는 7, 28일 재령에서 KS F 2405의 方法에 의거 실시하였는데 단, 28일 재령에서는 壓縮強度를 측정하기 전에 非破壞試驗으로 反發度 및 超音波速度를 표준적인 方法으로 실시하였다. 또한, 乾燥收縮에 의한 길이변화는 KS F 2424의 다이알 게이지 方法으로 1일, 1주, 2주, 4주, 8주에서 측정하였다.

III. 實驗 結果 및 分析

3.1 굳지않은 콘크리트의 特性

그림 1 및 2는 W/C 및 AE제 添加量別로 슬러지 含有率 變化에 따른 슬럼프와 슬럼프 플로우를 비교한 것으로, 전반적인 傾向은 AE제 添加量이 증가할수록 增加하고, 슬러지 含有率이 增加할수록 약간의 변동은 있으나 대체로 저하는 傾向을 나타내고 있다.

AE제 添加量이 많아지면 미세한 연행공기의 블베어링 作用으로 슬럼프도 크게 나타났으나 단, 슬러지 含有率 變化에 따라서는 슬러지 含有率 1.5%에서 슬럼프가 큰 것으로 나타났고 그 이후에서는 減少하는 傾向으로 나타났는데, 특히 슬러지 含有率 1.5%에서 W/C 60%인 경우는 슬러지 미립분이 流動性을 增大시켜 W/C 40%보다 더 큰 流動性 增加를 나타내었는데, 슬러지 含有率 1% 增加할 경우 슬럼프의 變化傾向은 W/C 40%의 경우 2% 減少, W/C 60%의 경우는 1%가 減少되는 것으로 환산되었다. 슬럼프 플로우도 슬럼프와 유사한 傾向으로 AE공기량이 작을수록, 슬러지 含有率이 增加할수록 슬럼프 플로우는 低下하는 것으로 나타났는데, 슬러지 含有率 1% 增加時의 슬럼프 플로우 減少率로 환산하면 W/C 40%에서는 0.2%, W/C 60%에서는 1%의 減少가 나타나는 것으로 分析되었다.

그림 3 및 4는 전과 동일한 요령으로 空氣量과 單位容積重量을 나타낸 것으로 전반적으로 AE제 使用量이 減少할수록 슬러지 含有率 增加할수록 空氣量은 減少하고, 이와는 반대로 單位容積重量은 增加하는 것으로 나타났으며, 특히 富配合인 W/C 40%에서 60%보다 空氣量이 더 크게 減少하였다.

슬러지 含有率 1% 增加할때 空氣量 變化로 환산하면 W/C 40%에서는 0.3%, 60%에서는 0.2%의 減少를 나타내는 것으로 分析되었고, 슬

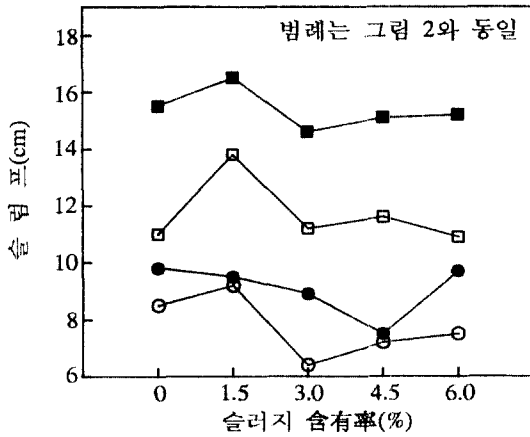


그림 1. 슬러지 함유율 변화에 따른 슬럼프

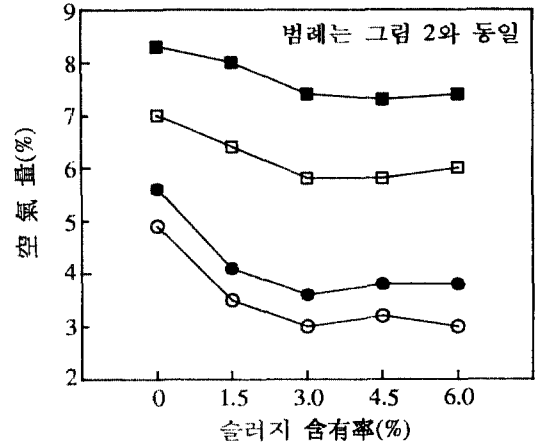


그림 3. 슬러지 함유율 변화에 따른 공기량

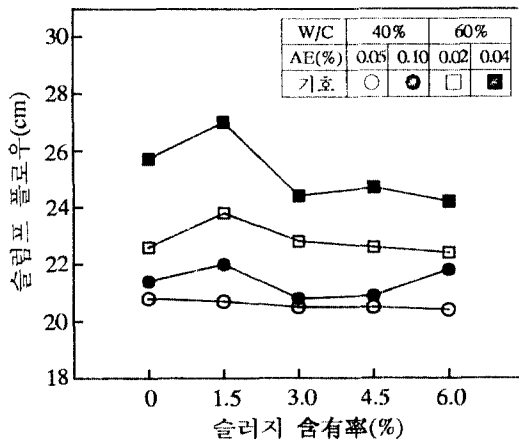


그림 2. 슬러지 함유율 변화에 따른 슬럼프 플로우

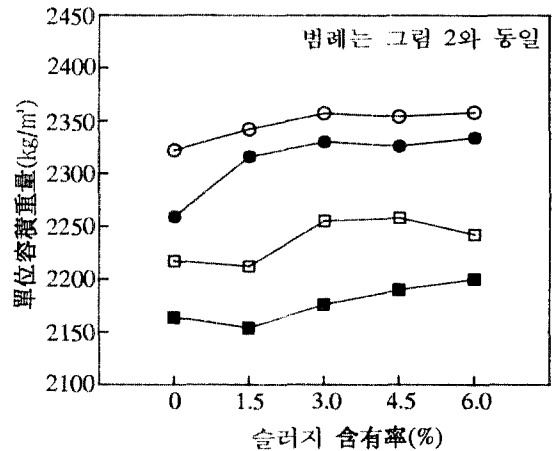


그림 4. 슬러지 함유율 변화에 따른 단위容積重量

슬러지 함유율이 1% 증가할 때 단위容積重量의 변화는 W/C 40%는 0.4%, 60%에서는 0.3%의 증가傾向으로 환산되었다.

3.2 硬化 콘크리트의 特性

3.2.1 壓縮强度 特性

그림 5는 W/C 40%에서 AE제 添加量과 재령별로 구분하여 슬러지 함유율 변화에 따른 壓縮强度를 비교한 것이고, 그림 6 및 7은 그림 5를 슬러지 함유율 0%인 수도수의 强度를 1.0으로 할 때 슬러지 함유율 변화에 따른 壓縮强度比를 AE제 添加量과 재령별로 구분하여 비교한 그래프인데, 그림중의 점선은 콘크리트의 실제 强度이고, 실선은 공기량에 의하여 減少되는 强度低下를 고려하여 동일 공기량일 경우의 壓縮强度로 환산하여 强度比의 변화를 구한 것이며, 굵은선은 각각의 平均을 나타낸 것이다.

먼저, 7일재령에서는 슬러지 함유율이 증가하

면 强度比도 전반적으로 증가하다가 슬러지 함유율 4.5%에서 다시 저하하는 傾向으로 나타나지만, 공기량의 影響을 제외한 경우에는 슬러지 함유율 3.0%까지는 약 2%의 强度低下를 나타내고 그 이후에는 증가하다가 減少하는 傾向으로 슬러지 함유율 4.5%에서 가장 큰 强度比를 보이고 있다. 28일 재령에서는 슬러지 함유율 1.5%까지는 强度比가 증가하다가 그 이후에는 減少하는데, 슬러지 함유율 3.0%에서 환산한 强度比가 0.95로 5%의 强度低下를 나타내고 있어 W/C 40%인 경우 초기재령에서는 큰 문제가 되지 않으나 재령이 經過할수록 强度가 약간 低下하는 것으로 나타나 결국 슬러지 함유율은 단위시멘트량의 2% 이하로 하는 것이 바람직할 것으로 分析된다.

그림 8은 그림 5와 동일한 요령으로 W/C 60%에서 壓縮强度를 비교한 것이고, 그림 9, 10

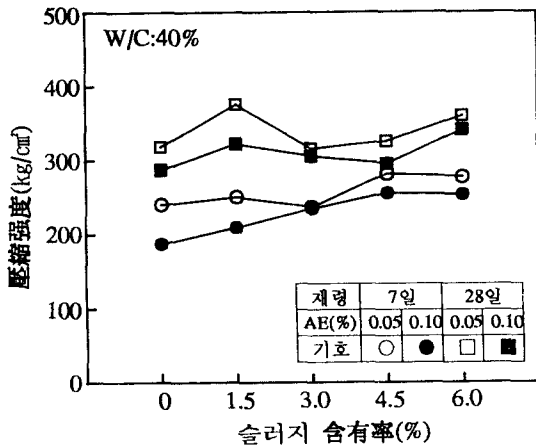


그림 5. 슬러지 함유율 변화에 따른 壓縮強度

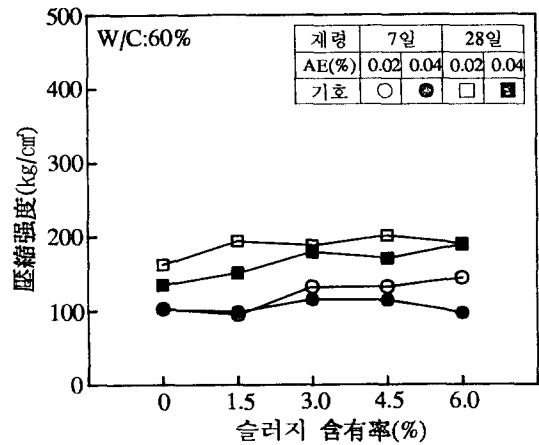


그림 8. 슬러지 함유율 변화에 따른 壓縮強度

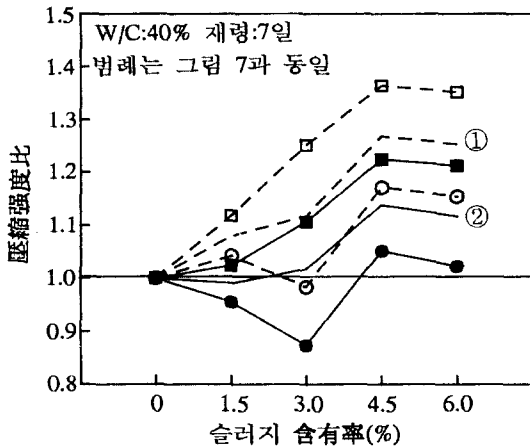


그림 6. 슬러지 함유율 변화에 따른 壓縮強度比

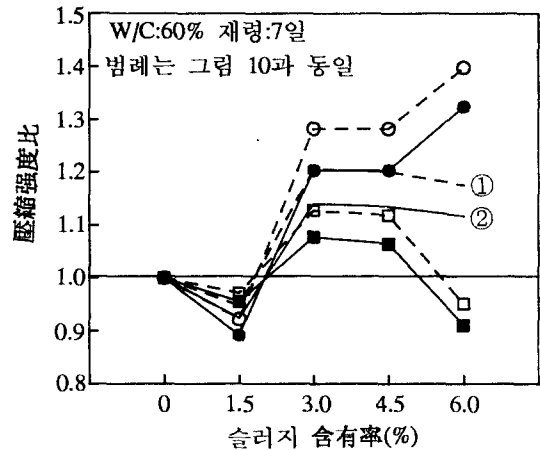


그림 9. 슬러지 함유율 변화에 따른 壓縮強度比

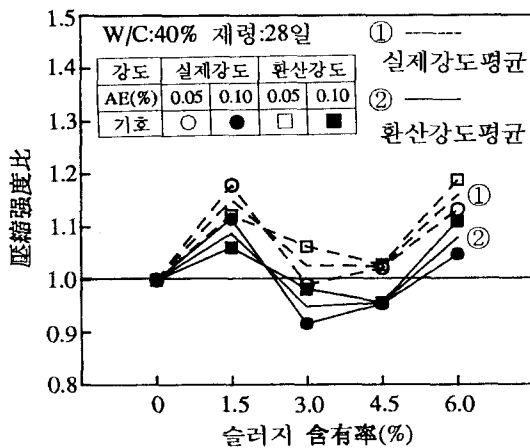


그림 7. 슬러지 함유율 변화에 따른 壓縮強度比
은 그림 8을 그림 6, 7의 壓縮強度比와 동일한
요령으로 비교한 것이다.

強度比로 7일재령에서는 슬러지 함유율 1.5%

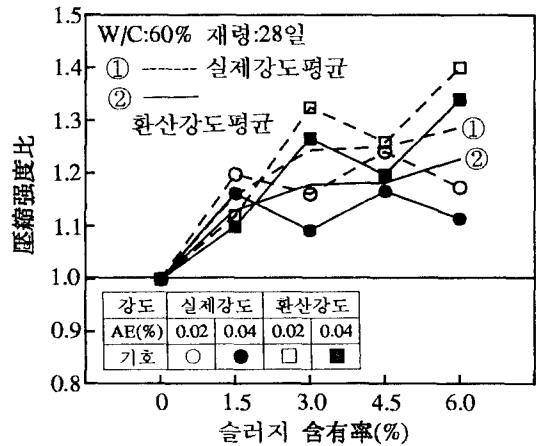


그림 10. 슬러지 함유율 변화에 따른 壓縮強度比
에서 1.0 이하로 저하하고 그 이후에서는 增加
하는 傾向으로 나타났으며, 28일 재령에서는 슬
러지 함유율이 增加할수록 強度도 계속 增進되

는 것으로 나타나 슬러지 含有率 6.0%는 약 20%의 強度 增進을 나타내고 있는데, 이는 W/C 40%보다 슬러지 첨가에 따른 壓縮強度 增進效果가 크게 나타나 미립분이 부족한 貧配合에서 슬러지의 添加가 強度 發現에 크게 기여하는 것으로 分析된다.

참고로 표 4는 그림 6, 7과 9, 10의 그림중 실선으로 표시된 동일 空氣量의 환산 壓縮強度比를 推定하기 위하여 空氣量과 壓縮強度의 관계를 分析한 것으로 空氣量이 1% 增加할때 W/C 40%의 경우 재령 7일에서는 8%, 28일에서는 5%의 強度 低下, W/C 60%의 경우에는 재령 7일에서 7%, 28일에서는 7%의 強度 低下를 나타내고 있어, 28일 재령의 경우 平均 약 6%의 強度 低下가 나타났다.

표 4. 空氣量 1% 增加時 壓縮強度의 變化量 및 推定回歸式

W/C (%)	材齡 (日)	回 歸 式	相 關 係 數	變 化 量
40	7	$F_c = -25.23 \cdot A + 314$	0.7395	-25kg/cm ² (7.96%)
	28	$F_c = -17.13 \cdot A + 373$	0.5178	-17kg/cm ² (4.56%)
60	7	$F_c = -13.58 \cdot A + 194$	0.7086	-14kg/cm ² (7.22%)
	28	$F_c = -19.57 \cdot A + 292$	0.8357	-20kg/cm ² (6.85%)

* F_c : 壓縮強度(kg/cm²), A : 空氣量(%)

3.2.2 反撥度 및 超音波速度

그림 11은 28일 반발도와 28일 壓縮強度間의 상관관계를 산점도로 나타낸 것으로, 이때 反撥度에서 推定하는 28일 壓縮強度의 回歸式은 그림에 제시된 바와 같고, 상관계수는 0.92로 비교적 양호하게 나타났다.

그림 12는 超音波速度와 28일 壓縮強度間의 상관관계를 산점도로 나타낸 것으로 回歸式은 그림에 제시된 바와 같은데, 相關係數는 0.51로 反撥도와 壓縮強度와의 相關係數보다 매우 낮은 것으로 나타났다.

3.2.3 乾燥收縮에 의한 길이변화

그림 13~16은 슬러지 含有率 變化에 의한 乾燥收縮 傾向을 상세히 분석하기 위하여 W/C별, AE제 添加量별로 구분하여 슬러지 含有率 變化에 따른 乾燥收縮率을 나타낸 그래프로 전반적인 傾向은 슬러지 含有率 3.0%까지는 乾燥收縮이 작게 나타나지만 그 이후에서는 미립분의 增

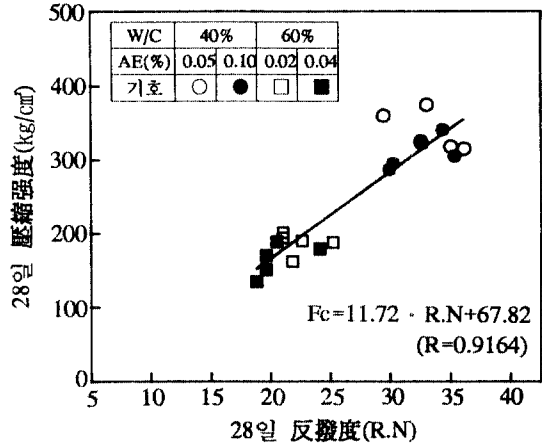


그림 11. 反撥도와 壓縮強度 관계

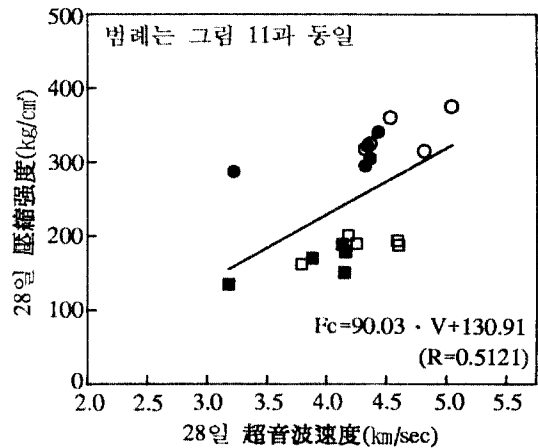


그림 12. 超音波速度와 壓縮強度 관계

가로 乾燥收縮이 약간 커지는 傾向으로 나타났다. AE제 添加量에 의한 乾燥收縮은 AE제 添加量이 많은 것이 미소하나마 收縮이 작게 나타났다. 또한, 재령 경과에 따른 건조수축 傾向은 W/C 60%보다 40%의 부배합에서 약간 큰 것을 알 수 있다.

IV. 結 論

레미콘 回收水를 콘크리트용 用水로 再活用하기 위한 콘크리트 適用實驗의 研究 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 굳지않은상태의 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 슬러지 含有率 1.5%까지 增加하다가 그 이후에서는 減少하는 것으로 나타났고, 空氣量 및 單位容積重量은 슬러지 미립분의 공극충진효과로 슬러지 含有率이 增加할수록 空氣量은 減少하고, 單位容積重量은 增加하는 것으로 나타났다.

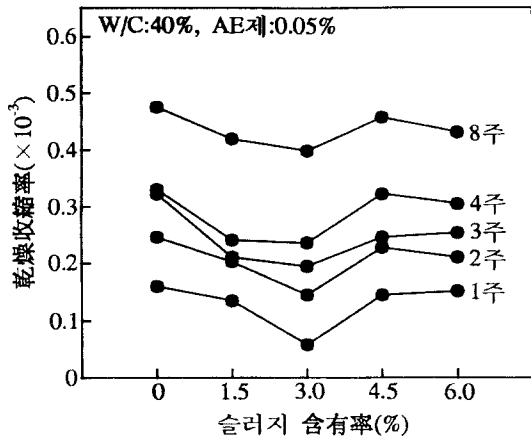


그림 13. 슬러지 함유율 변화에 따른 乾燥收縮率

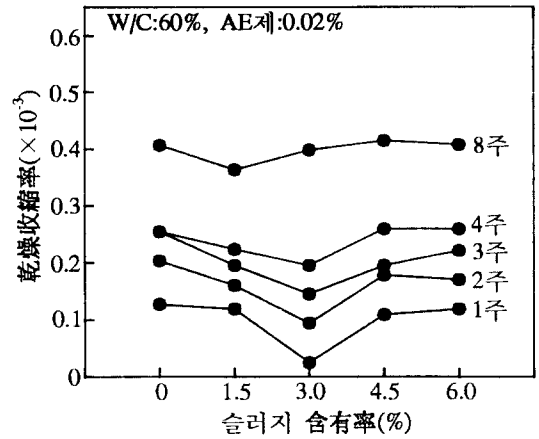


그림 15. 슬러지 함유율 변화에 따른 乾燥收縮率

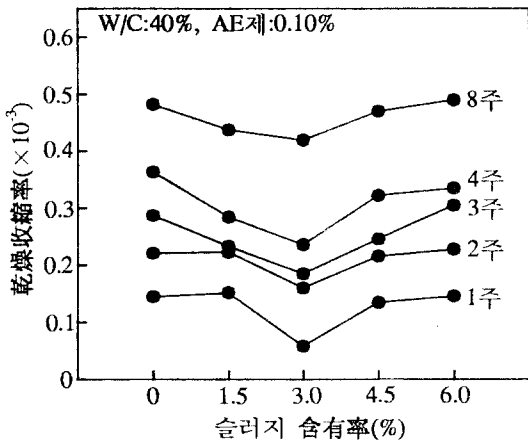


그림 14. 슬러지 함유율 변화에 따른 乾燥收縮率

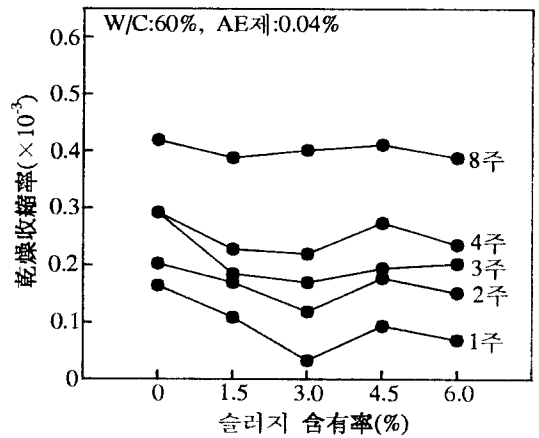


그림 16. 슬러지 함유율 변화에 따른 乾燥收縮率

2) 경화 콘크리트의 壓縮強度는 AE제 添加量이 적을수록, 슬러지 함유율이 클수록 증가하는데, 특히 슬러지 첨가에 따른 압축강도의 증가 경향은 W/C 40%보다 W/C 60%에서 크고, 28일보다 7일 재령에서 큰 것으로 나타났다.

3) 空氣量과 壓縮強度는 負相關 關係로 空氣量 1% 增加에 따른 壓縮強度 低下는 28일 재령에서 平均 6% 정도로 나타났다.

4) 反撥度 및 超音波速度와 壓縮強度 間의 상관성으로 反撥度는 0.92, 超音波速度는 0.51로 반발도의 경우가 양호하게 나타났다.

5) 乾燥收縮에 의한 길이변화는 슬러지 함유율 3.0%까지는 乾燥收縮이 작아지는 경향으로 나타나지만 그 이후에서는 미립분의 增加로 乾燥收縮은 커지고, AE제 添加量이 많은 것에서 空氣量의 영향으로 收縮이 작게 나타났다.

綜合的으로 슬러지 함유율은 前 研究의 모로

터 適用實驗에서는 단위 시멘트량에 대하여 4% 까지 사용하여도 強度에는 문제가 없었으나, 콘크리트의 適用에는 W/C 40%에서 2.0% 이하, W/C 60%에서는 특별한 문제점은 발견되지 않았으나 모르타 실험결과 및 건조수축 등을 고려할때 슬러지 固形分의 使用量은 4% 이하로 사용하는 것이 良好한 品質의 콘크리트를 생산할 수 있을 것으로 사료된다.

끝으로 本 研究는 韓國科學財團과 韓國 레미콘 工業協同組合의 協力研究의 일환으로 研究된 있음에 위 두 기관에 感謝한다.

參考文獻

- 1) 金基喆, 尹起源, 韓千求, 潘好鎔 : 콘크리트 用水로써 레미콘 回收水의 再活에 관한 研究(I) -모르타 適用實驗을 中心으로-, 韓國콘크리트學會 學術發表論文集, 제6권 제1호, 1994.