

레미콘 回收水의 콘크리트용 用水로써의 再活用に 관한 實驗的 研究 (I)

- 모르터 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(I)

- A Case Study on the Mortar -

○ 金 基 喆¹⁾ 尹 起 源²⁾ 柳 顯 紀³⁾ 韓 千 求⁴⁾ 潘 好 鎔⁴⁾
Kim, Gi Cheol Yoon, Gi Won Ru, Hyeun Gi Han, Cheon Goo Bahn, Ho Yong

ABSTRACT

This study is designed for analyzing the mechanical properties of cement mortar with kind of water, sludge content for the water, mixing proportion and open time of recycling water. And this study is aimed for presenting the reference data in practical use. For the results of this study, the flow properties of fresh mortar and the strength of compressive of hardened mortar is increased until the sludge content 4.5~6.0, but is decreased after the sludge content of that.

I. 序 論

레미콘 洗滌排水의 處理는 環境汚染 問題나 經濟的인 면에서 많은 어려움이 따르므로, 洗滌排水中 骨材를 제거한 回收水를 재사용하는 것은 이러한 문제점을 해결하기 위한 方法으로 國家的으로도 적극 장려되어야 할 事項이다.

그런데, 回收水를 再使用하면 回收水의 슬러지중에 포함된 시멘트 粒子나 잔骨材의 미립분은 시멘트 모르터나 콘크리트의 貧配合에 사용될 경우 骨材間 空隙 충전 效果가 期待되고, 또한 슬러지의 放置時間이 짧은 回收水의 경우 未水和 시멘트는 強度增進에 寄與할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 레미콘 生産工場에서 發生되는 다량의 레미콘 回收水는 정상적인 稼動 條件下에서 12~18시간 이내에서 全量 使用하게 된다.

그러므로 本 研究에서는 回收水를 레미콘 用水로써 再活用하기 위한 實驗 研究의 기초 단계로써 回收水의 제반 조건에 따른 모르터의 굳지 않은 狀態의 性質, 力學的 特性 및 耐久性 등의

特性에 대하여 究明함으로써 레미콘 回收水의 效率的 使用에 한 참고자료를 提示하고자 研究 目的하였다.

II. 實驗 計劃 및 方法

2.1 實驗 計劃

本 研究의 實驗計劃은 표 1과 같이 I, II시리즈로 構成되어 있다. 먼저, I 시리즈의 實驗計劃은 配合事項으로써 使用用水를 중류수, 상등수 및 수도수의 3종류와 수도수에 슬러지 含有率 1.5%, 3.0%, 4.5%, 6.0%, 9.0%(單位 시멘트 量에 대한 含有率은 0.8%, 1.6%, 2.5%, 3.3%,

表 1. 實驗計劃

실험 시리즈	配合事項			實驗事項	
	使用 用水	放置 時間 (hr)	모르터 配合比	Fresh mortar	Hardened mortar
I	중류수 상등수 수도수 1.5% 3.0% 4.5% 6.0% 9.0%	12	1:3	플로우 치	압축강도: 3일, 7일, 28일에서 측정 동결융해 시험
II	3.0%	3 6 12 24	1:1 1:3 1:5		투수시험 열전도시험

- 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, 忠州 産業大 副教授
淸州大 大學院 博士課程
- 4) 正會員, 淸州大 教授, 工博

5.2%)의 단계로 變化시킨 8개水準으로 하였고, 回收水 放置時間은 12時間, 모르터 配合比는 1:3(W/C=55%)의 각각 1개水準으로 하여, 슬러지 含有率 3.0% 配合條件에서의 플로우치가 150±10이 되도록 配合設計하여 全 配合에 同一하게 適用하였다.

또한, II시리즈의 實驗計劃은 配合事項으로 모르터 배합비(시멘트:모래)는 1:1, 1:3 및 1:5의 3개水準으로 하였고, 使用用水로는 슬러지 固形分量을 3%로 한 수도수 1개水準이었으며, 제조된 使用用水의 放置時間을 3, 6, 12, 24시간의 4개水準으로 實驗計劃하였는데, 각 모르터 배합비에서 放置時間 12시간의 경우 모르터 플로우치가 150±10이 되도록 配合設計하여 全 配置에 동일하게 適用하도록 하였다.

測定項目으로는 굳지않은 狀態의 모르터에서 플로우치를 測定하도록 하였고, 硬化 狀態에서는 材齡 3, 7, 28일에서 壓縮強度 特性을 分析하도록 計劃하였다. 또한, I시리즈의 경우에만 凍結融解 抵抗性과 透水特性 및 熱傳導率 特性 試驗을 실시하도록 實驗計劃하였다.

2.2 使用 材料

本 實驗에 使用한 시멘트는 國內產 H사의 普通 포틀랜드 시멘트를 使用하였고(표 2참조), 筋骨材는 忠北 청원군 미호리產 강모래를 使用하였다.(표 3참조)

물은 I시리즈에서는 증류기를 통하여 1차 증류된 증류수와 既往의 研究結果를 基礎로 實驗室에서 製造한 洗滌排水를 24時間 침전후 채취한 상등수 및 수도수에 슬러지 含有率을 實驗計劃과 같이 5개水準으로 變化시켜 제조하고 12시간 放置한 후 本 實驗에 使用하였고, II시리즈의 使用用水는 슬러지를 수도수에 3%의 比率

表 2. 시멘트의 物理的 性質

比重	比表面積 (cm ² /g)	Auto-Clave (%)	凝結時間 (分)		壓縮強度 (kg/cm ²)		
			初結	終結	3日	7日	28日
3.15	3,456	0.176	260	365	188	243	341

表 3. 筋骨材의 物理的 性質

比重	吸水率 (%)	F.M.	單位重量 (kg/m ³)	空隙率 (%)	粒形判定 實積率(%)
2.56	2.38	2.94	1,553	43.4	54.2

이 되도록 충분히 교반하여 3, 6, 12, 24시간 放置後 實驗에 使用하였는데 단, 슬러지 固形分은 既存의 文獻을 참고하여 모래 微粒粉과 시멘트의 比率를 1:4로 混合하여 使用하였다.

2.3 實驗 方法

本 研究의 實驗方法은 굳지 않은 狀態의 모르터 實驗으로 플로우値는 KS L 5111, 硬化後의 強度實驗으로 壓縮強度는 KS L 5105에 의거하여 實施하였고, 凍結融解試驗은 KS F 2443의 規定에 準하여 온도를 -18℃로 水中凍結과 +4℃로 水中融解하는 試驗을 4시간 1사이클로 반복하여 相對動彈性係數 및 耐久性指數를 구하였다.

透水試驗은 KS F 2451에 準하여 透水率을 구하였고, 熱傳導率 測定은 國內 S사의 STC-600 C 熱傳導率 測定器를 利用하여 KS F 2264에 準하여 測定하였다.

그 외의 모든 實驗을 KS規格에 의거 標準의인 方法으로 實施하였다.

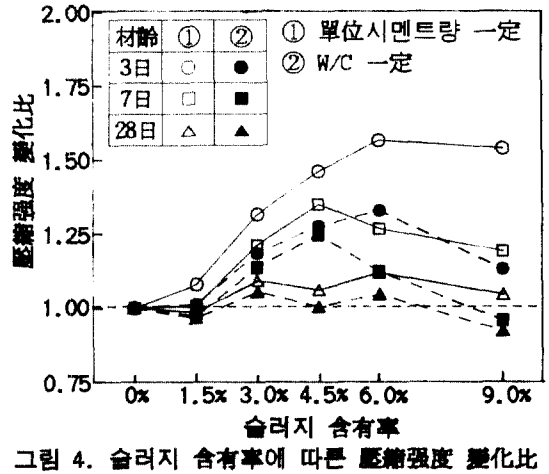
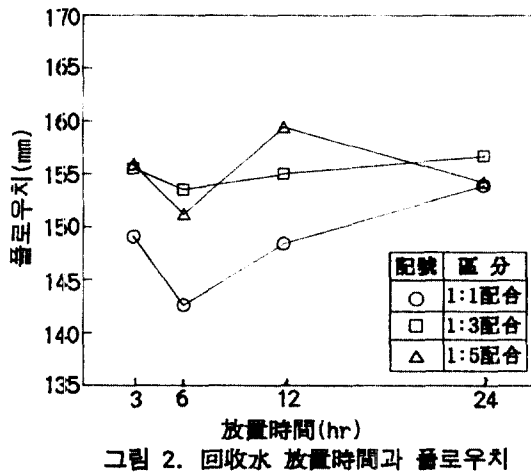
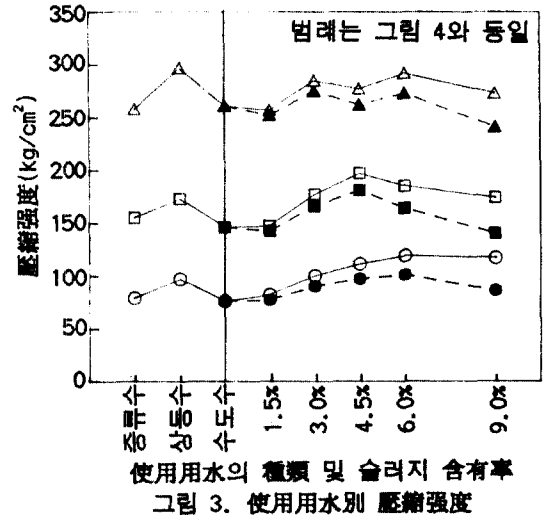
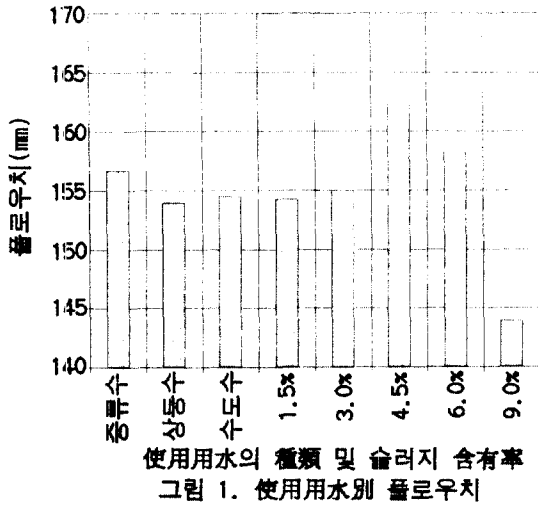
III. 實驗 結果 및 分析

3.1 아직 굳지않은 모르터의 特性

그림 1은 使用用水 및 슬러지 含有率 變化에 따른 플로우치를 막대그래프로 比較한 것이고, 그림 2는 아직 굳지않은 狀態에서의 모르터 配合 및 回收水 放置時間에 따른 플로우치를 比較한 그래프이다.

使用用水에 따른 플로우치로써 증류수와 상등수 및 슬러지 含有率 0%, 1.5%, 3.0%의 수도수는 大同小異한 플로우치를 나타냈으나, 슬러지 含有率 4.5% 및 6.0%는 슬러지 含有率 3.0%에 비하여 2.4~5.0% 정도 增加하였고, 9.0% 添加할 경우는 오히려 6.9% 정도 減少하는 것으로 나타났다.

이의 原因으로 먼저 本 實驗에서의 配合은 슬러지의 量을 水量에 包含시킨 것으로 엄밀하게는 슬러지 含有率에 따른 W/C 減少가 있었으나, 슬러지 含有率 4.5%까지는 슬러지 含有率이 增加할수록 모르터의 公극충진 및 불베어링 作用이 슬러지 含有에 따른 W/C 減少要因보다 크게 作用하므로써 流動性을 增大시킨 結果로 보여진다. 또한, 슬러지 含有率 6.0%이후는 슬러지의 增加로 인한 公극충진이나 불베어링 作用보다



W/C 低下要因이 크게 作用하여 플로우치가 減少하는 傾向이나 슬러지를 添加하지 않은 경우와 比較할때 슬러지 含有率 6.0%(단위 시멘트량에 대하여는 3.3%)까지는 良好한 콘시스턴시를 나타내고 있었다.

또한, 回收水の 放置時間別로는 각 配合에서 공히 6시간 放置한 回收水를 사용한 것이 플로우치가 最小值를 나타내고 있다. 이는 보통 포틀랜드 시멘트의 경우 凝結反應이 4時間부터 8時間 사이에 이루어지므로 이에 의한 流動性 低下要因에 의하여 플로우치가 減少된 것으로 分析된다.

3.2 壓縮強度 및 強度比 特性

그림 3은 使用용水の 種類와 슬러지 含有率에 따른 壓縮強度를 比較한 그래프이다.

먼저, 그래프內의 수직 분할선 左側에 플로우치한 使用용水 種類에 따른 強度特性으로 상등수가 증류수나 수도수를 使用한 경우보다 각 材齡 공히 20~50kg/cm²정도 큰 것으로 나타나 상등수를 使用함에 있어 별다른 問題點은 없을 것으로 分析된다.

또한, 슬러지 含有率 變化에 따른 強度特性은 수직 분할선 右側에 플로우치 하였는데, 실선으로 表示된 것은 단위 시멘트량을 一定하게 유지하고 슬러지를 單位水量에 포함시켜 實驗 分析한 것이고, 점선으로 表示된 것은 실선의 경우가 슬러지 含有率에 따라 W/C가 微小하나마 작아지므로 W/C가 一定한 狀態에서 比較하기 위하여 同一한 W/C인 경우로 假定한 換算 壓縮強度값을 나타낸 것이다.

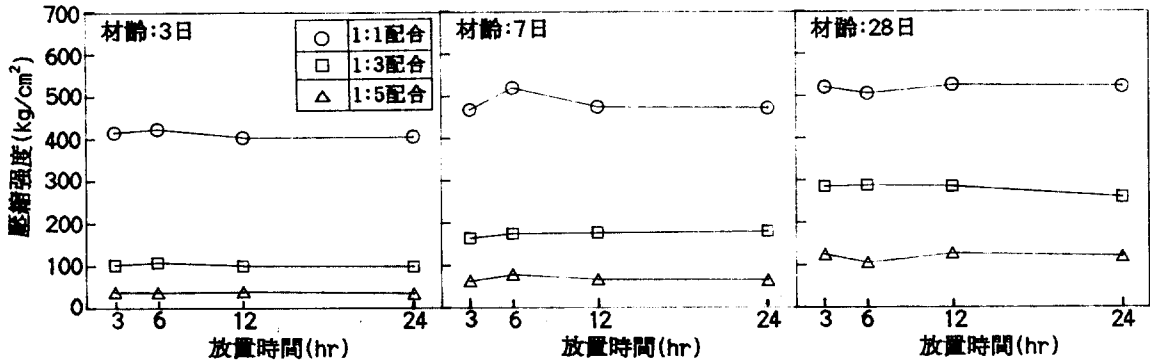


그림 5. 回收水 放置時間과 모르티 配合比에 따른 壓縮強度

全般的인 傾向으로 슬러지 固形分을 첨가하지 않은 수도수를 基準으로 할때 및 W/C를 일정하게 換算한 경우의 強度特性은 슬러지 固形分 含有率에 增加할수록 미소한 차이는 있으나 壓縮強度는 增加하다가 슬러지 含有率 4.5~6.0%(單位 시멘트量에 대하여는 2.5~3.3%)를 기점으로 다시 低下하는 포물선 傾向을 나타내고 있다.

이의 原因으로 슬러지 含有率 4.5~6.0%까지의 強度 增進은 슬러지 固形分의 공극 충전 效果로 分析되며, 그 以後에서는 슬러지 固形分이 오히려 부착 저해요인으로 作用하여 強度 低下가 나타난 것으로 分析되어진다.

그림 4는 슬러지를 添加하지 않은 경우의 強度를 1.0으로 할때 슬러지 含有率 變化에 따른 壓縮強度의 比率을 比較한 그래프이다.

全般的인 傾向은 壓縮強度는 4.5~6.0%까지 增加하다가 점차 減少하는 傾向으로 나타났다. 또한, 單位 시멘트量이 一定하고 슬러지 固形分 量을 單位水量에 포함시킨 경우는 슬러지 含有率 9.0%(單位 시멘트量에 대하여는 5.2%)까지도 添加하지 않은 경우보다 큰 것으로 나타났고,

同一 W/C로 換算한 경우는 약 7.0% 이후에서 添加하지 않은 경우보다 低下하는 것으로 나타났다.

슬러지를 添加하지 않은 경우의 強度보다 低下되지 않는 슬러지 含有率은 7.0%(單位 시멘트量에 대하여는 3.9%)程度로 나타났으며, 슬러지 含有率 9.0% (單位시멘트량에 대하여는 5.2%)의 경우라도 添加하지 않은 경우의 壓縮強度를 90~95%정도 발휘하는 것으로써 本 研究의 範圍 및 條件內에서 슬러지 固形分 含有率은 單位시멘트量에 대하여 4%정도까지 使用해도 無害한 것으로 밝혀졌다.

그림 5는 모르티 配合比 및 回收水 放置時間에 따른 壓縮強度를 재령별로 比較한 그래프이다. 전반적인 傾向으로는 6~12시간 放置한 것에서 약간의 강도 增進을 보이고, 24시간에서 다시 減少되는 傾向으로 材齡이 경과할수록 크게 나타났고, 配合比別로는 W/C가 작은 1:1배합에서 당연히 높은 強度를 나타내며, 時間經過別로는 6時間 放置한 回收水를 중심으로 그 이전과 이후에는 減少하는 傾向으로 나타났다.

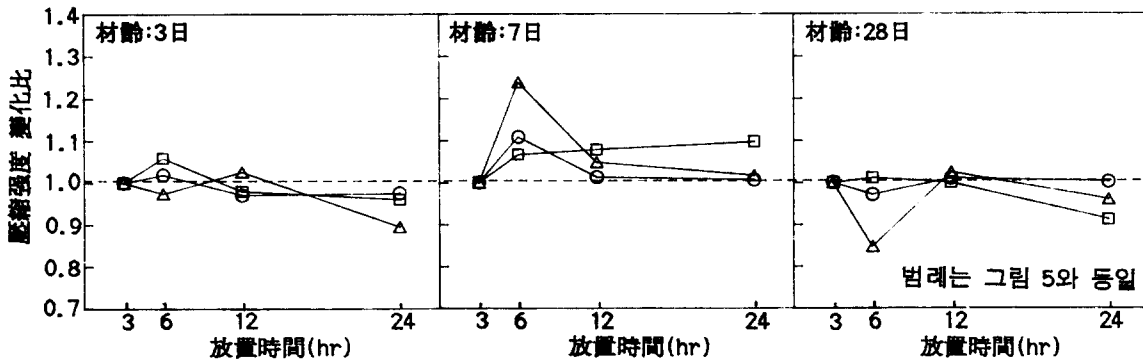


그림 6. 回收水 放置時間과 모르티 配合比에 따른 壓縮強度 變化比

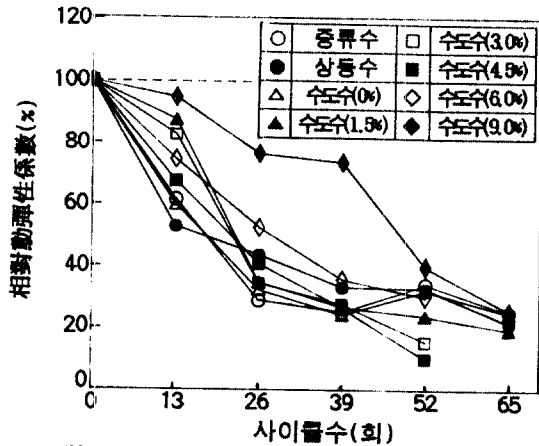


그림 7. 凍結融解作用에 따른 相對動彈性係數

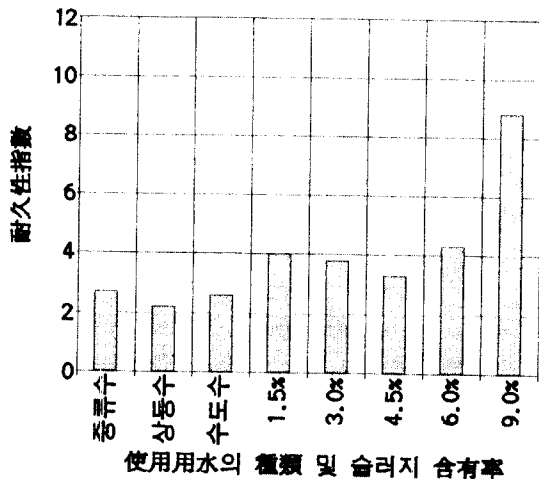


그림 8. 使用用水別 耐久性指數

그림 6은 回收水を 3시간 방치한 것의 強度를 1.0으로 하고 이에 대하여 回收水 放置時間과 모르타르 配合比에 따른 強度 變化比를 材齡別로 비교한 것이다.

壓縮強度 變化比는 그림에서와 같이 材齡 및 放置時間 經過에 따라 增加와 減少가 교차하는 變動 傾向을 보이지만, 3日 및 7日 材齡에서의 6時間 방치한 경우에는 미수화 시멘트의 水和反應 作用으로 각 配合에서 強度 增進을 나타내지만 28日 材齡에서는 오히려 저하하는 傾向으로 나타났으며 24시간 放置한 것에서는 1보다 작은 값이 나타내고 있어 큰 값의 強度 低下는 아닐 지라도 回收水を 再使用할 경우는 가능한한 12시간 이내 全量 利用하는 노력이 要求되었다.

3.3 凍結融解試驗 特性

그림 7은 使用用水의 種類 變化와 耐凍害성과

의 關係를 凍結融解 사이클별로 相對動彈性係數를 비교한 것이고, 그림 8은 相對動彈性係數 실험결과로부터 耐久性指數를 구하여 使用用水別로 變化 傾向을 나타낸 것이다.

전반적인 傾向으로 相對動彈性係數는 10~20 사이클을 전후로 하여 凍害判定의 最低계수인 60%이하로 되었는데, 슬러지 含有率 0%인 수도수와 증류수 및 상등수는 약간의 차이는 있으나 거의 유사한 傾向으로 凍結融解作用에 의하여 動彈性係數가 작아져 점차 彈性이 소실되어 진다. 슬러지 含有率 變化量에 의하여는 슬러지 含有率 1.5%, 3.0%의 경우 凍結融解作用 초기에는 슬러지 含有率 6.0%보다 動彈性係數가 크게 나타나지만, 凍結融解作用이 진행될수록 動彈性係數가 작게 나타나는데, 전반적으로 슬러지 含

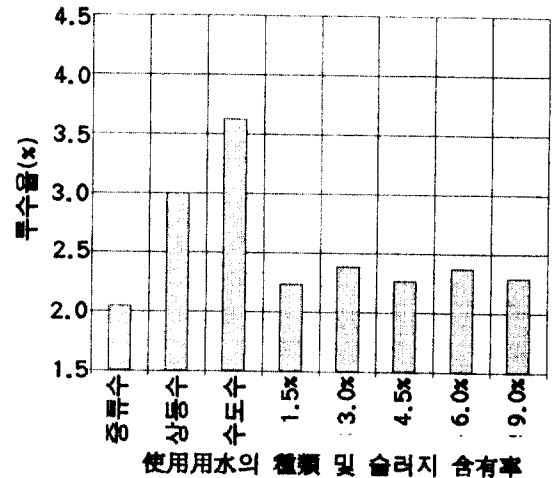


그림 9. 使用用水別 透水率

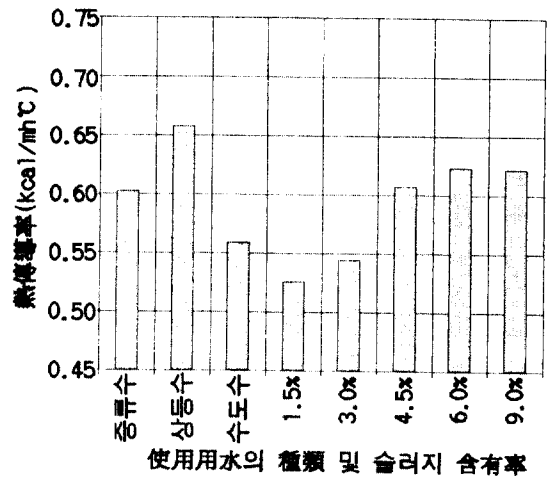


그림 10. 使用用水別 熱傳導率

有率 0%인 수도수보다는 슬러지 함유率 증가에 따라 動彈性係數가 크게 나타났다. 또한, 슬러지 함유率 9.0%인 수도수의 경우는 相對動彈性係數가 최초계수인 60%가 되는 시점이 44사이클로 되며, 그림 8에서의 耐久性指數도 8.9로 가장 크게 나타났다.

이의 원인으로서는 슬러지 첨가량이 증가할수록 공극충진의 效果로 인하여 凍結融解作用의 영향 인자인 큰 갭힌 空氣量을 감소시켜 耐久性이 증대된 것으로 分析되어진다.

3.4 透水 및 熱傳導 特性

그림 9는 使用用水의 種類 變化에 따른 透水率을 비교한 것으로 증류수 및 상등수는 특별한 원인은 알 수 없으나 슬러지 함유率 0%인 수도수보다 1.6%, 0.6% 정도 透水率이 적게 나타났다. 또한, 슬러지 함유率 변화에 따른 透水特性은 슬러지 함유率이 증가할수록 透水率이 적게 나타나는 경향인데 이는 슬러지 고형분의 공극충진효과에 기인한 것으로 分析되어진다.

그림 10은 전과 동일한 요령으로 熱傳導率을 비교한 것으로 상등수를 사용한 것이 0.658kcal/mh²°C로 가장 크게 나타났다. 슬러지 함유率 변화에 따른 熱傳導 特性은 슬러지 함유率이 증가할수록 供試體 내부의 공극충진이 증대되어 열전도가 전반적으로 커지는 경향으로 나타났는데, 슬러지 함유率 6.0%에서 슬러지 함유率 0%보다 10%정도 熱傳導率이 크게 나타났다.

IV. 結 論

레미콘 回收水의 再利用에 있어 슬러지 함유率, 모르터 配合比 및 回收水의 放置時間 등에 따른 모르터의 諸般 特性을 究明하고자 實驗研究한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 상태에서의 플로우치는 슬러지 固形分의 添加에 따라 공극충진 효과와 불베어링 作用 및 W/C의 감소 要因의 複合으로 4.5~6.0%(단위 시멘트량에 대하여는 2.5~3.3%)까지는 增加하다가 그 이상에서는 減少하였으며, 또한 回收水의 放置時間 經過에 따라서는 시멘트의 凝結時間 影響으로 플로우치가 일시적으로 감소하는 것외에는 回收水의 放置時間 經過가 모르터의 特性에 거의 影響을 주지 않는 것으로 나타났다.

2) 壓縮強度 特性으로 상등수는 증류수나 수도수에 비하여 별다른 문제점이 없는 것으로 나타났다. 슬러지 함유率에 따라서는 슬러지 함유率 4.5~6.0%까지는 增加하다가 그 이상에서 減少하는 포물선 傾向으로, 強度 變化比에서 推定할 경우 슬러지 함유率 7.0%(單位 시멘트량에 대하여 4%)까지는 強度 低下가 없는 것으로 밝혀졌다.

3) 回收水를 再利用함에 있어 回收水의 放置時間이 24시간 程度 經過하게 되면 壓縮強度는 2% 정도의 減少를 나타내어 最上의 모르터 品質을 維持하기 위하여는 發生된 回收水를 가능한 12시간 以內에 使用하도록 하는 努力이 要求되었다.

4) 凍結融解試驗에 의한 耐久特性은 증류수와 상등수, 수도수는 거의 유사한 傾向으로 나타났고, 슬러지 함유率이 증가할수록 相對動彈性係數는 커져 슬러지량이 增加할수록 공극충진 효과로 耐久性은 양호하여 지는 것으로 나타났다.

5) 透水率은 使用用水의 종류에 따라 증류수가 적게 나타났고, 슬러지 함유率이 증가할수록 공극충진 효과로 透水率이 작게 나타났다.

6) 熱傳導率은 상등수에서 0.658kcal/mh²°C로 가장 컸으며, 슬러지 함유率이 증가할수록 공극충진에 기인하여 熱傳導도 커지는 傾向으로 나타났다.

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되었음에 위 두기관에 感謝하고, 또한 凍結融解試驗 機를 사용할 수 있도록 협조해 준 중부실업주식 회사에도 감사한다.

參 考 文 獻

1) 尹起源, 柳顯紀, 韓千求, 潘好鎔 : 레미콘 回收水의 콘크리트용 用水로써의 再活用に 관한 基礎的 研究 -發生量 및 實態調査를 中心으로-, 大韓建築學會學術發表論文集, 第 13卷 第 1號, pp. 409~412, 1993.

2) 日本 콘크리트 工學協會 : 回收水 研究 委員會 報告, 1975-3.