

레디믹스트 콘크리트 工場에서 발생하는 廢水의 再活用に 관한 考察

文 翰 英*
申 承 鎬**
崔 在 眞***

*漢陽大 土木工學科 教授
**仁川專門大 土木科 副教授
***檀國大 土木工學科 講師

1. 머리말

레디믹스트 콘크리트 공장의 소음, 분진, 진동 및 플랜트, 운반차의 세척수 등의 排水는 公害의 要因이 되기도 한다.

이들 公害와 관련되는 요인중 레디믹스트 콘크리트(이하 레미콘)공장에서 발생하는 廢水를 回收하여 再活用하기 위한 연구와 관련되는 논문, 자료들을 검토하고자 한다.

레미콘 工場에서 믹서나 레미콘 트럭에 잔류한 콘크리트를 씻은 물 속에는 시멘트 입자 및 골재 중의 微粒子들이 침전하여 슬러지가 생긴다. 이 슬러지는 汚泥로 취급해야 하므로 보면, 폐기시에는 “폐기물 처리 및 청소에 관한 법률”이 정하는 바에 따른 관리와 설비가 요망된다.

일본의 경우 레미콘 工場은 특정사업장으로 지정되어 레미콘 工場에서 배출되는 물을 公共用水域에 배출할 때는 「水質汚濁防止法」에 규제를 받게 되며 公共下水道에 배출시에는 「下水道法」에 의하여 排水의 水質基準이 정해져 있다고 한다.⁽¹⁾

그런데 주지하는 바와 같이 레미콘 工場에서 발생하는 排水는 pH 11~13정도의 높은 알칼리성을 나타내며 그 양도 콘크리트를 혼합하는데 사용되는 水量과 거의 같은 양으로서⁽²⁾ 이들 排水를 그대로 하천에 방류하게 되면 河川水의 pH값을 크게 높이게 되어 上水道用水로 부적합하게 할 뿐만 아니라 토질을 알칼리성으로

바꾸어 놓으며 벼작물 및 魚族에게도 큰 피해를 줄 수 있다. 그러므로 이 알칼리성이 높은 排水를 中和處理하기 위하여 황산, 염산 및 탄산가스 등이 이용되기도 하는데 이때 비교적 많은 비용이 소요된다고 한다.⁽³⁾

최근, 레미콘 工場에서 排水의 中和處理에 소요되는 비용을 절감하고 자원을 유효하게 이용하기 위하여 폐수를 回收하여 再利用하기 위한 연구가 활발하며 콘크리트나 鋼材에 나쁜 영향을 미치지 않을 경우 레미콘 工場의 폐수를 콘크리트용 混合水로 사용할 수 있도록 일본 公업규격을 개정하였으며⁽⁴⁾, 일본레미콘 工業組合連合會가 레미콘 工場의 使用水에 대한 설문조사결과에 따르면⁽⁵⁾ 2669개 工場 가운데 약 74%가 폐수를 다시 이용하고 있는 것으로 나타났다. 그뿐만 아니라 레미콘 工場에서 발생한 폐수를 사용할 때 시멘트 증량에 대한 슬러지 固形分率 3% 이내에서는 콘크리트의 配合를 적절히 보정하므로써 콘크리트의 품질에 나쁜 영향을 미치지 않는다는 연구보고가 있으며,⁽⁶⁾ 폐수의 이용에 따른 경제성에 대한 분석도 발표되고 있다.⁽⁵⁾

이상과 같은 연구실적을 고려해 볼 때 레미콘 工場에서 발생하는 排水를 방류할 것이 아니라 回收하여 資源으로 再利用하므로써 資源節約, 公害問題에 一助를 한다는 측면에서 배수의 재이용에 관해 연구검토할 필요가 있다고 생각된다.

본 원고에서는 레미콘 공장에서 발생하는 排水의 化學成分, 排水가 콘크리트의 諸性質에 미치는 영향 및 回收設備, 再利用方案 등에 대하여 고찰하였다.

2. 廢水의 化學成分

레미콘 공장에서 생긴 폐수를 靜置시키면 맑은 上澄水는 윗부분에 뜨게 되고 시멘트, 골재 등의 微粒分을 포함한 슬러지수는 아래쪽으로 분리된다. 이때 上澄水는 시멘트의 Ca^{2+} , K^+ , Na^+ 및 Mg^{2+} 등의 수산화물이온(OH^-)을 많이 포함하고 있기 때문에 수소이온농도 pH11~13의 높은 알칼리성을 나타낸다. 한편 슬러지는 시멘트의 水和物, 未水和物, 골재 및 混和材料의 鑛物質微粉末을 많이 포함한다.

레미콘 공장의 폐수를 채취한 후 上澄水와 슬러지固形分으로 분류하여 화학분석한 결과 표-1 및 표-2이다.⁽⁷⁾

표-1 上澄水의 化學分析結果

성분	pH	증발잔류물 (%)	CaO (ppm)	MgO (ppm)	Na ₂ O (ppm)	K ₂ O (ppm)
최대값	13.0	0.506	1580	52	542	524
최소값	10.4	0.045	46	0	29	16
평균값	12.4	0.207	870	3.5	153	104

표-1에서 알수 있듯이 上澄水의 pH는 평균 12.4정도이며, 上澄水가 증발한 다음 남은 殘留物은 주로 용해되어 있는 수산화칼슘으로서 그 양은 평균 0.21% 정도로 나타났다.

한편 표-2에서 슬러지固形分の 化學分析結果를 보면 CaO와 SiO₂의 함유량이 많으며 각

각 40.7% 및 17.4%에 달하고 있음을 알 수 있다. 그리고 1000°C에서의 強熱減量은 평균 17%의 높은 값이며 不溶解殘分도 12.8%로 나타났다. 이때의 強熱減量分은 시멘트水和物에 의한 結合水와 이산화탄소이며 不溶解殘分의 대부분은 골재에 의한 것으로 판단된다.

3. 回收水를 혼합한 콘크리트의 諸性質

콘크리트 믹싱용 混合水로 수도물과 같은 깨끗한 물을 사용한 콘크리트와 廢水를 처리한 回收水를 사용한 콘크리트의 제성질을 비교하고자 한다.

3-1. 굳지 않은 콘크리트의 凝結과 블리딩

수도물, 上澄水 및 슬러지固形分이 섞인 슬러지수를 콘크리트 혼합수로 사용한 콘크리트의 凝結時間과 블리딩률을 나타낸 것이 그림-1 및 그림-2이다.^(6, 8)

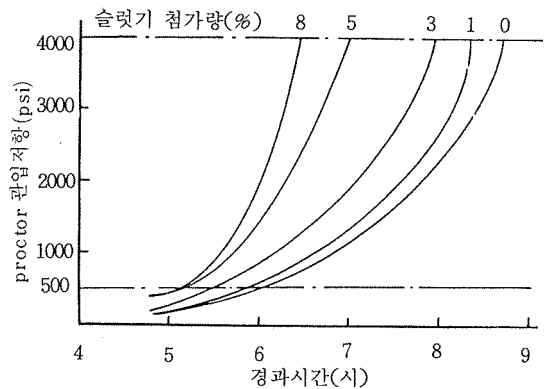


그림-1 上澄水, 슬러지수를 혼합수로 사용한 콘크리트의 응결시간 (A)

표-2 슬러지固形分の 化學分析結果

성분	화 학 성 분 (%)												비 중 110°C 건조후
	ig. loss		insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	total	
	600°C	1000°C											
최대값	27.8	31.9	30.4	23.0	9.4	3.4	46.9	3.2	2.7	0.60	0.30	100.6	2.46
최소값	8.2	11.5	3.8	8.5	3.5	1.6	21.3	0.8	0.6	0.08	0.00	99.3	1.96
평균값	13.0	17.0	12.8	17.4	5.6	2.9	40.7	1.6	1.5	0.23	0.18	-	2.15

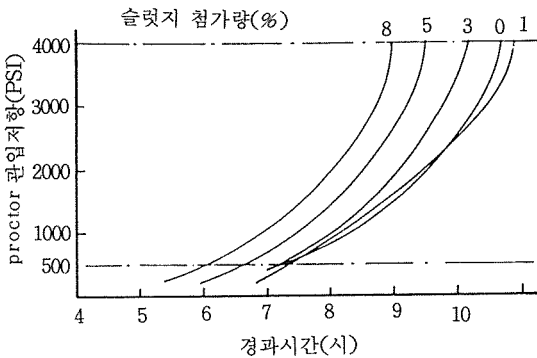


그림 -1 上澄水, 슬릿지수를 혼합수로 사용한 콘크리트의 응결시간 (B)

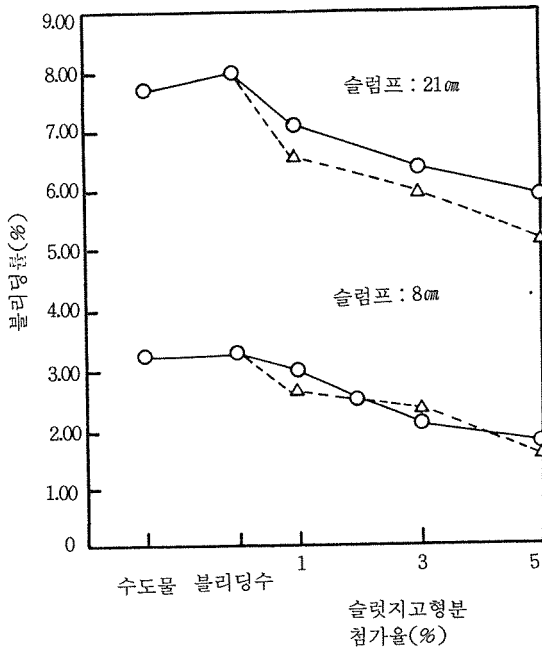


그림-2 上澄水, 슬릿지수를 혼합수로 사용한 콘크리트의 블리딩률

먼저 그림-1에서 上澄水を 혼합수로 사용한 콘크리트의 응결시간은 수도물을 혼합수로 사용한 콘크리트와 거의 같음을 알 수 있으나 시멘트 중량에 대한 슬릿지固形分の 첨가비율이 증가하는데 따라 초결, 종결 다같이 빠르게 나타났다.

슬릿지固形分の 첨가율 3% 이내에서는 응결시간이 20~30분 정도 단축되었으나 3%를 넘

으면 응결시간이 크게 단축되기 때문에 레미콘 수송시 또는 콘크리트 타설시에 나쁜 영향을 미칠우려가 있다.⁽⁹⁾

한편 그림-2의 블리딩 시험결과에서도 上澄水を 혼합수로 사용한 콘크리트의 블리딩률은 수도물을 혼합수로 사용한 콘크리트와 거의 같거나 약간 크게 나타났으나 슬릿지固形分の 첨가율이 증가하는데 따라 블리딩률이 감소됨을 알 수 있으며 슬럼프 21cm의 묽은반죽 콘크리트에서 감소현상이 더욱 크게 나타났다.

그래서 슬릿지固形分の 첨가율이 3%이상되는 슬릿지수를 혼합수로 전량 사용한 콘크리트는 블리딩률이 적고 응결시간이 빨라지기 때문에 콘크리트 치기후 콘크리트 표면마무리 시기에 유의하여 시공할 필요가 있겠다.

3-2. 경화한 콘크리트의 強度

(1) 壓縮強度

上澄水 또는 슬릿지수를 혼합한 콘크리트의 강도를 측정된 시험결과를 소개하면 上澄水만을 혼합수로 사용한 콘크리트의 경우에는 압축강도에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 보고

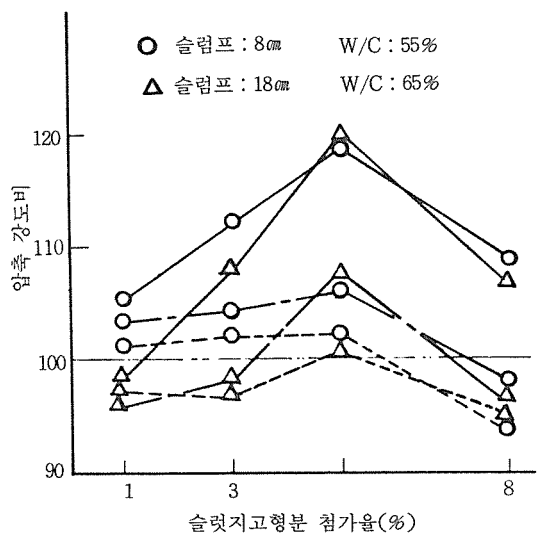


그림-3 슬릿지 첨가량과 압축강도비와의 관계

되고 있다.^(8, 10) 슬릿지수를 사용한 경우에는 같은 워커빌리티를 얻기 위하여 보다 많은 單位水量이 필요하게 되는데, 그림-3을 보면⁽⁹⁾ 물시멘트비가 같은 경우 슬릿지固形分の 첨가량이 5% 이내이면 재령 28일 이후의 압축강도는 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그러나 슬릿지固形分을 5%정도 첨가하는데 따라 초기의 압축강도가 크게 증가하는 경향을 볼 수 있는데 이러한 현상은 슬릿지의 대부분이 시멘트粒子的 水和物로서 구성되어 있음에 의한 영향으로 생각된다.

(2) 引張強度

슬릿지固形分の 첨가량과 콘크리트 인장강도와의 관계를 나타낸 것이 그림-4이며,⁽⁹⁾ 슬릿지를 첨가하지 않은 콘크리트의 인장강도를 100으로 취한 경우로서 압축강도의 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 콘크리트의 물시멘트비를 일정하게 정하면 슬릿지의 첨가가 인장강도에 악영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

또한 압축강도의 인장강도에 대한 비는 9~13 정도임을 알 수 있다.

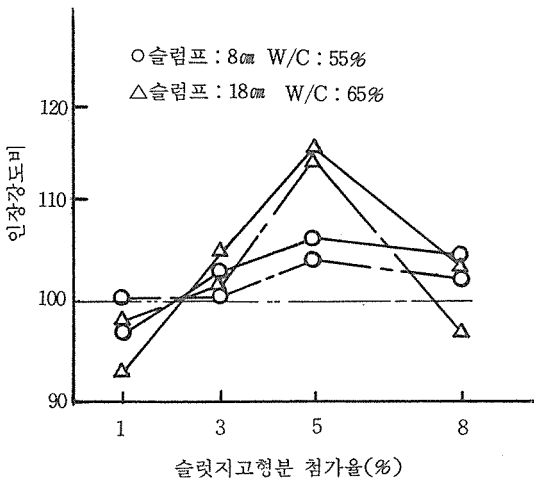


그림-4 슬릿지 첨가량과 인장강도비와의 관계

(3) 彈性係數

슬릿지固形分の 첨가량과 콘크리트 탄성계수

와의 관계를 슬릿지를 사용하지 않은 콘크리트의 탄성계수 100에 대하여 정리한 것이 그림-5이다.⁽⁹⁾

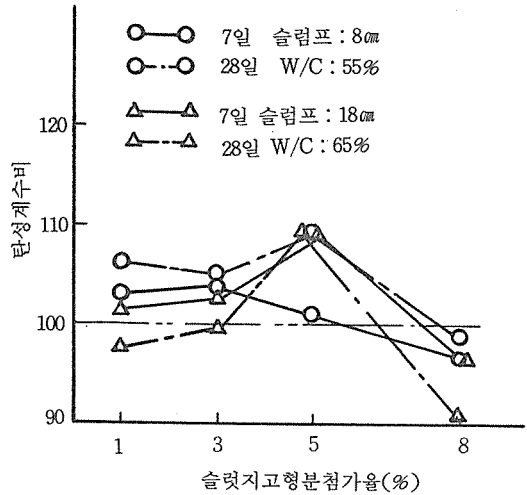


그림-5 슬릿지 첨가량과 탄성계수비와의 관계

이 그림에서 슬릿지固形分の 첨가량 8%에서 탄성계수가 저하되었으나 첨가량 5%에서는 다소 탄성계수가 증가되는 결과를 나타내고 있다.

3-3. 경화한 콘크리트의 乾燥收縮

슬럼프 18cm의 콘크리트를 13주 동안 건조시키며 실시한 시험결과를 정리한 것이 그림-6이다.⁽⁹⁾

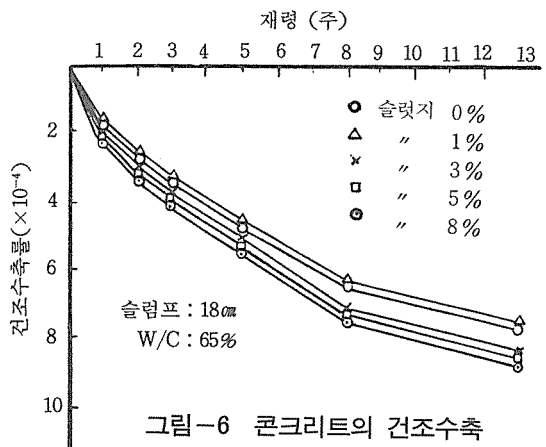


그림-6 콘크리트의 건조수축

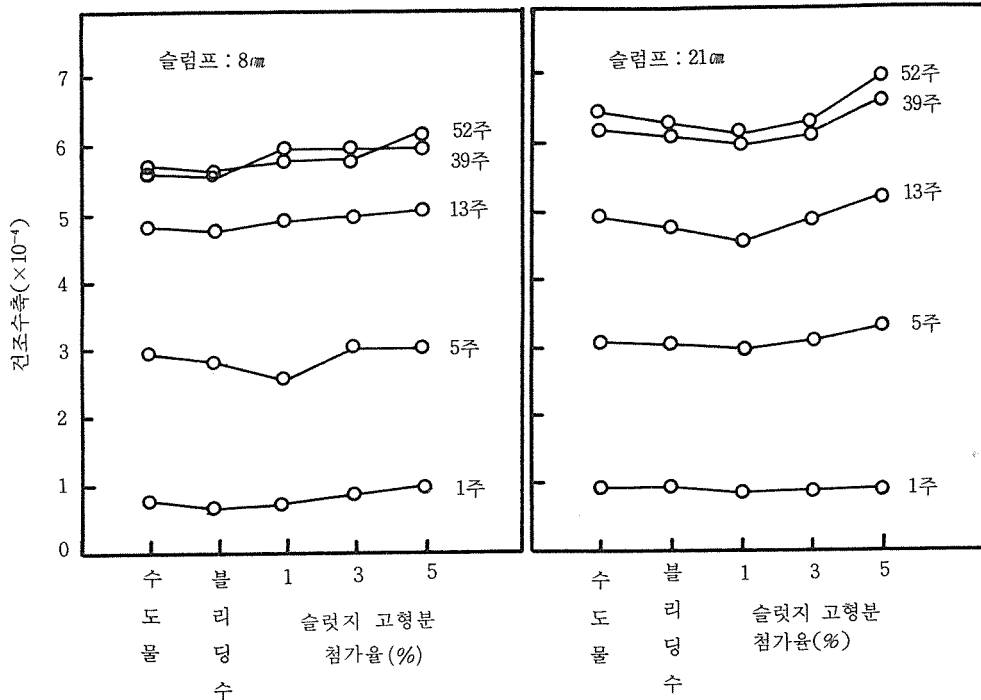


그림-7 上澄水, 슬러지수를 혼합수로 사용한 콘크리트의 건조수축

그림에서 알 수 있듯이 슬러지固形分의 첨가율이 증가하는데 따라 건조수축이 다소 증가되는 경향을 나타내고 있다. 이러한 시험결과는 슬러지固形分 첨가율 증가에 따라 콘크리트의 단위수량이 증가하는데 따른 결과로 생각된다.

또한 上澄水 또는 슬러지수를 혼합한 AE콘크리트의 건조수축을 건조재령 52주까지 측정 한 결과를 나타낸 그림-7에서도(11) 上澄水를 사용한 콘크리트의 건조수축은 수도물을 사용한 콘크리트와 거의 같으나 슬러지를 첨가한 경우에는 대체로 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 슬러지固形分 첨가율 3% 이내의 경우에는 실용상 문제가 되지 않는 것으로 판단된다.(6)

4. 回收水를 혼합한 콘크리트의 配合補正

슬러지固形分을 시멘트 중량에 대하여 1, 3,

5, 8%의 4단계로 첨가한 콘크리트로서 슬럼프 8cm, 물시멘트비 55%인 경우와 슬럼프 18cm, 물시멘트비 65%인 경우의 콘크리트 배합에 대하여 검토한 연구내용을 정리해 보면 다음과 같다.(9)

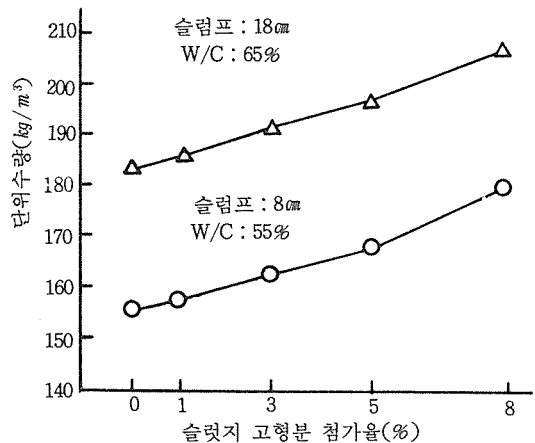


그림-8 슬러지고형분의 첨가량과 단위수량과의 관계

4-1. 單位水量

슬릿지固形分の 첨가량에 따른 콘크리트의 단위수량과의 관계를 나타낸 것이 그림-8이다.

이 그림에서 단위수량은 슬릿지固形分の 시멘트 중량에 대한 첨가비율이 증가하는데 따라 증가함을 나타내고 있다. 다시 말해서 수도물을 사용한 콘크리트와 동일한 콘시스턴스를 얻기 위하여 슬릿지의 첨가량에 따라 단위수량이 증가하며 그 증가비율은 슬릿지固形分 첨가량이 1%씩 증가하는데 따라 단위수량 1~2% 증가하는 결과임을 알 수 있다.

4-2. 잔골재율

슬릿지固形分の 첨가량과 콘크리트 잔골재율과의 관계를 나타낸 것이 그림-9이며, 슬릿지

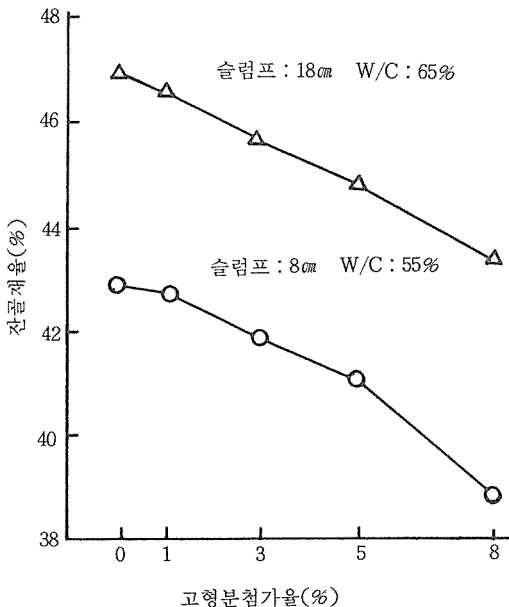


그림-9 슬릿지고형분의 첨가량과 잔골재율과의 관계

固形分の 첨가량 1%씩 증가하는데 따라 잔골재율은 0.5~1% 정도 감소됨을 알 수 있다. 그러므로 수도물을 사용한 콘크리트와 동일한 잔

골재율로서 콘시스턴스를 비교하면 슬릿지 첨가량이 증가하는데 따라 성형성(plasticity)이 과도하게 되는 경향이 있으므로 굵은골재량을 일정하게 정함으로써 워커블한 콘크리트를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

4-3. 空氣量

슬릿지固形分の 첨가량과 콘크리트 공기량과의 사이에는 그림-10과 같은 관계가 있음을 吉兼亨가 발표한 바 있다.⁽¹²⁾

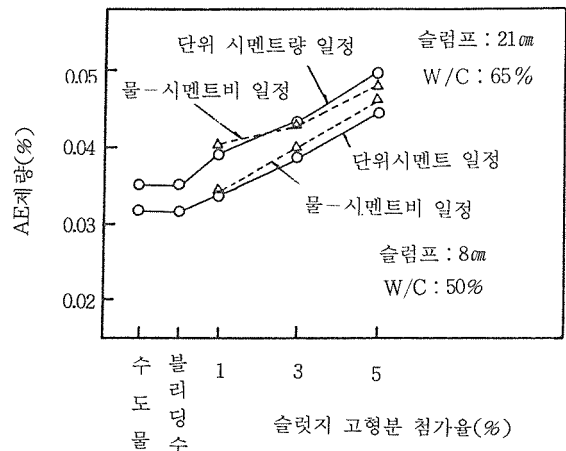


그림-10 슬릿지고형분의 첨가량과 AE제량과의 관계

그림에서 알 수 있듯이 소요의 공기량 $4 \pm 0.5\%$ 를 얻기 위하여 슬릿지수를 사용한 콘크리트의 경우, 슬릿지固形分の 첨가비율이 1%씩 증가하는데 따라 AE제의 사용량을 8~12% 정도 증가시킬 필요가 있다. 이러한 현상을 AE減水劑의 경우에도 마찬가지로 슬릿지固形分の 증가에 따라 공기량이 감소된다고 한다.

5. 廢水의 回收設備

레미콘 공장의 排水의 종류로서는 애지테이

터 드럼을 씻은 물, 플랜트 믹서, 흙바 洗淨水 등을 주로 하여 골재 저장소, 벨트 콘베이어, 공시체 양생수조, 습식 집진기 등을 씻은 물에서부터 공장내의 청소에 의한 물, 雨水, 生活排水 및 雜用排水 등이 있다.

근년에 와서 公害防止 및 資源의 有効利用이라는 측면에서 生活排水 및 雜用排水를 제외한排水를 回收하여 再사용하는 경우가 많다.

排水의 再利用設備에 관한 시스템을 알아보기 위하여 대표적인 排水處理시스템 두종류를 소개해 보면 그림-11 및 그림-12와 같다.^(5, 13)

이들 排水處理시스템의 내용을 간추려보면 대체로 다음과 같이 크게 분류할 수 있다.

洗車場을 포함한 洗車設備, 이때 운반차의 외부를 씻은 물, 자동차의 기름성분이 포함된 물은 따로 排水하는 泥水排水처리시설이 필요

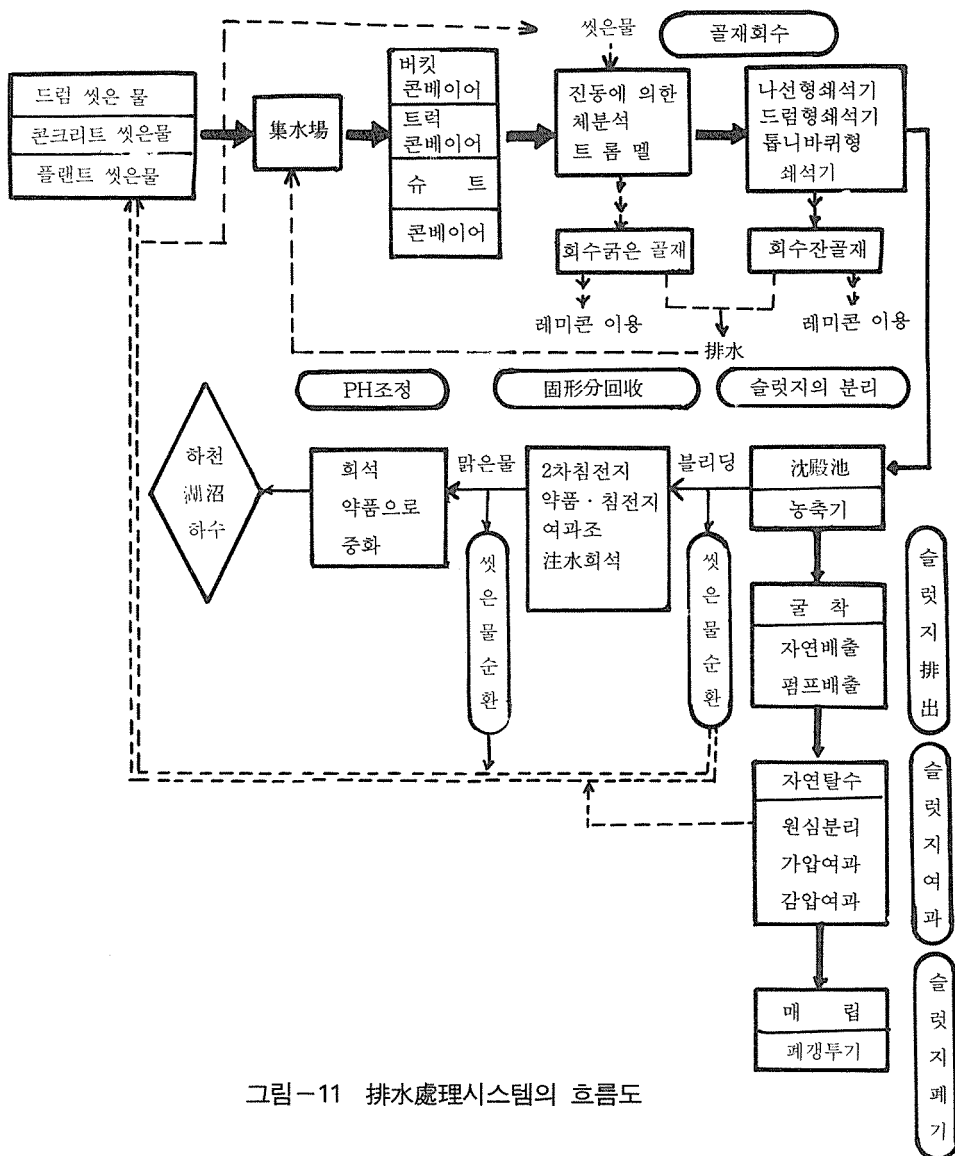


그림-11 排水處理시스템의 흐름도

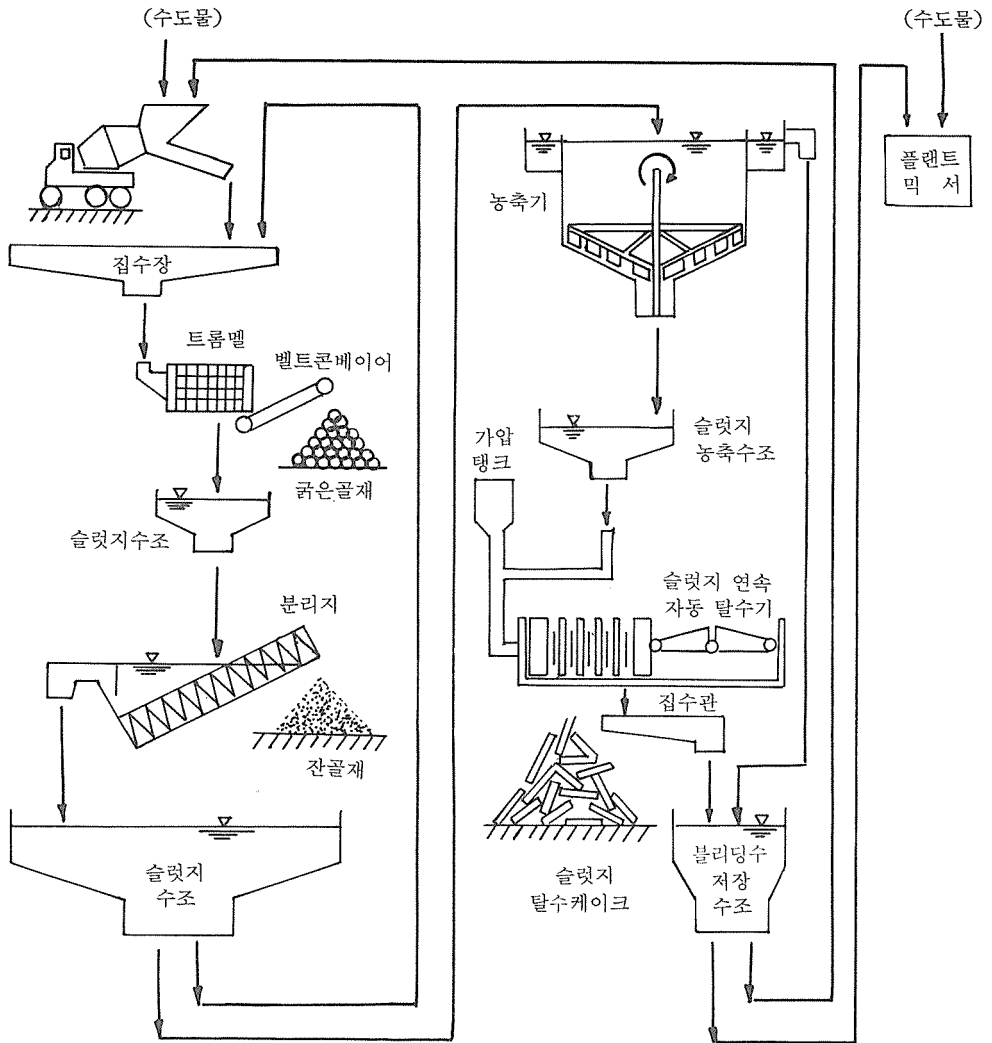


그림-12 슬러지, 골재, 上澄水の 回收設備

하다.

그리고 排水속에 포함된 골재를 회수하는 장치, 이때 모래와 자갈을 분리, 회수하여 저장 처리하는 시설이 필요하다.

다음으로는 上澄水와 슬러지수의 回收設備, 이때 排水中の 슬러지를 분리하기 위한 沈殿槽, 濃縮機와 上澄水 貯水槽 및 농축된 슬러지수를 沈澱固化시키는 장치인 슬러지수 貯留槽가 필요하다.

그리고 슬러지수 再利用設備로서는 濃度調整

裝置, 送水設備 및 슬러지수 計量裝置가 필요하다.

이상은 일반적인 레미콘 공장의 排水를 回收處理하여 재이용하는 시스템에 관하여 검토한 것이며 각 레미콘 공장별 실정을 고려하여 回收處理設備를 研究開發하므로써 資源節約, 公害防止라는 효과를 얻을 수 있겠으나 經濟的 効果에 대해서는 충분한 검토의 여지가 있다고 사료된다.

6. 맺음말

레미콘 산업과 관련된 公害問題로서 騒音과 粉塵問題가 종종 문제화 된 일이 있었으나 레미콘 공장의 排水의 처리에 관해서는 지금까지 비교적 소홀히 다루어져 왔던 느낌이다.

최근에 와서 都市의 上水源을 오염시키는 生活排水, 工場廢水, 가축분뇨, 農약등의 오염이 극심하여 더 이상 방치할수 없는 극한상황에 도달했다고 판단하여 매스콤에서는 사회 문제화하고 있다. 그래서 멀지 않은 장래에 레미콘 공장에서 排出되는 廢水의 경우에도 여론의 대상이 될 것으로 유추된다.

이와같은 시대적 상황을 고려해 볼때 알칼리성이 높은 폐수를 그대로 방류할 것이 아니라 中和處理하기 위한 설비를 갖추거나 또는 回收設備를 갖추어 재이용하기 위한 보다 적극적인 대응책이 마련되어야 할 것으로 생각된다.

參考文獻

- (1) 政村兼一郎 外6名, 生コンプラント一装置と保守一, 日本コンクリート工學協會, 1980
- (2) セメント協會 콘크리트專門委員會, 레デー믹스트콘크리트工場の回收水の利用に関する研究 (その1), セメントコンクリート, No.336, Feb. 1975
- (3) 吉兼亨, 水·回收水·水處理技術, セメントコンクリート No. 477, Nov, 1986
- (4) 南條數一, 生コン크리트의 最近의 動向, 콘크리트工學 Vol. 20, No.3, Mar. 1982
- (5) 野崎貞澄, 回收水利用의 實態と經濟效果, セメント·コンクリート No. 492, Feb. 1988
- (6) 日本コンクリート工學協會 回收水研究委員會, 回收水研究委員會報告書, 日本コンクリート工學協會, Mar. 1975
- (7) 船戸已知雄·田代利明, 콘크리트技術者に必要な化學知識 (16), 月刊生コン크리트 Vol. 7, No. 7, July 1988
- (8) セメント協會 콘크리트專門委員會, 레デー믹스트콘크리트工場の回收水を用いた콘크리트に関する共同試驗報告 (F-25), セメント協會, Oct. 1973
- (9) 岸谷孝一·福士勳, 生コン工場の回收水を用いた콘크리트의 諸性質, セメント技術年報 XXIX, 1975
- (10) 山田順治·有泉昌, わかりやすいセメントと콘크리트의 知識, 鹿島出版會, 1977
- (11) セメント協會 收縮專門委員會, 레デー믹스트콘크리트工場の回收水の利用に関する研究 (その4), セメント·コンクリート No. 340, June 1975
- (12) 吉兼亨, 生コン工場における回收水利用設備とその管理의 實際, セメント·コンクリート No. 343, Sept. 1975
- (13) 吉兼亨·植木昭雄, 生콘工場의 洗車および排水設備, セメント·コンクリート No. 295, Sept. 1971
- (14) M. C. Heaton, Removal of Effluent and Water Re-cycling in Concrete Works, Advances in Ready Mixed Concrete Technology, Pergamon Press, 1976
- (15) 近藤邦彦外 3名, 슬라지水の濃度管理と콘크리트의 品質について, セメント技術年報 XXIX, 1975
- (16) 大西良亮·高崎博, 回收水の再利用における濃度測定機器に関する實驗報告, 第2回生콘크리트技術大會研究發表論文集, 全國生콘크리트工業組合連合會, 1983