

# 부순모래 콘크리트의 配合設計에 관한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Mixing Design of the Concrete Using Crushed Sand

○李 鎮 圭<sup>1)</sup> 閔 庚 釋<sup>2)</sup> 崔 靑 閣<sup>3)</sup> 尹 起 源<sup>4)</sup> 潘 好 鎔<sup>5)</sup> 韓 千 求<sup>5)</sup>  
 Lee, Jin Kyu Min, Kyung Seok Choi, Cheong Kak Yoon, Gi Won Bahn, Ho Yong Han, Cheon Goo

## ABSTRACT

This study is aimed for presenting the reference data in efficiency mixing design of concrete using crushed sand, through trial mixing, and analyzing the mechanical properties, drying shrinkage of that in hardened state. By the test results, Comparing crushed sand with river sand on concrete mixing factors, water content must be increased about 6kg/m<sup>3</sup>, and sand/aggregate ratio need not be changed. And, in mechanical properties of the concrete, the compressive strength of the crushed sand compare with river sand appears a high under 330kg/cm<sup>2</sup>, and low over 330kg/cm<sup>2</sup>. The drying shrinkage of crushed sand concrete is larger than that of river sand.

## I. 序 論

골재 品質의 양부는 콘크리트 品質에 직접적인 영향을 미치는 주요한 요소인데, 최근에는 천연 잔골재 자원의 고갈현상이 특히 심화되어 문제시되고 있는 실정이다.

그러므로 本 研究에서는 바닷모래, 육지모래, 산모래, 부순모래 등 여러 대체 잔골재 종류 중 부순모래는 적당한 가공과정을 거치게 되면 양호한 콘크리트용 잔골재 자원으로 활용할 수 있다는 판단아래 습식으로 제조한 부순모래의 物理的 性質을 검토하고, 부순모래 콘크리트에 대하여는 물시멘트비(W/C) 및 목표 슬럼프별로 配合設計를 실시하여 얻어진 결과로부터 配合特性과 強度特性 등 力學的 特性和 건조수축에 의한 길이변화 특성을 분석하므로써 配合設計 및 레미콘 생산에 한 참고자료로 제시하고자 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 表 1과 같다. 즉, 배합사항으로 W/C 40, 50, 60%에 대하여 목표 슬럼프 12, 15, 18cm의 3개 수준으로 강모래와

부순모래 각 9배치씩 총 18배치를 實驗計劃하였다.

실험사항으로 굳지않은 상태의 實驗은 박시에서 콘크리트를 비비낸 즉시 슬럼프치와 空氣量을 測定하여 검토하는 것으로 하였는데, 슬럼프치는 목표 슬럼프치에 ±1cm, 空氣量은 4.5±1.5%로 하였다. 硬化狀態의 실험으로 壓縮強度는 7, 28, 56, 91일 제령, 引張強度는 28일 제령, 건조수축에 의한 길이변화는 탈형 직후와 3일, 1, 2, 4, 8, 13주에서 측정하는 것으로 實驗計劃하였다.

표 1. 實驗計劃

구 분	W/C (%)	목표슬럼프 (cm)	실험사항	
			굳지않은상태	경화상태
강모래	40	12	슬럼프 공기량	壓縮強度
부순모래	50	15		引張強度
	60	18		건조수축

### 2.2 사용재료

本 實驗에 사용한 시멘트는 국내산 H시멘트의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 物理的 性質은 표 2와 같다. 골재로서 천연잔골재는 충북 청원군 대판산 강모래, 부순모래는 충북 진천군 C산업산(습식제조)을 사용하였으며, 굵은골재는 충북 옥산산 19mm 화강암 부순돌을 사용하였는데, 잔·굵은골재의 物理的 性質은 표 3과 같고, 粒度曲線은 그림 1과 같다.

混和劑는 국내산 S유화(주)의 나프탈린계 AE감수제로 그 物理的 性質은 표 4와 같다. 물은 상수도를 사용하였다.

- 1) 正會員, 淸州大 大學院 碩士課程
- 2) 正會員, 淸州大 産業大學院 碩士課程
- 3) 正會員, (株)進化, 工學碩士
- 4) 正會員, 淸州大 大學院 博士課程
- 5) 正會員, 淸州大 教授, 工學博士

표 2. 시멘트의 物理的 性質

비중	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.14	3,220	0.10	245	360	220	266	380

표 3. 골재의 物理的 性質

골재종류	비중	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	단위 중량 (kg/m <sup>3</sup> )	입형판정 실적율 (%)	No.200체 통과량 (g)
부순모래	2.66	2.91	1.63	1,800	54.7	5.00
부순돌	2.68	6.69	0.98	1,582	56.5	-

표 4. AE감수제의 物理的 性質

형태	색상	주 성분	비중	표준사용량
액상	암갈색	나프탈렌계	1.14 ± 0.02	시멘트사용량의 0.15~0.3%

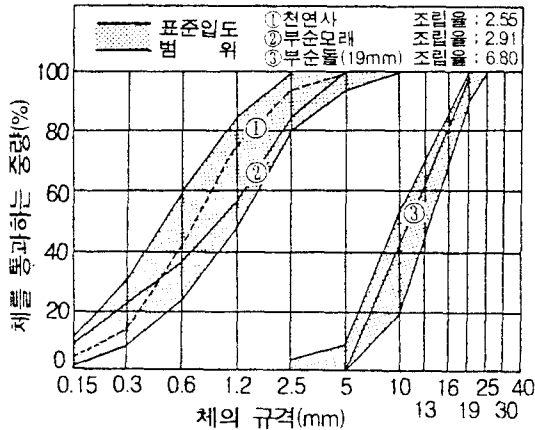


그림 1. 잔·굵은 골재의 粒度曲線

2.3 實驗方法

本 研究의 實驗方法으로 먼저, 골재의 물리적 성질은 KS규격의 표준적인 방법으로 실시하였으며, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 그림 2의 순서에 따라 실시하였다.

굳지 않은 상태의 實驗으로 슬럼프 시험은 KS F 2402 규정, 공기량은 KS F 2421 규정의 공기실 압력법에 의거 측정하였고, 공시체 제작으로 壓縮強度 및 引張強度 시험용 공시체는 KS F 2403의 표준적인 방법으로 실시하였다. 건조수축에 의한 길이변화 측정용 공시체는 7.5×7.5×40cm 몰드의 양끝에 길이 측정용 게이지를 설치하여 제작하였다.

경화 콘크리트의 壓縮 및 引張強度 試驗은 소정기간 양생완료후 KS F 2405, 2423의 각

방법에 의거 실시하였으며, 또한, 건조수축에 의한 길이변화는 KS F 2424 규정의 다이알 게이지 方法으로 실시하였다.

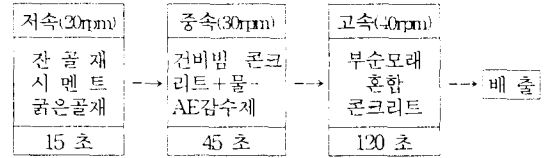


그림 2. 콘크리트의 混合

III. 實驗結果 및 分析

3.1 實驗結果 및 配合特性

實驗計劃에 따른 배합자료는 표 5와 같다.

그림 3은 동일한 配合條件에서 강모래 콘크리트의 잔골재율과 부순모래 콘크리트의 잔골재율을 비교한 산점도로써, 동일 W/C일 경우 동일 Slump치를 발휘하기 위한 잔골재율은 거의 유사한 것으로 나타났다. 이는 부순모래의 粒形이 각이짐에 따라 잔골재율을 증가시켜 주어야하는 요인과, 微粒子量의 多量 함유에 따른 잔골재율의 감소 요인이 복합적으로 작용하여 나타난 結果로 분석된다.

그림 4는 그림 3과 동일한 요령으로 單位水量을 비교한 것으로써 강모래 콘크리트와 동일한 물시멘트비 및 슬럼프치인 부순모래 콘크리트의 경우 -2~22kg/m<sup>3</sup>(평균적으로 약

표 5. 콘크리트 配合表

구분	W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	S/A (%)	AE/C (%)	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	용적배합 (ℓ/m <sup>3</sup> )		
						C	S	G
강 모 래	40	12	40.0	0.18	175	139	256	385
		15	41.5		180	143	262	370
		18	42.0		185	147	262	361
	50	12	45.2	0.15	175	111	302	367
		15	45.5		180	114	301	360
		18	46.2		184	117	302	352
부 순 모 래	40	12	47.5	0.12	178	94	324	359
		15	48.5		185	98	326	346
		18	49.0		189	100	326	340
	50	12	40.5	0.35	188	150	250	367
		15	40.7		195	155	246	359
		18	41.0		207	165	239	344
60	40	12	45.5	0.24	177	113	303	362
		15	45.6		184	117	298	356
		18	46.0		190	121	296	348
	50	12	49.5	0.20	178	95	338	344
		15	49.0		183	97	331	344
		18	49.0		187	99	328	341

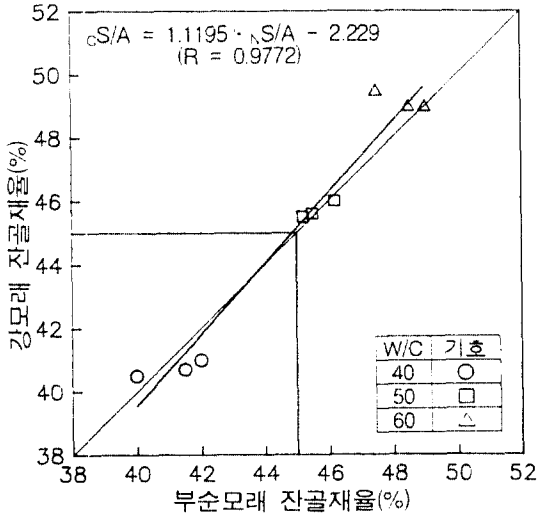


그림 3. 강모래와 부순모래의 잔골재율 비교

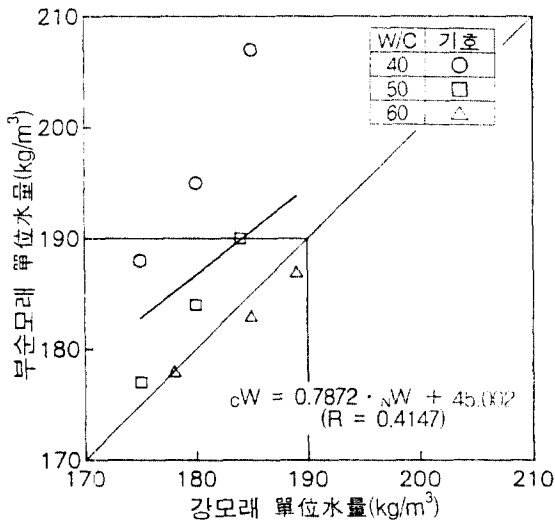


그림 4. 강모래와 부순모래 단위수량 비교

(6kg/m³정도) 증가시켜야 하는 것으로 나타났다. 단, 이 경우 목표 Slump치가 클수록 부순모래를 사용한 경우 단위수량의 증가는 급격한 것으로 나타났는데, 이는 부순모래에 다량 함유된 微粒分의 증가 및 각이진 粒形에 기인한 표면적의 증가로 동이한 슬럼프를 발휘하기 위해서는 요구수량이 높아지는 기존의 연구와 유사한 결과이었다.

그림 5는 목표 空氣量인 4.5±1.5%를 확보하기 위한 AE제 使用量을 사용골재별 산점도로 나타낸 것이다. 전반적인 경향으로 C/W가

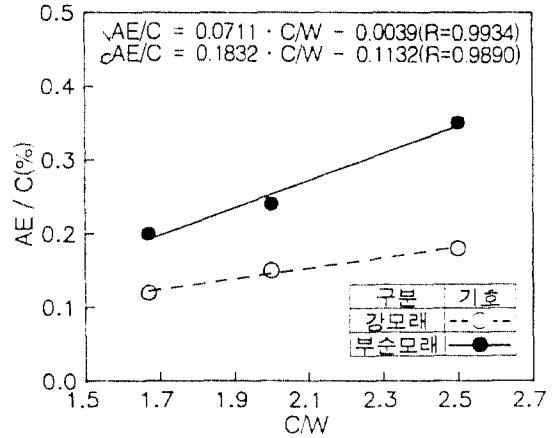


그림 5. 목표 空氣量 확보를 위한 AE제 使用量

증가할수록 AE제 使用量을 增加시켜야 하는 것으로 나타났으며, 부순모래의 경우 전 구간에서 AE제 使用量을 강모래보다 1.7~1.9배 정도 증가시켜야 하는 것으로 나타났다. 이의 원인으로 C/W가 증가할 경우 요구 AE제량의 增加는 단위시멘트량의 증가에 기인한 것으로 분석되며, 부순모래의 AE제 使用量 증가는 부순모래 중 微粒分에 의한 공극충진으로 강모래보다 많은 AE제량을 필요로 하는 것으로 分析되어진다.

### 3.2 硬化狀態의 特性

그림 6은 재령경과에 따른 강모래 콘크리트와 부순모래 콘크리트의 壓縮強度 增進推移를 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다.

당연한 결과이겠지만 재령경과에 따른 壓縮強度 증진추이는 강모래 및 부순모래 콘크리트 공히 유사하게 증가하는 것으로 나타났는데, 壓縮強度의 대소는 W/C 40%에서 강모래가 큰 것으로 나타났고, W/C 50%에서는 거의 유사하며, W/C 60%에서는 부순모래가 큰 것으로 나타났다. 이의 원인으로 콘크리트의 파괴기구 중 골재와 시멘트 페이스트와의 附着力이 콘크리트의 強度를 결정하는 높은 W/C에서는 부순모래의 표면형상에 의한 시멘트 페이스트와의 附着力 증가에 기인하여 나타난 결과로 분석되며, 낮은 W/C에서 부순모래의 壓縮強度가 작은결과는 부순모래 콘크리트의 단위수량은 커지고 잔골재율은 작아지는 配

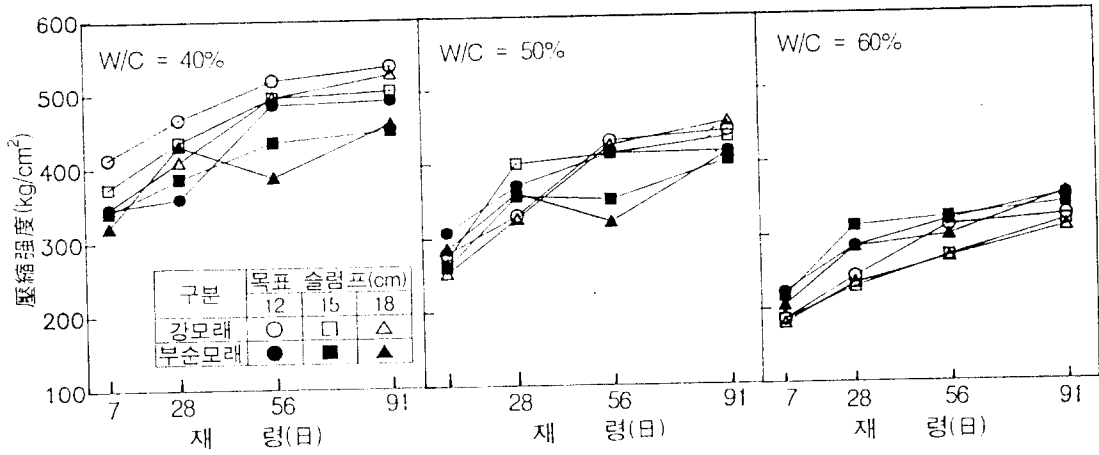


그림 6. 재령 경과에 따른 壓縮強度 增進 추이

습要因 및 골재 입도분포 등에 기인된 결과로 분석된다.

그림 7은 그림 6을 다른 각도에서 분석한 것으로 강모래 콘크리트와 부순모래 콘크리트의 壓縮強度를 비교하기 위하여 산점도로 나타낸 그래프이다.

전반적인 경향으로 壓縮強度 330kg/cm²정도를 기점으로 그 이하에서는 부순모래, 그 이후에서는 강모래 콘크리트의 壓縮強度가 큰 것으로 나타났는데, 강모래 콘크리트의 壓縮強度가 200kg/cm² 정도일 때 부순모래 콘크리트의 壓縮強度는 약 250kg/cm² 정도로 나타났고, 壓縮強度가 500kg/cm² 정도일 때 부순모래 콘크리트의 壓縮強度는 약 435kg/cm² 정도로 나타났다. 즉, 위의 경향을 부순모래를 활용한다는 관점에서 회귀식으로 분석하여 볼 때, 강모래 콘크리트에 비하여 부순모래의 壓縮強度 지하가 10% 미만인 범위는 450kg/cm²로서 일반적인 레미콘의 제조에 있어 부순모래 콘크리트의 사용은 특별히 문제시되지 않을 것으로 분석되어진다.

그림 8은 W/C의 역수인 C/W와 28일 재령의 壓縮 및 引張強度를 산점도로 나타낸 것으로 레미콘의 실무적용에 있어 부순모래 콘크리트의 配合設計에 이용할 수 있도록 회귀식을 유도하였는데, 이때 C/W와 壓縮 및 引張強度의 관계는 그래프에 제시된 바와 같다. 먼저, 壓縮強度의 경우 부순모래 콘크리트는 강모래에 비하여 C/W의 증가에 따라 壓縮強度의 증진이 완만한 것으로 나타났다. 회귀식

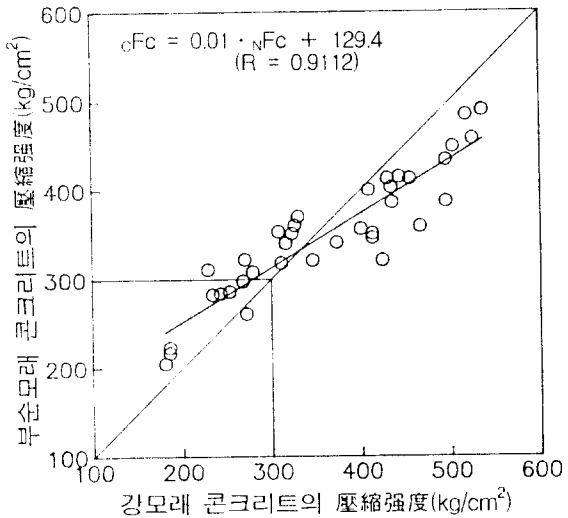


그림 7. 강모래와 부순모래 콘크리트의 壓縮強度 比較

으로 볼 때 C/W 2.13(W/C로는 약 47%)을 기준으로 그 이하에서는 부순모래의 壓縮強度가 크고 그 이상에서는 강모래의 壓縮強度가 큰 것으로 나타났다.

또한, C/W와 引張強度의 관계는 강모래와 부순모래의 경우 유사 구배의 증진 경향으로 나타났으나 동일 C/W일 경우 부순모래의 표면 형상에 의한 附着強度 증가에 기인하여 부순모래의 引張強度가 약 9.5kg/cm² 정도 큰 것으로 나타났다.

그림 9는 재령경과에 따른 강모래 및 부순모래 콘크리트의 건조수축에 의한 길이변화를 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로는 재령이 경과할수록 수

축이 진행되다가 28일 이후에는 완만하여지는 기존의 연구결과와 유사한 경향으로 나타났는데, W/C별로는 W/C가 작을수록 건조수축이 다소 커지는 것으로 나타났고, 사용골재 변화에 따라서는 잔골재에 포함된 微粒分의 양에 기인하여 강모래 콘크리트보다 부순모래 콘크리트의 건조수축이 큰 것으로 나타났다.

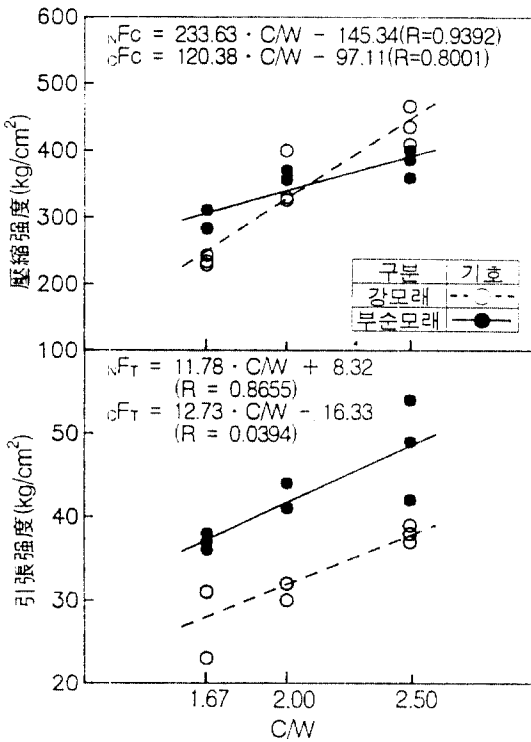


그림 8. C/W에 따른 壓縮 및 引張強度

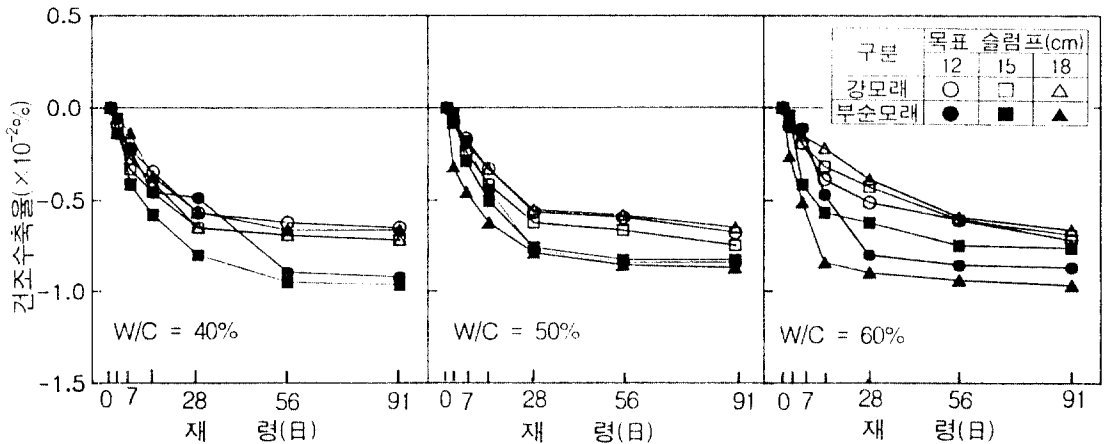


그림 9. 재령 경과에 따른 길이변화율

앞으로 건조수축이 많이 진행된 91일 재령에서 그 차이는 약 22~25%로 나타났다. 또한, 목표 슬럼프별로는 슬럼프가 클수록 單位水量이 증가하므로 건조수축도 커지는 것으로 나타났다.

### 3.3 부순모래 콘크리트의 配合設計

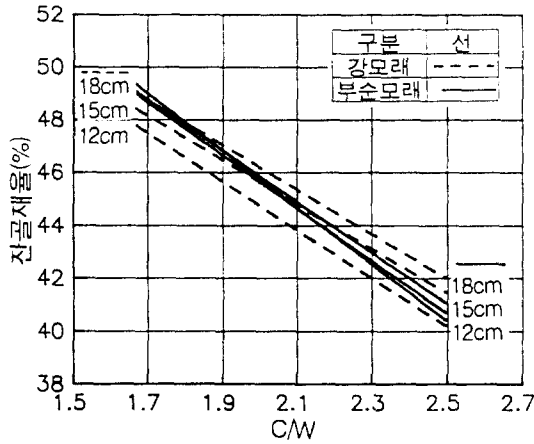
식 (1)~(2)와 그림 10 및 11은 本研究 實驗結果를 바탕으로 부순모래를 레미콘 실무에 이용할 경우의 配合條件을 결정하는데 필요한 참고자료의 일예이다.

즉, 配合設計에서 일반적으로 가장 먼저 결정하는 것은 W/C로서, 레미콘의 호칭강도로부터 KS F 4009 및 KASS 5.4.2의 규정에 따라 配合強度를 결정하게 되고, 配合強度를 만족시키기 위한 W/C를 결정하게 되는데, 부순모래 콘크리트의 경우 W/C 결정식은 다음 (1)~(2)식과 같이 추정되었다.

$$\text{강모래} : W/C = -0.0008 \times F + 80.909 \quad \dots (1)$$

$$\text{부순모래} : W/C = -0.1037 \times F + 94.708 \quad \dots (2)$$

上記의 제안식으로 W/C를 결정한 다음 요구되는 워이커빌리티를 발휘하기 위한 잔골재율(S/A)과 單位水量(W)을 결정하게 되는데, 그림 10과 11은 본 연구결과로부터 잔골재율 및 單位水量을 추정할 수 있도록 회귀선으로 나타낸 그래프이고 표 6은 이때 각 회귀식을 나타낸 것이다. 공기량 조절을 위한 AE제량은 그림 5를 참고한다.



\* 그림 10. 콘크리트의 잔골재율 推定

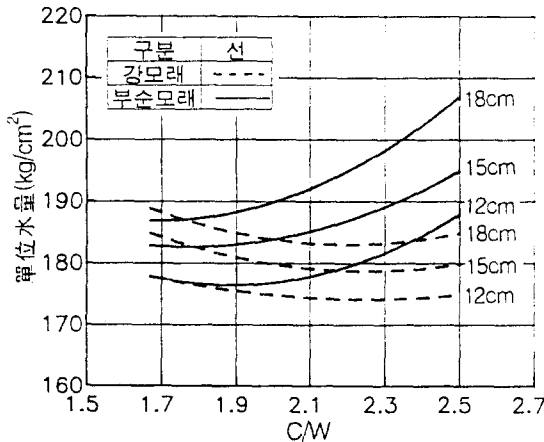


그림 11. 콘크리트의 單位水量 推定

표 6. 부순모래 콘크리트의 잔골재율 및 단위수량의 추정 회귀식

구분	슬럼프	회귀식
잔골재율	12cm	$S/A = -10.737 \cdot C/W + 67.237$
	15cm	$S/A = -9.947 \cdot C/W + 65.548$
	18cm	$S/A = -9.632 \cdot C/W + 65.132$
단위수량	12cm	$W = 30.03 \cdot C/W^2 - 113.14 \cdot C/W + 283.14$
	15cm	$W = 22.83 \cdot C/W^2 - 80.71 \cdot C/W + 254.11$
	18cm	$W = 30.04 \cdot C/W^2 - 101.16 \cdot C/W + 272.16$

이상과 같은 방법을 참고로 하여 부순모래 콘크리트는 레미콘 실무 제조시 참고가 될 수 있는데, 단, 이 자료는 配合設計 實驗研究의 일례로서 참고할 뿐이지 전부가 될수 없음에, 어떤 레미콘사가 부순모래 콘크리트를 配合設計할 경우는 그 회사의 사용재료, 운반

거리 등 제반 조건에 맞춘 수정 配合設計가 요구됨에 유의할 필요가 있다.

#### IV. 結 論

本 研究는 부순모래 콘크리트의 활용에 관한 強度 및 건조수축 特性 등을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 부순모래 콘크리트의 配合特性은 동일한 W/C 및 슬럼프를 만족하기 위해서는 강모래 콘크리트에 비하여 單位水量을 약  $-2 \sim 22 \text{kg/m}^3$  정도 증가시켜야 하며, 잔골재율은 유사한 것으로 나타났다.

2. 強度 特性으로 壓縮強度  $330 \text{kg/m}^2$  이하에서는 부순모래 콘크리트가 크고, 그 이상에서는 강모래 콘크리트가 큰 것으로 나타났다.

3. 건조 수축에 의한 길이 변화는 강모래 콘크리트에 비하여 부순모래 콘크리트가 큰 것으로 나타났고, 목표 슬럼프치별로는 슬럼프치가 클수록 크게 나타났다.

4. 부순모래 콘크리트의 제조에 있어서 W/C, 잔골재율, 單位水量 및 AE제량 산정의 일례는 본문에 나타난 바와 같은데, 綜合적으로 내구성 확보를 위한 單位水量 저감 및 건조수축 저감 대책을 강구한다면 부순모래 콘크리트의 경제적 제조 및 활용은 가능할 것으로 사료된다.

끝으로, 本 研究는 1994년 통상산업부의 후원으로 충북도내 충북레미콘 및 한국레미콘과 컨소시엄 研究의 일환으로 이루어졌음에 위 기관 및 회사의 관계자에게 감사한다.

#### 參 考 文 獻

- 1) A.M.Neville ; Properties of Concrete, 3rd Edition, Pitman, 1981.
- 2) 日本建築學會 ; 콘크리트의 調査設計 指針·同解説, 1994.
- 3) 대한건축학회 ; 건축공사 표준시방서, 1994.
- 4) 大韓住宅公社 ; 부순모래 實用化方案에 관한 研究(I), 大韓住宅公社, 研究 '93-11, 1993.