

# 碎骨材의 콘크리트 사용에 關한 考察

宋 錫 奎

〈雙龍洋灰 中央研究所 2次製品研究室長〉

## 〈目 次〉

1. 머릿말
2. 골재의 개요
  - ① 골재의 수급동향
  - ② 골재의 품질조건
3. 쇄석을 사용한 콘크리트의 특성
  - ① 시공성(workability)
  - ② 압축강도
  - ③ 건조수축
4. 쇄사를 사용한 콘크리트의 특성
  - ① 굳지않는 콘크리트의 성질
  - ② 경화콘크리트의 성질
5. 골재의 低品質化에 對한 對策
  - ① 쇄석의 효과적 사용방안
  - ② 쇄사의 효과적 사용방안

## 1. 머릿말

콘크리트는 그 체적의 70~80%가 골재로 되어 있기 때문에 그성질은 사용골재의 품질에 크게 좌우되므로써 국가규격이나 학회규격등의 많은 규격으로 규제하고 있다. 그런데 콘크리트제조에 있어서 가장 고려될 사항으로써는 양질의 콘크리트를 경제적으로 제조할수 있어야 하기 때문에 골재의 공급지가 소비지에 가깝고 별다른 조작(操作)없이 所要의 품질을 만족할

수 있는 하천자갈이나 모래가 항간에 주로 사용되어 왔다. 그러나 골재의 수요가 토목·건축의 대형화, 대량화로 인해 대도시부근의 골재자원이 근본적으로 고갈된 상태가 되었으므로 경제성있는 하천골재확보가 어렵게되었고 더우기 앞으로는 河川河床 손상등의 자연보호 측면에서 하천골재 채취를 보다 규제하지 않을 수 없는 상황으로 돌입되기 때문에 石山골재 개발이 불가피한 실정이 되었다. 이에 따라 골재의 저품질화로 발생할 수 있는 문제점과 그 대응책에 대해 기술하고자 한다.

## 2. 골재의 개요

### ① 골재의 수급동향

하천골재는 자연현상인 하천작용에 의하여 부단히 공급할 수 있는 것이라 생각되어 왔지만 有史以來 생산·저장되어 왔던것이 지난 반세기 간에 태반을 소비하므로써 자연의 공급력이 수요를 충족할 수 없게 되었으며 더우기 治山治水을 위한 Dam건설 등으로 골재원이 근원적으로 끊어지는 방향으로 흘러가고 하천하상의 보호 등으로 앞으로는 특별한지역이외에서는 하천골재의 입수가 어려워질것으로 예상된다.

### ② 골재의 품질조건

콘크리트용골재로써 갖추어야할 기본적 요건

으로써는

1) 조골재

① 석질이 간단하고 내마모성이 우수하고 강도강성이 높아야 하며,

② 적당한 입도분포를 가지면서 品質變動이 적어야 한다.

③ 흡수성과 체적변화가 적으며 열과 물에 안정하여야 하며,

④ 기상작용에 대하여 장기적으로 안정하여야 한다.

⑤ 내화학적이고 大氣중 여러가지 gas에 대하여 안정하여야 한다.

⑥ 콘크리트의 경화불량이나 이상응결, 이상체적변화를 일으키는 유해광물 등의 불순물을 함유하고 있지 않아야 한다.

⑦ 입형이 球形에 가까와야하며 偏平하고 각진것을 함유하고 있지 않을 것등이 요구되나 쇄석은 강자갈과 비교하여 볼때 表面이 거칠고 角이졌기 때문에 동일 물·시멘트(W/C)비의 콘크리트에서는 몰탈의 부착성질 등을 좋게하는 잇점도 있지만 전반적인 콘크리트골재 측면으로 볼때 아래와 같은 몇가지의 문제점을 갖고 있다.

• 쇄석은 강자갈에 비해 입자가 모가나 있기 때문에 시공성(Workability)이 불량하다.

• 쇄석은 공극율이 크기때문에 단위시멘트량이 증가한다.

• 쇄석은 강자갈과는 달리 약한암석, 불안정한 암석등을 混在하는 경우가 많아 강도가 저하되는것도 있다.

• 쇄석은 암석의 破砕方法에 따라서 공극이 연속되거나 작은 공극이 다량 존재하기 때문에 동결융해저항이 약한경향이 있다.

• 쇄석은 석질에 따라 연약하며 흡수성이 크고 용이하게 갈라지거나 팽창하거나 하는 성질이 있어 건조수축이나 균열발생의 원인이 된다. 과거에는 골재개념이 압축강도만 확인되면 콘크리트 성질을 대략 파악할 수 있었으나 최근과 같이 골재자원이 어려운 때를 맞아 저품질골재 사용이 불가피할 때는 단순한 강도만으로 물성파악이 곤란하므로 여러가지 항목의 골재특성파악이 필요하게 된다. 또한 암석은 종류에 따라

構成造岩礦物이 각각다르기 때문에 콘크리트 물성에 약간의 차이를 보이게 되므로 KSF2527에 서는 표 1 과 같이 규정하고 있다.

표 1. 쇄석의 재질

항 목	규 격	비 고
비 중	2.5이상	
흡수량(%)	3이하	
안정성(%)	12이하	
마모성(%)	40이하	Losangeles에 의함

2) 세골재

쇄사란 암석을 파쇄하여 인공적으로 제조한 콘크리트용세골재를 말하며 기본적으로 갖추어야 할 조건은,

① 물리적으로 안정하여야 하며, 또한

② 화학적으로도 안정하여 물·시멘트등과 반응하지 않아야 한다.

③ 淸淨하고 有害物(유기불순물, 점토피) 을 함유하고 있지않아야 한다.

④ 견고하며 단단하여야 한다.

⑤ 입형이 입방 또는 구형에 가깝고 시멘트 페이스트와의 부착력이 큰 表面組成을 가져야 한다.

⑥ 적절한 粒度를 가져야 하며 품질은 일반적으로 표2와 같이 규정되고 있다.

표 2. 쇄사의 품질(JIS A5004)

항 목	규 격
절 건 비 중	2.5이상
흡 수 율(%)	3이하
안 정 성(%)	10이하
씻기시험손실량(%) (석분량)	7이하
* 입형판정실적율(%)	53이상

\* 입형판정 실적율(%) =  $\frac{T}{D_0} \times 100$

但, D<sub>0</sub>: 시료의 절건비중

T : 시료의 단위용적질량

또한 쇄사의 원석으로는 주로 현무암 안산암 석회암등이 이용되고 있으며 쇄사의 품질상의 문제점으로는 粒形이 나쁘고 제조시 조립율이

약간크게되며 多량의 微粉이 포함되고 있기 때문에 콘크리트제조시 품질에 영향을 주게된다. 이에대한 설명을 좀더 附記하면,

• 粒度

쇄사는 粒形이 不良하기 때문에 碎砂 단독으로 콘크리트를 제조하는 경우에는 하천사보다 약간 Fine한 粒度로 하는 것이 유리하므로 일본의 JISA5004 콘크리트쇄사에서서는 7% 微粉의 混入을 인정하고 있고 粒形判定實績率은 53%以上으로 규정하고 있다. 또 微粉量이 증가하면 단위수량이 증가해서 강도가 저하하며 건조수축이 증가하는등의 악영향을 주지만 재료 분리등의 측면에서 보면 오히려 3~5% 정도의 微粉이 混入된 편이 바람직하다. 그러나 微粉은 원석의 종류나 파쇄방법에 따라서도 Blaine값이 1500~8000cm<sup>2</sup>/g정도까지 광범위하며 화학성분의 차이도 크기때문에 콘크리트제조시에는 세심한 주의가 요망된다.

• 粒形

쇄사의 粒形도 원석의 종류 파쇄기종류에 의해 크게 좌우되며 콘크리트의 유동성, 단위수량에 큰영향을 주는 중요한 요인이되므로 가능한 球形에 가깝게 제조하는 것이 바람직하다.

粒形의 判定은 단위용적중량 또는 실적율로 어느정도 判定이 가능하지만 碎砂의 경우는 微粒部分에 따라 실적율이 表3 과 같이 변화가 크기 때문에 석분을 세척한 시료로써 粒形을 判定하는 것이 좋다. 또한 실적율이 낮을수록 表4 에 나타난 바와 같이 단위수량이 증가하며 Screen 으로부터 微粉을 제거한 경우에는 이값을 下廻하는 것도 있는데 이는 파쇄방법에 따라서 상당한 차이가 난다.

3) 알카리골재반응

포틀랜드시멘트중의 알카리성분이 골재 중의 활성실리카광물질과 화학반응을 일으키는 것이 있다. 이것을 알카리골재반응(Alkali-Aggregate reaction)이라고 한다. 알카리골재 반응을 일으키는 콘크리트는 팽창을 일으키고 특히 표면에 많은 균열이 생기게 되며 제라틴狀의 물질의 백색침전물등이 콘크리트표면이나 내부에서 생기므로 인장강도, 압축강도 및 탄성계수가 저하되며 균열도 발생된다. 그리고 동결융해나 철근부식에 의한 팽창균열도 誘發하게되므로 콘크리트구조물이 손상을 받게된다. 이와같은 物性變化의 進行度는 환경조건(온도, 습도, ...)사 용된 반응성골재의 종류, 粒度 콘크리트中の 알

표 3. 입도범위별 실적율비교

원 석 \ 입 경	5~0.15mm	5~2.5mm	2.5~1.2mm	1.2~0.6mm
안 산 암(자쇄분쇄)	63	57	56	54
경질사암	64	55	55	54
점 판 암(dust)	62	55	54	53
점 판 암(자생분쇄)	65	58	58	57
강 모 래	69	62	59	58

표 4. 실적율과 단위수량(경질사함)

파쇄기	물씻기손실량 석분량(%)	실적율(%)	단 위 수 량(kg/m <sup>3</sup> )		
			SL 8 cm	SL15cm	SL21cm
Impeller Breaker	2.0	63	186	197	224
Rod-mill	4.5	64	—	198	230
자생분쇄 mill	3.5	66	180	192	218
자생분쇄 mill	6.0	68	178	195	219
자생분쇄 mil	10.0	68	182	198	222
강 모 래	1.0	66	168	183	202

\* 시험방법 : JIS A100千

표 5. 배 합 보 정 치

구 분	s/a(%)의 보정	W(kg)의 보정
모래의 조립율이 0.1만큼 클(작을) 때마다	0.5만큼 크게(작게)한다.	보정하지 않는다.
슬럼프 값이 1cm만큼 클(작을) 때마다	보정하지 않는다.	1.2%만큼 크게(작게)한다.
공기량이 1%만큼 클(작을) 때마다	0.5~1만큼 작게(크게)한다.	3%만큼 작게(크게)한다.
부순돌을 사용할 경우	3~5만큼 크게 한다.	9~15만큼 크게 한다.
부순모래를 사용할 경우	2~3만큼 작게 한다.	6~9만큼 크게 한다.

카리량 그리고 配合條件(W/C ...)에 따라 영향을 받는데 이 과정에서 알카리반응의 最適條件 즉 Pessimium이 存在할때 가장 심한 반응성을 나타낸다. 그리고 알카리골재반응을 일으키는 골재로써는 단백석(Dpa), 규산질고토질 석회암 응회암등이 알려져 있고 이를 방지하기 위해서는 알카리반응을 일으키지 않는 골재를 사용하고 반응성이 있을시에는 시멘트중의 total-alkali량을 0.6%以下로 해야하며 또 良質의 Pozzolan 등을 사용하여도 억제가 된다.

### 3. 쇄석을 사용한 콘크리트의 특성

쇄석을 사용할때의 콘크리트 배합은 보통 배합을 기준하여 補正하며 表5를 참조하여 어느 경우에서도 시험 mixing에 의해 정확한 배합을 구하지 않으면 안된다.

#### ① 시공성(Workability)

쇄석은 생산방법에 따라 골재의 粒形과 角狀에 差異가 있으나 전반적으로 실적율의 불량으로 쇄석 콘크리트의 Workability는 저하하게 된다. 따라서 소정의 workability를 얻기 위해서는 단위수량 및 세골재율을 약간 증가시켜야 한다.

#### 1) 단위수량의 증가

쇄석콘크리트의 단위수량증가 요인으로써는 쇄석의 形狀과 쇄석표면의 凹凸(100 $\mu$ 정도이상)로 인한 실적율저하와 점토중의 세척이 충분치 않아 남아있는 미세물로 볼수있으며 이것으로 인해 단위수량이 약 6~11%정도 증가되며 일 본건축학회에서는 8%를 표준으로 하고 있다.

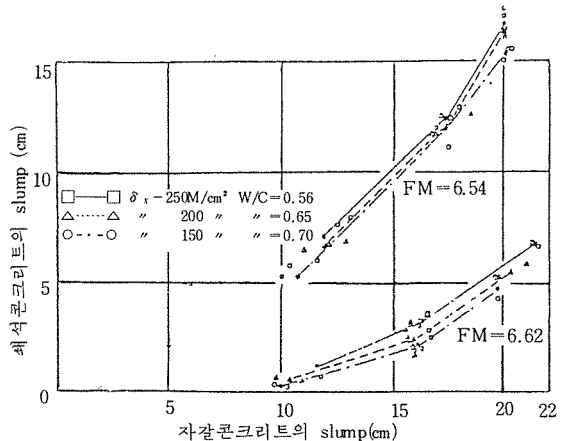


그림 1. 자갈 콘크리트와 쇄석콘크리트의 slump 비교(동일 배합경우)

또한 자갈콘크리트와 쇄석콘크리트와의 slump는 그림 1, 2에서 보는 바와같이 동일배합에서 Slump가 현저하게 (6~8cm) 차이가 나며 동일 Slump에서도 쇄석콘크리트의 경우는 자갈보다 월등히 Workability가 불량하다. 그 이유로서는 쇄석의 表面이 거칠고 각모서리(角狀)가 크기때문에 골재입자간의 마찰이 크기때문이다. 따라서 각모서리와 거친면이 Workability에 주는 영향을 줄이기 위해 쇄석표면마모량과 Workability와의 관계를 그림 3에 나타내면 마모량을 30%이상으로 할때 자갈콘크리트와 거의 유사한 Slump를 얻을수 있다. 그러나 이와같은 방법은 경제성능이 고려될 때, fly-ash등의 혼합재첨가나 혼화재 사용이 보다 권장된다. 그리고 쇄석 콘크리트의 단위수량증가는 그림 4에서 보는 바와 같이 최대골재치수 40%일때 18kg/m<sup>3</sup>가 증가, 25%에서 16kg/m<sup>3</sup>가 증가된다.

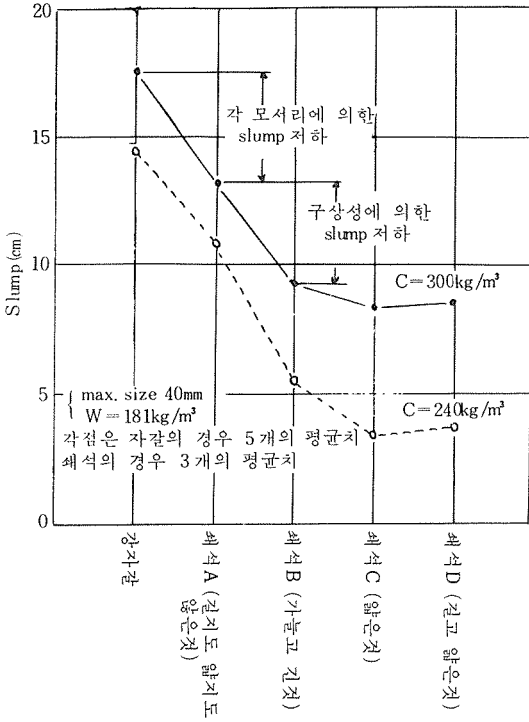


그림 2. 콘크리트의 workability에 미치는 조골재의 구상성 및 각모서리의 영향

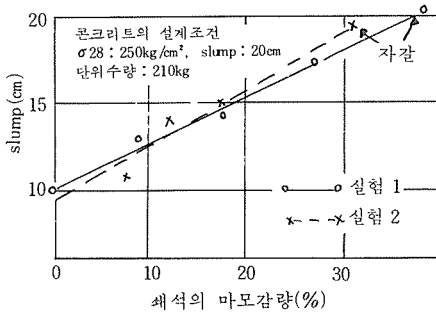


그림 3. 채석의 마모감량과 Slump와의 관계

또한 40%골재에서도 실적율이 60, 64, 68%로 다를 경우 각각 178, 166, 154kg/m<sup>3</sup>가 되며 실적율 1%증가에 대해서 단위수량이 3~4 kg 증가하게 된다.

• 실적율

실적율은 JISA5005에 55%이상으로 규정하고 있으며 狹田씨등의 연구에서는 채석43종의 실적율이 52~61%, 자갈은 63~64% 일본건설성에서는 채석은 55~60% 자갈은 62~66%로 보

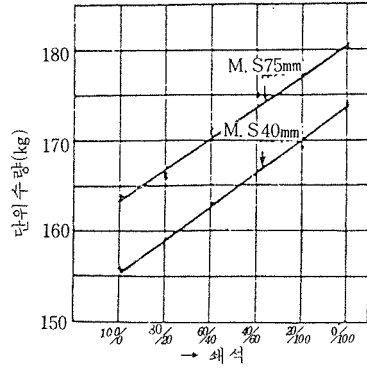


그림 4. 채석혼입율과 단위수량비교

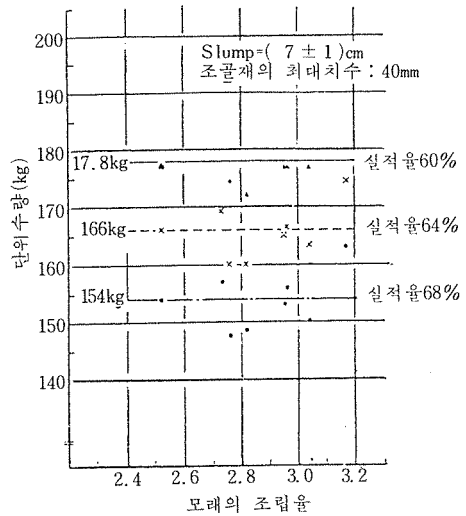


그림 5. 조골재의 실적율과 단위수량과의 관계

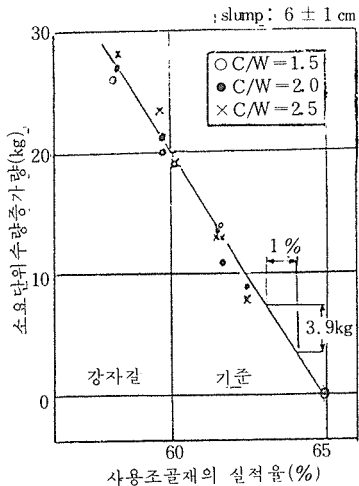


그림 6. 조골재의 실적율과 소요단위수량, 증가량의 관계

고 하고 있다. 또한 쇄석은 파쇄시에 골재의 입형등이 많이 생기게 되어 하천자갈과 비교할때실적율이 큰차이가 있기 때문에 동일 稠度(Slump)의 콘크리트로 제조하려면 단위수량을 약 10% 정도 증가시켜야 한다.

• 異物質의 영향

골재의 산지와 채취장소가 다양하기 때문에 골재중에 함유된 불순물은 복잡하며 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 하천골재 : 유기불순물 이토 점토피
- ② 바다골재 : 염분, 이토 조개껍질
- ③ 쇄석골재 : 석분, humin acid

특히 유기불순물에는 humin acid, 탄닌산등이 있는데 이것들이 함유된 골재를 사용할 경우는 시멘트층의 CaO와 반응하여 유기탄산염을 생성하여 시멘트의 응결이 지연되고 경화도 지연되며 또한 수축변형도 증가 된다. 泥分을 다량 함유한 골재를 사용한 콘크리트에서는 동일한 주도를 얻기위해서 단위수량이 증가되고 이로 인한 건조수축의 증대, plastic 균열등의 문제가 있다.

한편 쇄석중에 함유된 석분은 석회암쇄석의 제조에서 특히 많이 발생하며 현 제조 system으로서는 微粉을 5~7%정도이내로 하는것은 곤란한 실정이다. 微粉量이 많은 골재를 사용하는 경우는 골재와 시멘트 paste와의 부착을 저해시켜 강도저하를 일으키는 원인이 되므로 KS F 2511에서는 씻기시험 손실량을 1.0%이하로 규정하고 있으나 골재에 함유되어있는 상태와 량

에 따라서 오히려 좋은 결과를 가져오는 때도 있기 때문에 토목·건축학의 콘크리트 표준시방서에서는 조골재의 경우 씻기시험의 손실량의 한도를 쇄석분일 경우는 1.5%이하로 규정하고 있다.

2) 세골재율(s/a)의 증가

일반적으로 세골재율을 작게하면 소요의 Workability를 얻기위하여 필요한 단위수량이 감소되고 따라서 단위시멘트량이 적어져서 경제적 으로 된다. 그러나 세골재율을 지나치게 줄이면 콘크리트가 거칠어지고 재료의 분리가 일어나며 Workable한 콘크리트를 얻기가 어렵게 된다. 세골재율과 Slump와의 관계를 보면 단위수량이 클때는 세골재율의 변화에 따라 Slump 치의 변동이 크며, 단위수량이 작을 때는 세골재율의 변동이 그리크지 않으면 Slump의 변동이 없다. 그림 7에서 보는바와 같이 쇄석콘크리트에서 쇄석혼입율이 크면 클수록 최적 세골재율이 증가하는 것은 일반적이고 자갈콘크리트에 비해 쇄석콘크리트의 최적 세골재율은 대개 3~5%정도가 높은것으로 알려져 있다. 한편 조골재의 실적율은 입형, 최대치수가 변화하면 당연히 변화하고 쇄석의 혼입량에 따라서도 실적율이 저하하므로 최적 세골재율은 그림 8과 같이 직선적인관계가 있으며 대략 공극율(100-실적율)이 1%증가에 따라서 최적 세골재율의 증가는 0.8%가 된다. 또한 C/W, 주도(Slump)를 일정하게 하면, 세골재의 조립율과 조골재의 실적율이 s/a와 깊은 상관관계가 있으며 그

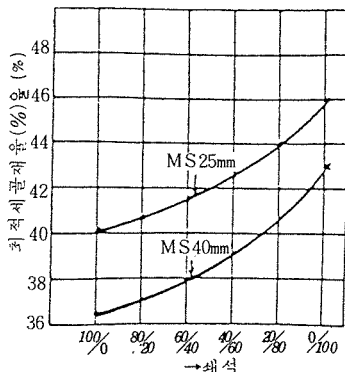


그림 7. 쇄석혼입율에 따른 최적 s/a의 비교

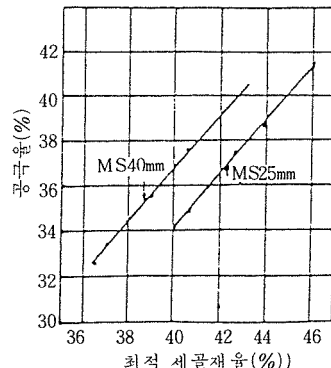


그림 8. 최적세골재율과 공극율과의 관계

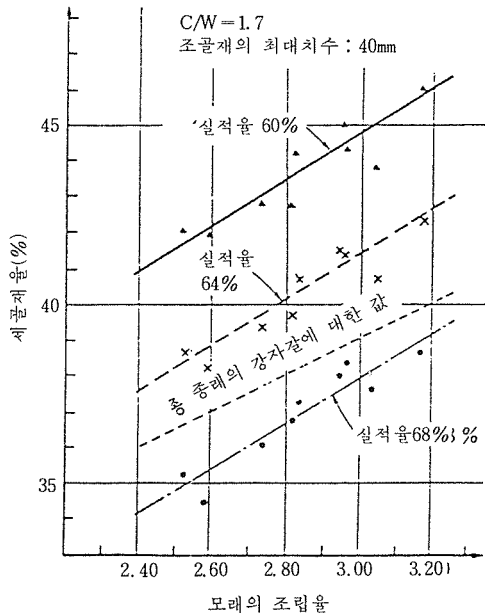


그림 9. 쇄석 콘크리트의 최적 세골재율에 관한 실험

림 9에서 보는바와 같이 40%골재의 경우 세골재율이 클수록 s/a는 작아지며 실적율 1% 증가에 따라 약 0.7%씩 적어짐을 알수 있다. 또한 竹林의 시험결과는 그림 10, 11, 12에 나타낸 바와같이 단위시멘트량이 300kg/m<sup>3</sup> 경우 s/a가 46~50%이고 500kg/m<sup>3</sup>의 경우 46%에서 slump가 최대이나 압축강도치는 시멘트량 300kg/m<sup>3</sup> 경우 s/a가 50%, 500kg/m<sup>3</sup> 경우는 42%부근에서 가장 높으며 종합적으로 Workability나 강도를 감안하면 콘크리트의 s/a는 시멘트량 300kg/m<sup>3</sup>에서는 50%내외이고 500kg/m<sup>3</sup>에

서는 42~46%가 가장 적당한 것으로 보인다.

### 3-2 압축강도

단위시멘트량과 slump를 동일하게 조정하면 쇄석콘크리트는 강자갈콘크리트에 비해 단위수량을 5~10%정도 증가시키면 그림 13, 14와 같이 압축강도는 약간의 차이는 있지만, 휨강도는 쇄석혼입율이 증가함에 따라 오히려 향상된다. 또 W/C비가 50%이상의 콘크리트에서는 쇄석과 몰탈경계면에 Bedding수나 공극부분이 많아지기 때문에 쇄석의 압질적 영향이 미치지 못할 것으로 생각되며 압축강도 300~400kg/cm<sup>2</sup> 이하에서는 혼합수량을 좌우하는 쇄석형상이나 입도가 비슷하다면 쇄석압질이 다르므로써 생기는 강도발현의 차는 적다고 생각된다.

그러나 고강도(500kg/cm<sup>2</sup> 이상)가 되면 쇄석과 몰탈간의 경계면이 치밀한 조직이되어 쇄석고유의 압질적인 성질이 작용하여 쇄석종류에 따라 강도차가 있을것이라고 생각된다. 한편 쇄석콘크리트는 쇄석의 입형이 얇고 가늘고 길지 않은한 일반적으로 단위시멘트량이 300kg/m<sup>3</sup> 이상의 배합일때, 28일 강도는 일반적으로 강자갈콘크리트보다 크다. 이것은 콘크리트의 파괴가 골재와 시멘트페이스트(또는몰탈)와의 脫離로 보면 쇄석콘크리트는 골재와 페이스트가 일반 강자갈에 비해 밀착이 잘된것으로 볼수있는 까닭에 파괴가 지연된다고 할수 있다. 재령 28일의 고강도콘크리트에서는 쇄석이 유리하다고 보고되고 있다. 그러나 빈배합일 때는 부착강도가 저하되어 파괴가 쉽게되며 휨강도는 일반 강자갈콘크리트보다 크다는 것이 정론으로 되어있

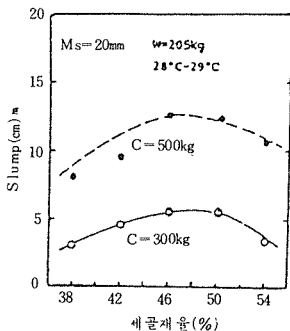


그림 10. 세골재율과 slump

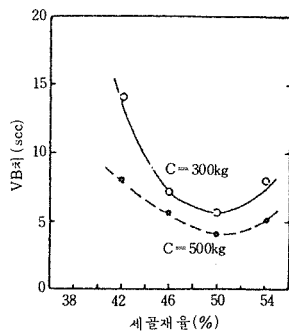


그림 11. 세골재율과 VB치

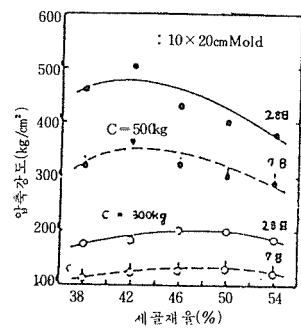


그림 12. 세골재율과 압축강도

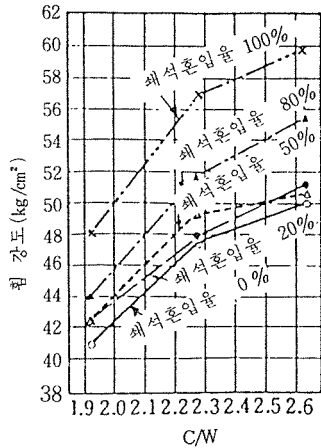


그림 13. 시멘트, 물비와 휨 강도

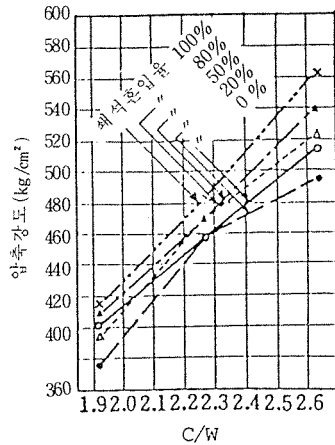


그림 14. 시멘트, 물비와 압축강도

### 3 - 3 건조수축

쇄석콘크리트에서는 단위수량증가로 건조수축이 크게 될 것으로 예상하지만 井玄昌男 등의 실험 결과에서는 그림 15와 같이 예상과는 달리 보존기간 8 주까지는 강자갈콘크리트(R-R) 보다도 오히려 적으며 보존기간 26 주에서는 거의 같다고 보고하고 있다. 그리고 重量減少率도 작다 이것은 碎石粉으로 인해 保水性이 양호하여 지므로 건조수축을 억제하는 한 원인이라고 볼 수 있다.

### 3 - 4 동결융해 내구성

西林新藏 등이 안산암쇄석과 강자갈을 사용하여 배합별로 동결융해 Cycle을 300회까지 시험한 결과에 따르면 단위시멘트량 400kg/m³의 것은 혼화제의 종류나 쇄석혼입 비율에 관계없이

상대동탄성계수는 98-100%, 중량감소율은 0.2~0.7%이었고 단위시멘트량 280kg/m³의 콘크리트에서는 쇄석혼입율이 크면 상대동탄성계수의 저하율이나 중량감소율이 증가되며 혼입비율 100% (쇄석콘크리트)에서는 형입비율이 0% (보통콘크리트)의 경우보다도 상대동탄성계수는 약 7%가 저하하며 중량감소율은 3.5% 증가된다. 그리고 공시체의 파손상태를 보면 몰탈부분의 표면박리정도이며 조골재의 파괴는 나타나지 않는 것으로 보아 강자갈 콘크리트와 별 차이가 없는 것으로 생각된다.

## 4. 쇄사를 사용한 콘크리트의 특성

쇄사를 사용시 콘크리트의 배합은 그림 16에

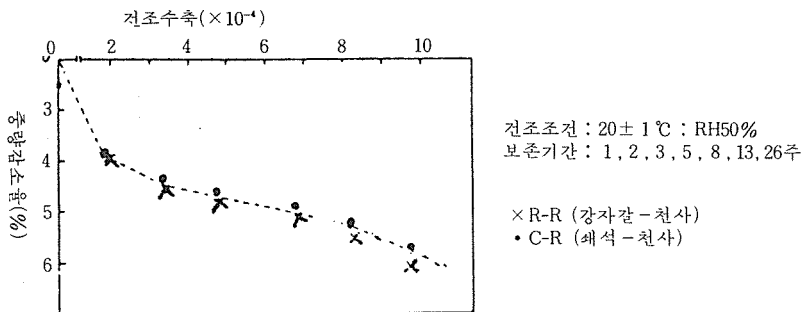


그림 15. 건조수축과 중량감소율과의 관계



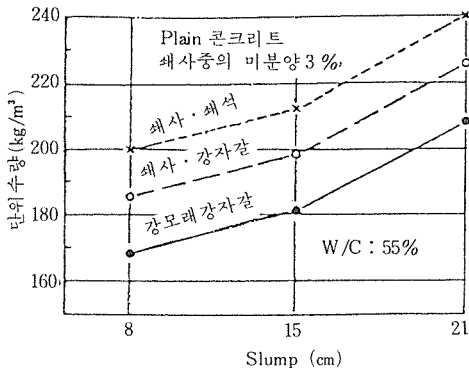


그림 16. Slump와 단위수량

서와 같이 사용재료별로 slump와 단위수량이 각각 다르며 천사를 사용한 콘크리트와 비교해 볼때 쇄사·쇄석 콘크리트로 될수록 입형의 영향을 받아 동일 slump에서 단위수량이 증가하게 된다. 또한 동일 강자갈을 사용하고 세골재를 천사와 쇄사를 각각 사용하여 시험한 결과에 따르면 쇄사콘크리트의 단위수량은 보통 4~5% 정도증가한다고 보고 하고 있다. 그래서 쇄사를 사용할때는 감수제등을 사용해서 콘크리트의 단위수량을 적게할 필요가 있다. 또한 쇄사중에 微粉量이 증가하면 콘크리트의 점성이 증가하여 slump를 저하시킨다. 그러므로 동일 Workability를 얻기위해서는 微粉量의 증가에 따라 단위조골재 Bulk용적을 증가시킬 필요가 있다. 그림17은 微粉량과 s/a관계를 나타낸 것으로 slump21cm의 경우 微粉量 1%증가에 따라 微粉量 5%이하에서는 0.7~0.9%, 微粉量 5-10% 정도의 범위에서는 0.3~0.5% s/a를 감소시키는 것이 좋다고 알려져 있으며 slump 15cm이하에서는 s/a가 21cm때보다 약 반정도로 감

표 6. 콘크리트의 배합

미분양 (%)	W/C (%)	s/a (%)	물 (kg/m³)	시멘트 (kg/m³)	단위조골재량 (m³/m³)	결과 slump (cm)
0.	65	48.5	224	345	0.529	20.8
1.9	65	47.0	222	342	0.546	20.7
3.8	65	45.6	222	342	0.560	21.0
7.0	65	44.0	222	342	0.578	20.8
10.0	65	43.5	224	345	0.583	20.4

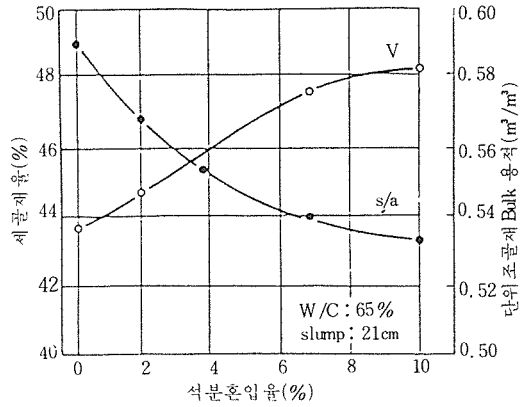


그림 17. 석분양과 세골재율

소시키면 좋다고 보고하고 있다. 이와같이 보정을 하면 微粉量이 10%이내에서는 표 6 과 같이 단위수량을 변화시키지 않고도 Workability를 유지하는 것이 가능하며 콘크리트의 압축강도를 그림18에 나타낸 바처럼 천사콘크리트보다도 높게 되는것이 보통이다.

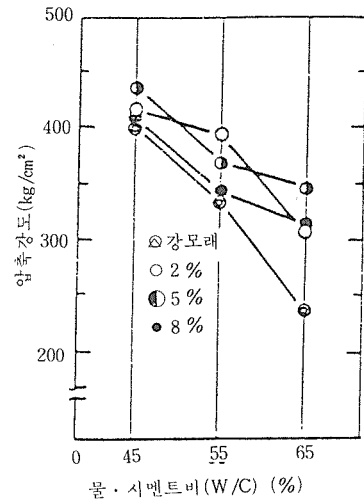


그림 18. 쇄사 콘크리트의 압축강도

### ① 굳지않는 콘크리트의 성질

#### 1) 단위수량

단위수량을 증가하면 콘크리트의 consistency가 크게되어 slump는 증가하며 여기에 입형이 양호한 Fly-Ash를 소량 첨가하면 Workability가 향상되어 약간의 단위수량을 감소시키지만

微粉일 때는 일반적으로 단위수량이 급격히 증가되는 경향이 있다. 그림19에서는 안산암쇄사를 사용 단위시멘트량 300kg/m<sup>3</sup>, W/C45,55, 65% s/a 42%로 하였을때 微粉혼입율의 변화에 따라slump의 변화를 나타낸 것으로 微粉량의 증가에 따라 동일 W/C에서 slump는 급격하게 감소하게 된다.

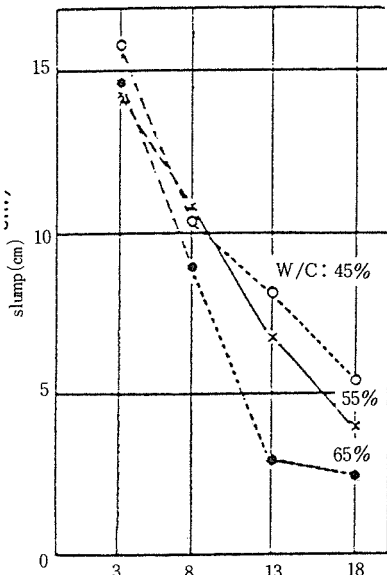


그림 19. 석분혼입율(%)

## 2) Bleeding량

쇄사를 사용한 콘크리트의 Bleeding을 그림20에 나타낸바와 같이 콘크리트의 Bleeding 양은

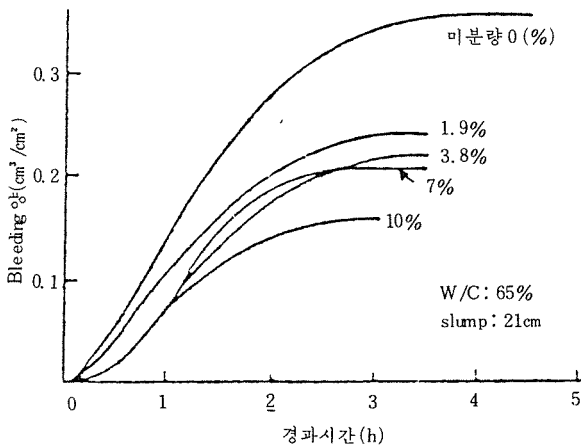


그림 20. 쇄사중의 미분량과 Bleeding양

碎砂中の 微粉量 혼입량이 많을수록 적게 되는 경향이 있고 微粉量 2 - 7%의 범위에서는 거의 차이가 없으며 微粉량이 10%정도되면 Bleeding량은 대단히 적게되어 그영향이 현저히 나타나는데 이는 미립자의 보수작용에 의해 수분이 미립자의 표면에 흡착되는 현상이라고 볼수있다.

## 3) 응결시간

그림21은 proctor penetration방법에 의한 콘크리트의 응결시험결과를 나타낸 것으로 콘크리트의 응결시간은 초결 종결 모두 쇄사중의 미분량의 증가에 따라 빠르게 되는 경향이고 미분량이 2 - 7%의 범위에서는 Bleeding량과 같은 樣狀으로 거의 변화하지 않으며 미분량이 10%로되면 미분량 0% 콘크리트에 비해서 초결이 50분, 종결이 70분정도 단축되는 것을 알수있다. 이것은 Bleeding性狀과 관련하여 특히 燻中콘크리트의 운반과 콘크리트다짐 및 타살후 표면마무리 시기에 대해서 충분히 고려 되어야 된다.

## 4) 공기량

공기량은 모래의 입경, 석질의 표면조직에 따라서도 약간의 차이를 가져올 수 있으며 특히 미분량과 공기량과의 관계는 미분량 증가에 따라 공기량은 감소하게 된다. 혼입량 증가에 따른 공기 연행성의 불량이 현저하게 나타날때는 혼화제의 사용이 바람직하다. 특히 공기량에 영향을 주는 인자로서는

- 시멘트 사용량이 많을수록 또 분말도가 높을수록 AE량의 손실이 크며 따라서 AE제의 첨가량이 많게 된다.
- 세골재의 량과 consistency가 크게 되면 공기연행성이 증가된다.
- Vibrator를 사용하여 다지면 concrete 中의 비교적 큰 기포가 상실되어 공기량이 감소된다. 내부다짐과 외부다짐을 비교하면 내부다짐 영향이 크며 다짐시간의 영향도 4분까지는 시간에 비례하여 감소하지만 그 이상일 때는 그 감소율이 줄어든다.
- 콘크리트온도가 낮으면 연행공기량이 증가한다.

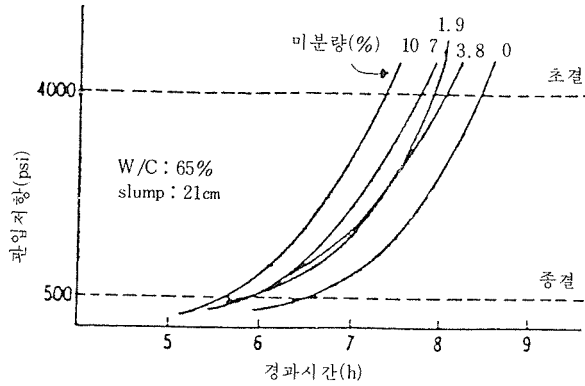


그림 21. 콘크리트의 응결시간

## ② 경화콘크리트의 성질

### 1) 강도

쇄사의 미분량과 압축강도는 그림22에서 보는바와같이 물·시멘트비(W/C)를 일정하게 할 때 미분량 10%이하의 범위에서는 미분량 변화에 따른 영향은 거의 없는것으로 나타나며 인장강도나 부착강도로 같은 경향이다. 그리고 그림23에서와 같이 기중양생(온도 20°C, 습도 70% 항온실)의 압축강도에 대하여 표준양생의 압축강도를 100으로 기준하면 재령 7일에서 90-99% 28일 재령에서 60~70% 91일 재령에서는 55~62%로 되지만 쇄사중의 미분량이 증가함에 따라 강도저하율의 경향이 있으며 이는 건조에 의한 미분량의 영향이 일부 나타나는 것이라 추측된다.

### 2) 동결융해내구성

그림24는 쇄석·쇄사콘크리트의 동결융해 시험을 W/C60%, slump18cm에서 쇄석·천사 콘크리트와 비교한 것으로 plain-콘크리트는 AE

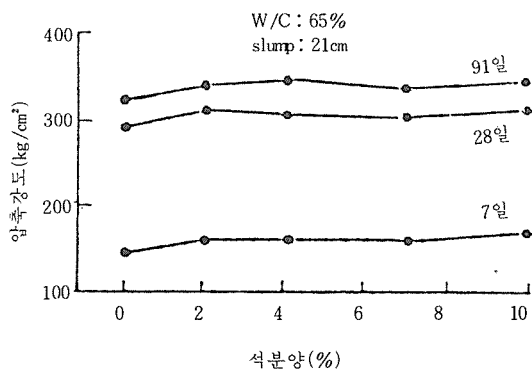


그림 22. 미분량과 압축강도와의 관계

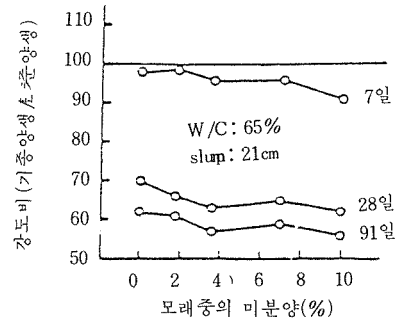


그림23. 표준양생에 대한 기중양생의 압축강도비

콘크리트보다 전반적으로 열화가 심하며 쇄석·천사콘크리트가 쇄석·쇄사콘크리트보다 더욱 심함을 보여주고 있다.

### 3) 건조수축

쇄석·쇄사콘크리트의 건조수축에 대한 何部道産 등의 시험결과에 따르면 보존기간 13주까지는 Plain콘크리트나 AE콘크리트 어느 경우에서도 쇄석·천사콘크리트와 큰차가 없다고 보고하고 있다.

## 5. 골재의 低品質化에 對한 對策

쇄석·쇄사는 그 생산 system에서 불가피하게 많은 미분을 함유하게 되고 입형이 불량하고 그리고 입도분포가 종래의 하천 골재보다 불량하기 때문에 콘크리트의 품질에 큰 영향을 미친다고 생각된다.

### 5-1 쇄석의 효과적 사용방안

#### 1) 혼화제 및 혼화재 사용

쇄석골재의 가장 큰 결점인 입형, 표면형상

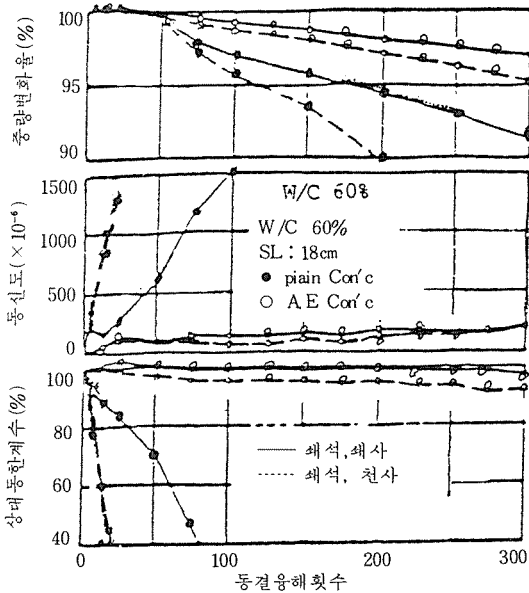


그림 24. 쉐석·쇄사콘크리트의 동결 융해저항

등만 보완되면 보통콘크리트와 동등 또는 그 이상의 품질을 유지할 수가 있으므로 쉐석 혼입량에 대응하여 사용시멘트 일부를 Fly-Ash로 대체하면 Fly-Ash의 양호한 입형으로 slump가 개선됨을 표 8에서 보여주고 있다. Fly-Ash를 시멘트중량의 10~30% 정도 대체하면 보통콘크리트(C : 300kg/m<sup>3</sup>)에서는 단위수량이 3 ~

4% 정도가 감소되며 압축강도는 재령 28일 까지는 약간 적으며, 91일이상이 되면 포조란반응이 진행되어 Plain콘크리트(Fly-Ash무첨가)와 큰차가 없다. 또한 혼화제(재)를 병용하여 사용하면 그림25에서 보는 바와 같이 시멘트의 30%를 Fly-Ash도 대체한 쉐석 콘크리트에 AE제(빈술)0.02%를 첨가하면 강자갈 콘크리트의 slump와 같게 되고, Fly-Ash를 혼입한 쉐석콘크리트에 빈술-0.04% 첨가한 것은 0.02% 첨가한 강자갈콘크리트의 slump와 비슷하게 된다.

2) 실적유향상

쉐석콘크리트의 단위수량 증가는 쉐석골재의 모서리각과 표면형상의 불량 등으로 인한 실적을 감소라 할수 있으며 그 정도는 모암의 종류, 破碎方法에 따라서 다르나 石灰石 岩 등은 비교적 良形이 되기쉽고 斑石岩系統의 것은 모서리각이 크게되기 쉽다. 그리고 생산·파쇄시에 입자가 충격을 받는 회수가 많으면 많을수록 銳角, Flat한 程度가 적어진다. 따라서 粉碎機로써는 충격식이 좋기 때문에 破碎行程을 몇 段階 통하는 機構가 좋으며 쉐석의 모서리각이나 표면형상을 보다 개선하기 위해 쉐석의 표면 마모량을 30%이상으로 하여 실적유향을 향상시키면 강

표 7. 콘크리트의 배합

MAx Size (mm)	W (kg)	fly-ash 대체율 (%)	C (kg)	단위 flyash 양 (kg)	W/C (W/C+F)	s/a (%)	S (kg)	G (kg)
	155	0	300	0	51.7	47	916	1,034
		10	270	30	"	"	911	1,027
		20	240	60	"	"	905	1,021
		30	210	90	"	"	899	1,014
		40	180	120	"	"	894	1,008
25	175	0	300	0	58.3	47	892	1,006
		10	270	30	"	"	886	1,000
		20	240	60	"	"	881	993
		30	210	90	"	"	875	987
		40	180	120	"	"	869	980
195	155	0	300	0	65.0	47	868	978
		10	270	30	"	"	862	972
		20	240	60	"	"	856	965
		30	210	90	"	"	850	959
		40	180	120	"	"	845	953

표 8. Slump 측정치

단위수량 fly ash 대체율(%)	195					175			155		
	0	10	20	30	40	0	20	40	0	20	40
0	19.4	19.8	20.4	20.5	22.1	9.5	13.7	17.8	2.0	4.1	9.3
10	17.5	17.8	19.2	20.4	21.0						
20	16.5	17.1	18.8	19.9	21.5	9.3	12.3	17.0	1.6	2.5	7.8
30	16.2	16.6	17.8	19.0	20.1						
50	15.2	15.9	18.0	19.2	20.2	8.1	13.0	15.6	0	2.0	5.8
75	12.9	15.0	17.3	17.7	19.8						
100	12.3	13.6	16.0	17.0	20.0	6.0	10.5	12.0	0	1.0	4.9

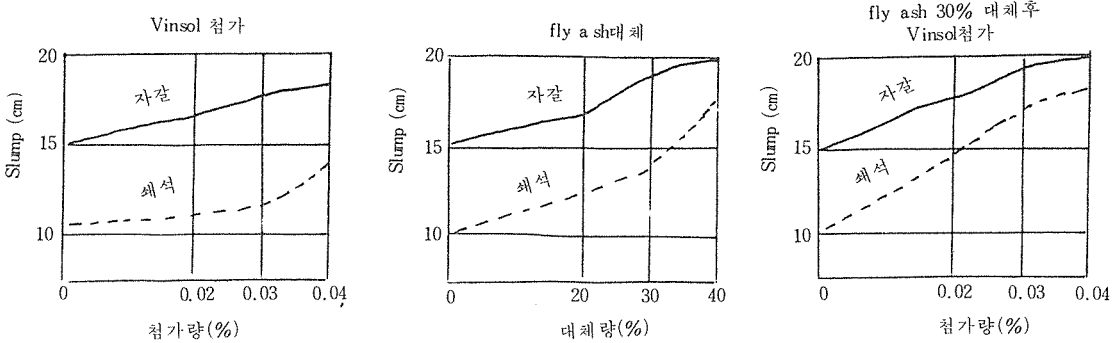


그림 25. 혼화제와 fly ash첨가시 slump비교

자갈콘크리트와 거의 유사한 Workability(slump)를 얻을 수가 있다.

3) s/a상향조정

쇄석콘크리트의 최적 s/a는 최대골재치수에 크게 관여하지 않으며 3 - 5% 정도 증가하면 자갈콘크리트와 유사한 Workability를 얻을 수 있고 쇄석골재의 실적율이 1% 감소함에 따라 s/a는 0.8%정도 증가되어야 한다.

② 쇄사의 효과적 사용방안

1) 쇄사 제조시 고려될 사항

쇄사도 원석의 종류 그리고 파쇄기종에 의해 입도입형이 달라지게되며 제조과정상 미분량의 혼입이 불가피하므로 이로인한 콘크리트의 유동성, 불량 단위수량증가 연행공기량감소 등의 문제가 있으므로 제조시 입로는 적정입도를 유지하고 입형은 가능한 球形에 가깝게 그리고 미분량의 혼입을 최대한 막아질수 있는 생산방식을 채택강구하여야 한다.

2) 쇄사콘크리트의 제조시 고려될 사항

쇄사를 사용할때 콘크리트 배합은 동일한

Workability를 얻기위하여 천사를 사용할때 보다 단위수량을 4 - 5%정도 높히는 것이 좋으며 단위조골재 Bulk용적과 세골재율 간의 관계를 고려하여 s/a를 감소시키고 이에따라, 단위조골재 Bulk용적을 증가시킴으로써 해결할수 있다. 그리고 미분량증가에 따른 응결시간 단축, 연행공기량감소에 대한 대책으로 혼화제사용이 바람직하다.

6. 결 론

쇄석·쇄사는 하천골재자원의 고갈로 새로운 자원으로 사용하게 될 것이 예상되나 쇄석콘크리트개조시 그의 물성 저하의 문제는 있지만이 의 해결을 위해 배합조건의 변경, 혼화제 사용, 쇄석·쇄사의 적정 생산방식 채택등의 적극적인 해결방안을 강구하므로써 보통콘크리트와 동등하거나 그이상의 양질의 콘크리트를 제조할수 있도록 골재의 기초성질, 콘크리트제조실험 등의 구체적이고 본격적인 검토가 뒷받침 되었으면 한다. \*