

시멘트 및 골재의 품질이 콘크리트 강도에 미치는 영향에 대한 고찰

姜 勳

〈高麗産業開發(株) 品質管理部〉

目 次

1. 서 론
2. 콘크리트 강도 원리
 - (1) 강도의 기본원리
 - (2) 강도의 이론
 - (3) 콘크리트 강도에 영향을 미치는 요인
3. 시멘트의 품질과 콘크리트의 강도
 - (1) 시멘트의 화학성분
 - (2) 시멘트의 비중
 - (3) 시멘트의 분말도
 - (4) 시멘트의 강도
 - (5) 단위 시멘트량
4. 골재의 품질과 콘크리트의 강도
 - (1) 골재의 역할
 - (2) 골재의 입자크기와 강도
 - (3) 잔골재율과 강도
 - (4) 골재의 품질과 강도
 - (5) 골재에 포함된 불순물과 강도
 - (6) 골재의 표면수와 강도
5. 결 론

1. 서 론

최근에 토목, 건축 구조물의 수요증대와 더불어 건설공사가 대규모화, 다양화 하는 추세에 있다. 이와 같은 요구에 합당하기 위한 콘크리트용 건설재료면에서는 고강도화, 품질의 다양화, 경량화 및 자원고갈에 따른 대체재료

개발 및 활용방안 등 복잡다단한 발전 추세에 있는데, 본 연구에서는 콘크리트의 주 구성재료인 시멘트 및 골재에 대하여 각 재료별 품질이 달라짐에 따라 강도에 어떠한 영향을 미치는가에 관하여 문헌 조사를 토대로 여러 분야를 종합하여 실무 이용 및 활용에 참고가 되도록 자료를 제시하고자 함에 목적을 두고 본 연구를 실시하였다.

2. 콘크리트 강도 원리

(1) 강도의 기본원리

콘크리트란 구성물질인 골재입자(Particle)를 접착제인 시멘트 풀(Cement paste)로 접착시킨 二相물질(Two-phase material)로서, 강도 100~300kg/cm² 정도 나타낸다. 그렇다면 이것은 골재보다 접착제인 시멘트풀의 강도에 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다. 즉 물·시멘트풀(W/C) 이론으로 설명될 수 있다. 그러나 콘크리트의 강도를 논할 때는 그리 단순하지는 않다. 시멘트 페이스트의 농도외에 골재의 자체강도, 시멘트의 표면적, 골재표면의 접착력, 골재간의 결합력, 공극, 기타 많은 요소가 강도에 영향을 미치고 있는 것이어서 복합적인 개념으로 콘크리트 강도의 원리를 해석하여야 될 것이다.

(2) 강도의 이론

콘크리트는 구조용 재료로서 중요한 자리를

차지하면서부터 그 강도에 관한 연구는 여러 학자들에 의하여 활발히 진행되어 많은 이론 및 학설들이 등장하였다. 이와 같은 이론을 개관하면 다음과 같다.

① 최대 밀도 이론 : 1917년 Taylor와 Thompson에 의해 발표된 이론으로 최대 밀도 또는 최대 강도의 콘크리트를 얻기 위하여는 사용골재의 공극을 적게 할 목적으로 간·굵은골재의 입도 및 혼합비에 관한 연구에 진행된 것이다.

② 표면적 이론 : 1918년 Edwards에 의하여 발표되었는데 이론은 콘크리트 강도는 골재의 전표면적에 대한 시멘트의 중량에 의하여 결정되고 콘크리트의 유동성을 얻기 위한 수량을 시멘트의 양과 골재의 표면적과의 함수로 생각하여 배합을 골재 표면적에 대한 시멘트 중량에 의해 정하려고 한 것이다.

③ 물·시멘트비 이론 : 1919년 Abrams에 의하여 발표된 학설로서 골재의 조립율과 물·시멘트비의 관계를 구해서 콘크리트의 강도를 물·시멘트비의 함수관계로 표시할 수 있다는 것으로 현재에도 광범위하게 채용되고 있다.

④ 시멘트 공극 이론 : 1921년 Talbot는 시멘트 공극이론을 발표하여 콘크리트 강도는 물·시멘트비의 함수관계만으로는 표시가 불가능하고 시멘트의 공극비의 함수관계로 표시하는 것이 합리적이라는 것을 강조하였다.

⑤ 시멘트·물비 이론 : 1932년 Lyse가 제창한 것으로 물·시멘트비 이론과 다른 것은 수량을 표시하는 방법을 W/C의 역수로 취하는 것으로 이는 강도와 실용범위에서는 직선관계가 되어 편리한 것으로 현재 가장 많이 이용되고 있다.

(3) 콘크리트 강도에 영향을 미치는 요인

전술한 바와 같이 콘크리트의 강도는 대단히 복잡한 면을 갖는데 대표적인 콘크리트 강도에 영향을 미치는 要因을 분석하면 다음과 같다.

① 材料 자체의 성질 : 콘크리트를 구성하는 시멘트, 모래, 자갈, 물 및 혼화제가 어떤 품질 및 종류를 사용하였느냐에 따라 콘크리트 강도에 영향을 미친다.

② 材料의 配合比率 : 시멘트와 물의 배합비율 W/C 및 잘골재와 굵은 골재의 혼합비율인 S/A 콘크리트 中の 혼화제 첨가량 등 전체 혼합물질의 배합비율이 강도에 중요한 영향을 미친다.

③ 배합방법 및 시공방법 : 콘크리트의 혼합을 완전히 하여 재료의 분리 및 未 혼합됨이 없이 균일물질로 만들기 위한 혼합방법의 차이, 혼합시간의 차이, 운반요인, 타설시 다짐 및 재료분리 등의 시공방법 및 시공요인도 콘크리트의 강도에 영향을 미친다.

④ 콘크리트 부재의 형상 및 크기 : 동일재료의 콘크리트를 동일 시공 방법으로 완성시킨 콘크리트 일지라도 부재의 형상(평면적인 모양, 변형 구속여부) 및 크기(좌굴변형구속)에 따라 강도는 달라질 수 있다.

⑤ 콘크리트의 재령 : 콘크리트는 시멘트의 수화작용으로 강도를 발휘하는 지속성 반응재료로서 시간이 경과함에 따라 강도는 증가 혹은 풍화작용시는 감소한다.

⑥ 양생 : 시멘트 수화작용 속도는 외기에 영향이 큰데 즉 온도, 습도, 탄산가스, 선류작용 등 물리적 및 화학적 요인이 보양과 관계되어 강도 발휘에 영향을 미친다.

⑦ 시험 방법 : 동일 콘크리트의 공시체 일지라도 시험기구의 오차, 하중가력 속도, 가력장치, 공시체 표면 마감상태, 공시체 외부상태, 시험과 관련된 제반오차로 동일 강도의 콘크리트 일지라도 表現에는 영향을 미치게 된다.

⑧ 보강재의 有無 : 동일 콘크리트 구조물 일지라도 철근과 같은 보강재의 유무 및 상대라든가, 기타 Fiber 보강 및 Polymer 함침 등의 방법이 있다.

3. 시멘트의 품질과 콘크리트의 강도

시멘트는 보통 포틀랜드시멘트, 중용열 포틀랜드 시멘트, 조강포틀랜드 시멘트, 백색 포틀랜드 시멘트, 고로 슬래그 시멘트, 플라이애쉬 시멘트, 그리고 포틀랜드 포졸란 시멘트 등이

표-1. 포틀랜드 시멘트의 화학성분 범위 (%)

成分	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₂	強熱減量	不容殘分	비 고
%	20~24	5~7	2~4	62~64	1~3	1~2	1±α	0.5±α	일 본
%	17~25	3~8	2.5~6.0	60~67	1.0~4.0	1~3	1±α	0.5±α	미 국

있으며 주로 보통포틀랜드 시멘트를 많이 사용된다.

(1) 시멘트의 화학성분

시멘트는 석회석과 점토를 원료로 소성한 Crinker에 석고를 혼합 분쇄한 것으로서 그의 화학성분은 원료에서부터 기인된다고 볼 수 있다. 그런데 이와 같은 시멘트의 화학성분은 표 1과 같고 이와같은 화학성분의 화합물 조성은 다음과 같은데 각 화합물은 각각 고유의 특성 및 강도·수화발열량 수화속도에 영향을 미친다.

① Alit (3CaO, SiO₂) : Celit 보다 수화작용이 늦으나 오래 지속하여 강도 발현이 크며 수화열은 Celit 다음 높다. 중용열 포틀랜드 시멘트에서는 이 양을 50% 이하로 제한한다.

② Belit (2CaO, SiO₃) : Alit 보다 수화가 늦고 장기적인 강도가 크다.

③ Celit (3CaO, Al₂O₃) : 수화작용이 대단히 빠르므로 응결이 빨리 일어나고 수화열도 가장 높다. 그러므로 단점으로는 수축량도 가장 크기 때문에 안정성을 해친다. 중용열시멘트는 사용량을 8% 이하로 제한하고 있다.

④ Felit (4 CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃) : 수화작용이 늦고 수화열도 적으며 조기 및 장기강도도

낮은 것으로 수축율도 적다. 도로나 댐공사에 많이 포함되고 내구성, 내산성이 강한 장점이 있다.

(2) 시멘트의 비중

시멘트가 풍화하게 되면 비중이 감소하게 되며 강열감량이 크게 증가하며 강도 발현이 둔화되므로 비중을 측정하여 풍화의 정도를 확인한 다음 사용함이 바람직하다. 그러므로 동일 종류의 시멘트에서는 가급적 비중이 큰 것을 선택하는 것이 좋을 것이다.

풍화한 콘크리트의 강열감량과 강도와의 관계를 나타낸 한 예가 표 2이다.

(3) 시멘트의 분말도

비표면적으로 2600과 2800cm²/g 이상으로 규정되어 있으며 시멘트의 분말도가 콘크리트의 성질에 미치는 영향은 매우 크다. 시멘트의 분말도와 콘크리트의 압축강도와 사이에는 그림 1과 같은 관계가 성립된다. 특히 초기 재령에서 분말도가 클수록 콘크리트의 압축강도가 큰 것을 알 수 있다. 시멘트의 분말도가 콘크리트의 공기량에 미치는 영향을 보면 분말도가 증가함에 따라 A·E제의 소요량이 증가하며, Mayfield에 의하면 시멘트의 비표면적이 3750

표 2. 풍화한 콘크리트의 강열감량과 강도의 관계표

condition of cement	ignition loss (%)	3days		7days		28days	
		bend. str.	comp. str.	bend. str.	comp. str.	bend. str.	comp. str.
fresh cement	1.16	100	100	100	100	100	100
aerated cement A	1.41	83	98	98	92	93	97
" B	2.16	80	90	83	80	89	88
" C	3.16	68	68	70	70	72	65
" D	4.16	61	58	61	58	67	61

cm²/g인 경우는 비표면적 2750cm²/g인 시멘트를 사용한 경우보다 동일한 공기량을 얻는데 A·E제량이 약 1.5배 정도 소요된다고 한다.

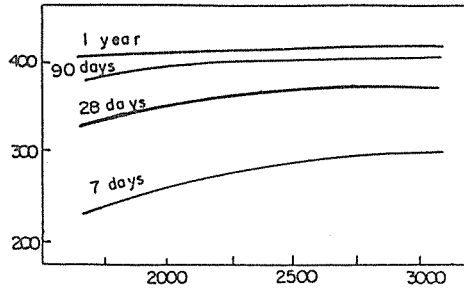


그림 - 1 시멘트 분말도와 압축강도의 관계

그림 2는 분말도가 각기 다른 시멘트를 사용한 콘크리트의 블리딩율을 나타낸 것으로 분말도의 증가는 콘크리트의 블리딩량을 크게 감소시킬 수 있는데 혼화제를 사용하는 경우에는 분말도에 따른 블리딩의 차가 감소하게 된다고 한다.

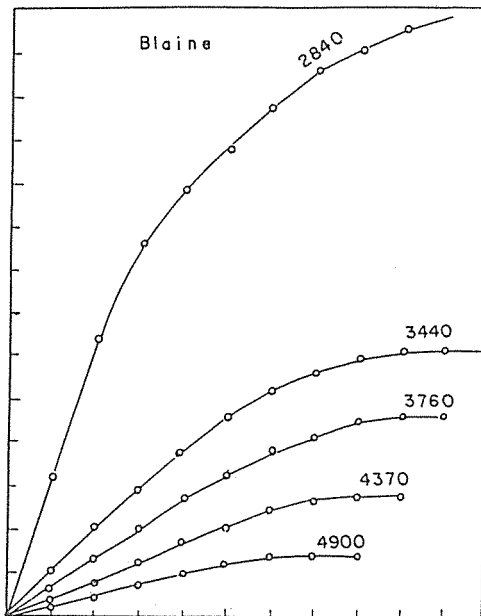


그림 - 2 분말도가 각기 다른 시멘트의 블리딩율

그러나 시멘트 분말도의 증가에 따라 응결, 경화 후 수축이 크며 균열발생의 가능성을 크게 하는 요인이 되고 풍화를 촉진하는 결점이 있기 때문에 시멘트의 분말도는 지나치게 너무 큰 값도 오히려 좋지 않다고 한다.

(4) 시멘트의 강도

시멘트 강도가 변동하게 되면 콘크리트의 강도가 변동하게 된다. 그 이유는 시멘트 강도(K)와 콘크리트 강도(O)와의 사이에는 일반적으로 $\sigma = K(AK + B)$ (여기서 X : 시멘트 물비)의 관계가 성립되기 때문으로써, 시멘트 강도의 월간 변동계수가 5~6%라고 하면 콘크리트의 강도는 10~20kg/cm²의 변동이 생긴다고 한다. 이와같이 시멘트는 콘크리트의 품질을 지배하는 요인 중에서 가장 중요한 요소이므로 시멘트의 저장이나 취급시에 특별히 유의해야 한다.

(5) 단위 시멘트량

고강도화 하기 위해서는 단위 용적당 시멘트 사용량의 증가가 필요하다. 이 내용은 단위시멘트 양을 증가함에 따라 W/C를 낮출 수 있으며 조골재의 Fractional volume을 낮게 할 수도 있다. 단위시멘트 양을 550~600kg/m³로 하고 Slump를 5~7.5cm로 하였을 때 대략 350~700kg/cm²의 고강도를 낼 수 있다고 한다. 50kg/m³당 약 70kg/cm²의 비율로 강도 증가를 약산할 수도 있다.

4. 골재의 품질과 콘크리트의 강도

(1) 골재의 역할

골재란 몰탈 또는 콘크리트를 만들기 위하여 시멘트와 물로 반죽되는 모래, 자갈, 쇄석, 기타 이와 유사한 재료로서 즉 결합재(matrix)에 의하여 뭉쳐져서 한덩어리를 이룰 수 있는 건설용 광물질 재료를 말한다.

골재는 콘크리트의 약 65~80% 정도의 용적을 차지하고 있는 것으로서 콘크리트에 대한 양

· 부의 영향은 대단히 크다. 이와 같은 골재의 역할은 다음 4 가지로 서술될 수 있다.

① 충전재 : 비싼 결합재 (Cement paste) 에 싼 골재를 충전재로 사용하여 전체적으로 경제적 구조물을 축조한다.

② 안정재 : 결합재는 기상변화에 의하여 부피 또는 성질변화가 많을 경우에 골재의 안정된 성질에 변동 방지 또는 조절작용을 하게 된다.

③ 내구재 : 골재는 변형, 마모, 풍화 침식작용에 대하여 저항하는 조직 또는 구조를 이룬다.

④ 보강재 : 콘크리트가 고강도화 할 때에는 골재 자체강도 부족이 콘크리트 강도의 결정요인이 되는데 이런 경우에 골재는 자체강도가 큰 것이 유리하여 즉 골재는 보강재의 역할을 하게 되는 것이다.

참고로 콘크리트용 골재 및 부순물에 관한 한국공업규격의 물리적 성질은 표 3 이다.

(2) 골재의 입자크기와 강도

일반적으로 콘크리트의 강도는 사용 굵은 골재의 입경이 클수록 저하한다. 또한 W/C가 낮을수록 입경증대에 따른 강도저하는 더 크다.

굵은 골재의 입경이 작아지면 강도저하는 적어져서 몰탈강도와 같아질 수 있는데 이와같은 몰탈강도와 같은 강도를 나타내는 입경범위는 연구결과에 의하면 우리나라 한강산의 경우 굵은 골재와 잔골재의 한계입경인 5mm 라는 연구가 있다. 잔골재의 경우는 미세한 입자가 지나치게 많으면 강도는 저하한다. 물론 입자분포는 연속입자분포를 가지되 조립율(F.M)은 3.0에 가까울 때 고강도화에 유익한 것으로 연구 보고 되어 있다. 결과적으로 굵은 골재는 입경이 작을수록 잔골재는 입경이 클수록 고강도화할 수 있다.

표 3. 골재 및 부순물의 한국공업규격 물리적 성질

item	KSF 2526	KSF 2527
specific gravity	-	2.50 over
absorption (%)	-	3.0 under
soundness (%)		
• when sodium sulfate is used	12 under	12 under
• when magnesium sulfate is used	18 under	12 under
abrasion (%)	50 under	40 under

(3) 잔골재율과 강도

골재중 잔골재와 굵은골재의 배합비율(S/A)을 의미하는 것으로 단위시멘트량 320kg/m³ 물시멘트비 55%에서 잔골재율 0~100%까지 변화할 때 Slump치 및 압축강도는 그림 3 및 4와 같이 나타난다.

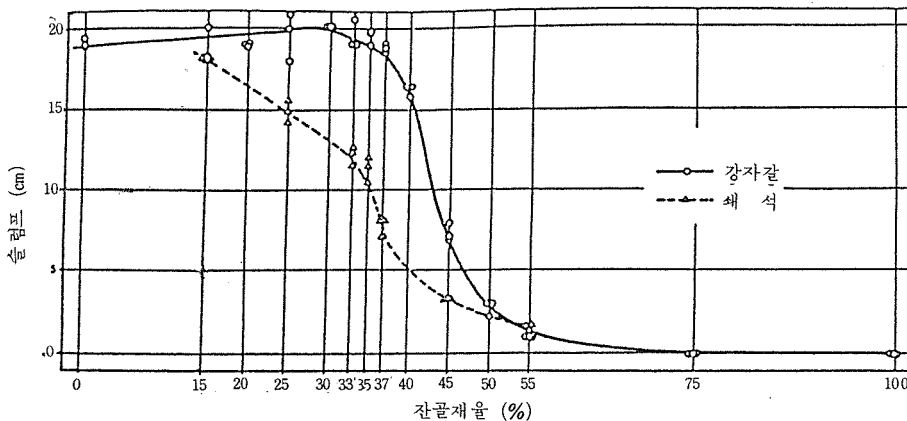


그림-3 잔골재율 변화에 따른 Slump치 비교

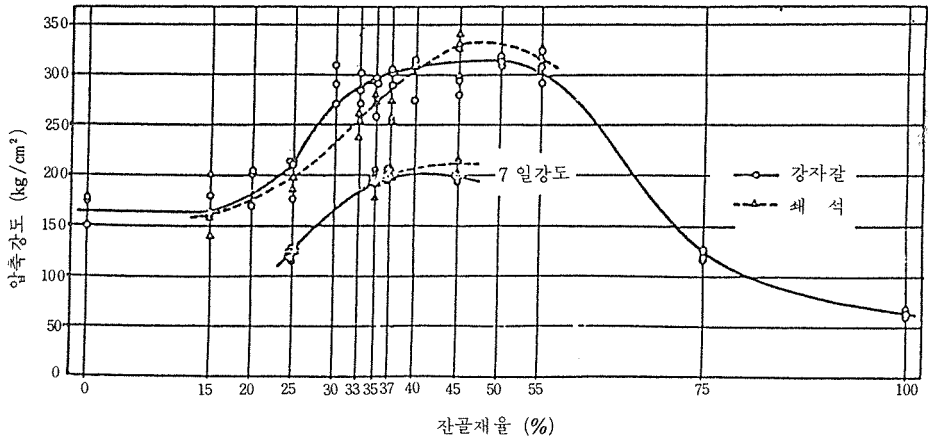


그림 -4 잔골재율 변화에 따른 압축강도 비교

즉 Slump치는 잔골재율 40~45% 범위에서 현격히 변하고 있고 강도는 40~55% 범위에서 최대값을 나타낸다.

그러나 물·시멘트비가 낮은 부배합의 경우는 잔골재율이 약간 낮은 범위에서, 물·시멘트비가 큰 빈배합의 경우는 약간 높은 범위에서 최대값을 나타낸다.

(4) 골재의 품질과 강도

골재의 품질을 알아보기 위하여 골재의 비중

과 흡수량 및 안정성 그리고 흡수량과 마모량과의 관계를 나타낸 것이 그림 5, 6, 7이다.

골재의 품질을 평가하기 위한 수단으로 비중과 흡수량을 이용한 것이 표-4이다. 알맞은 입도의 골재를 사용하면 단위수량이 감소되며 재료분리의 경향도 감소된다. 잔골재는 0.3mm체 통과량이 10% 이하인 경우 펌프 압송시 수송관이 막힐 우려가 있으며 재료분리를 일으키기 쉽고 블리딩이 크게 되고 30% 이상인 경우는 단위수량이 증가하게 된다고 한다. 또 0.15 mm

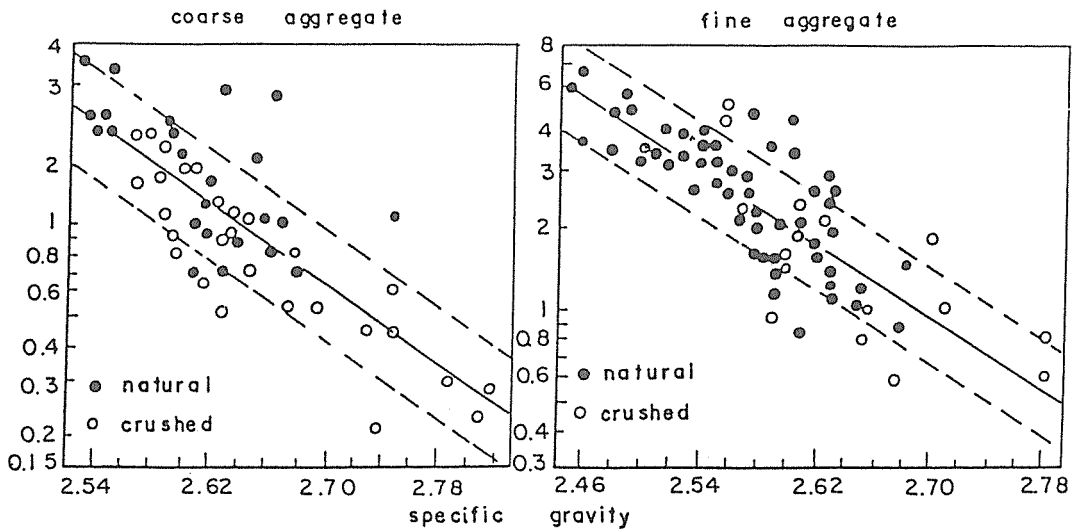


그림 -5 골재의 비중과 흡수량과의 관계

표 4. 골재의 비중과 흡수량

aggregate	grade	specific gravity	absorption (%)
coarss aggregate	A	2.68 over	1.0 under
	B	2.68~2.56	1.0~2.0
	C	2.56 under	2.0 over
fine aggregate	A	2.65 over	1.5 under
	B	2.65~2.50	1.5~3.5
	C	2.50 under	3.5 over

표 5. 잔골재의 유해량 한도

item	weight percent of total sample, max.
clay lumps	3.0
No. 200 sieve passing	
• concrete subject to abrasion	3.0☆
• all other concrete	5.0☆
coal, lignite	
• where surface a appearance of concrete is of importance	0.5
• all other concrete	1.0

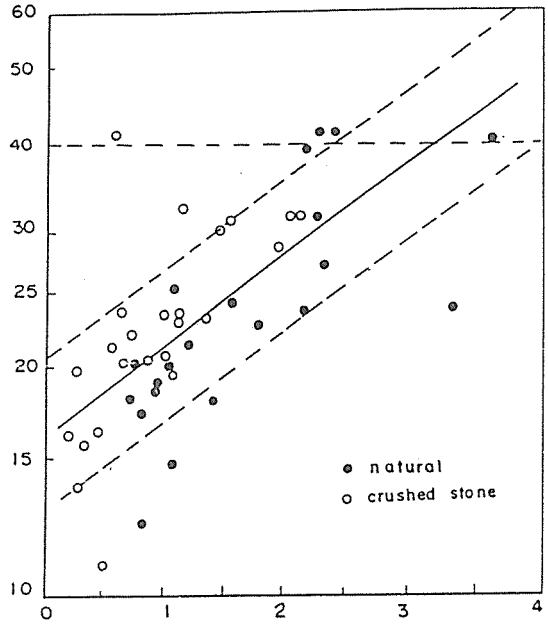


그림 -7 골재의 흡수량과 마모량과의 관계

~0.6mm 사이의 입자가 많으면 콘크리트의 연행공기량이 크게 되어 A·E 제량을 감소시킬 수 있다.

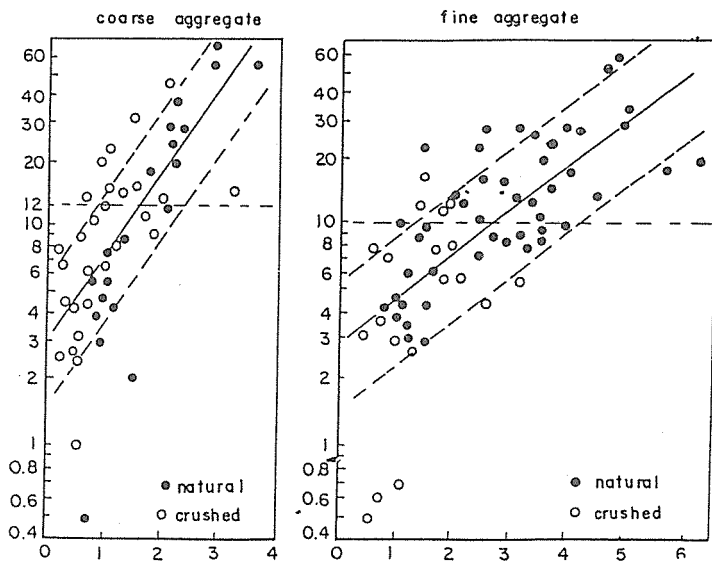


그림 -6 골재의 흡수량과 안정성과의 관계

표 6. 굵은 골재의 유해량 한도

kind	weight percent of total sample, max.	
	KSF 2526	standard specification for concrete
clay lumps	5.0	0.25
soft fragments☆	5.0	5.0
No. 200 sieve passing☆☆	1.0(5)	1.0(1.5)
Coal, lignite		
• where surface appearance of concrete is of importance	0.5	0.5
• all other concrete	1.0	1.0

(5) 골재에 포함된 불순물과 강도

콘크리트용 골재가 함유할 수 있는 유해물질은 유기불순물, 미세립사 점토 덩어리 염 등 많은 종류를 들 수 있다. 골재 속에 유해물질을 만약 함유하면 골재와 시멘트풀의 부착력을 저하시키고 이상응결, 강도의 저하, 철근을 녹슬게 하고, 내구성을 저하시키며 작업성을 나쁘게 하는 원인이 된다. 그러므로 잔골재 유해량의 한도는 표-5와 같이 규정하고 굵은골재는 표-6과 같다.

(6) 골재의 표면수와 강도

굵은골재의 표면수는 보통 0.5% 정도이지만 잔골재의 표면수는 보통 3~8%의 범위까지 변동한다. 일반적으로 잔골재의 표면수는 1% 변화하면 콘크리트의 강도는 20kg/cm² 이상 변화한다고 한다. 특히 비가 올 때나 또는 젖은 골재를 입하했을 때와 같이 잔골재의 표면수량이 큰 경우에는 보관상태에 따라 1회의 표면수량의 측정과 보정으로는 슬럼프를 일정하게 유지하기가 어려우므로 위치에 따른 잔골재의 표면수량의 변동이 생기지 않도록 저장 관리할 필요가 있다고 생각된다.

5. 결 론

콘크리트의 구성재료인 시멘트 및 골재에 있

어 그 품질이 강도에 어떠한 영향을 미치는가에 관한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시멘트는 물과 작용하여 경화하는 물질로서 콘크리트 강도에 큰 영향을 미치는데, 화학반응에 의하여 이루어지는 것인만큼 화학성분이 중요시 된다. 즉 콘크리트의 요구조건에 합당하는 화학성분을 지녀야 하고 아울러 비중, 분말도, 안정성 등 강도와 연관되는 제반요소도 확보되어야 한다. 그러므로 시멘트 생산측은 요구하는 화학적 및 물리적 성질에 합당하도록 개선, 발전시켜 나아가야 할 것이고 선택은 요구조건에 상응하는 종류 및 품질을 고려하여 결정되어야만 한다.

2) 콘크리트중 골재는 충전재, 안정재, 내구재, 보강재의 역할을 하는 것으로 요구되는 품질로는 골재 자체강도가 적당하고, 입경은 굵은골재는 작을수록 잔골재는 $F \cdot M \leq 3.0$ 일수록 연속입자분포(표준입도 범위내)를 가질 때 고강도화 되고, 잔골재율은 40% 전후 범위에서, 골재표면 상태는 접촉력이 클수록, 형상은 골재 상호간 결합력이 큰 형태일수록, 기타 강도를 저하시키는 불순물은 포함되지 않는 골재품질일수록 높은 강도의 콘크리트를 성취시킬 수 있다. *