

최신 콘크리트 기술

윤 상 대

〈농어촌진흥공사 농공기술연구소 수석연구원, 농어업토목기술사, 토목시공기술사〉

1. 서론

최근 콘크리트기술은 눈부시게 발전하고 있다. 이것은 화학기술이나 시멘트 기술의 발달, 기계기술의 발달 등 과학기술의 급속한 발전에 의한 것이 크다. 그러나 광복이후 1960년대부터 시작된 건설공사의 현저한 증대에 대응하기 위하여 여러 가지 기술개발과 실용화 노력이 있었던 것에 의한 것이 크다고 말할수 있다. 그러나 이는 선진국의 사정이고 우리나라의 경우는 최근 사회환경의 급속한 변화와 신도시 건설 등 대규모 사회간접시설의 투자로 세계유수의 시멘트생산국이자(1994년말 54,184,711톤) 1991년 이후 1992, 1993, 1994년 연속 국민1인당 1,000kg/인/년이상 소비하는 세계 최대 국민1인당 시멘트소비국이다.

특히 콘크리트품질은 최근 하천골재의 고갈로 굵은골재는 부순돌로 잔골재는 표준입도에 맞지 않는 주로 잔입자의 잔골재를 그대로 사용하기에 이르렀고 또한 레디믹스트콘크리트공장에서 비비고, 콘크리트치는 펌프카에 의존하고 있다. 이러한 상황에서는 콘크리트의 배합설계가 사용재료와 시공여건에 적합하도록 되어야 하는데 레디믹스트콘크리트공장에서는 종래의 배합

설계 개념대로 배합함으로써 구조체콘크리트의 심각한 문제점을 발생시켜 사회적으로 문제화 되고 있다.

최근 시공중 대형사고인 팔당대교, 신행주대교의 붕괴와 최근 문제가 되는 지하철 건설중 구조체콘크리트의 결함문제, 신도시아파트들의 하자 등은 콘크리트품질이 문제된 대표적인 사례이다. 이들은 단지 구조물의 문제뿐만 아니라 지구환경문제에 까지 영향을 미친다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여는 콘크리트기술이 문제이다. 선진국에서는 이들 문제를 해결하고 있다. 최신 콘크리트기술문제를 선진국들의 사례를 가지고 논의하고자 하는 것이다.

최근에 논의되고 있는 고강도 콘크리트 등도 그 하나의 예이다. 고성능감수제나 실리카흙, 고로슬래그미분말, 석회석미분말들의 혼화재료 개발에 의해 초고강도를 용이하게 얻는 것이 가능하게 되었다. 이들 초고강도 콘크리트는 초고층철근콘크리트건축물이나 장대교량, 저장시설 등 대형 토목구조물에 많이 사용되고 급속하게 보급되고 있다.

여기서는 주목되는 고성능 고품질 고강도콘크리트에 관한 기술을 정리하여 기술하는 것과 함께 앞으로 실용화 가능성 등에 대하여 기술한

다.

한편 보통강도의 콘크리트에 있어서도, 지금까지 목표강도를 기준한 배합설계 방법을 목표내구성 목표시공성을 동시에 고려한 배합설계로 개선되어야 한다. 이를 수행하기 위하여는 콘크리트에 관한 고도의 전문지식과 토목이나 건축 등의 전문지식을 가진 기술자에 의하여 종합적으로 프로젝트내역을 검토 구조물에 적합한 최적배합설계가 이루어져야 한다.

2. 콘크리트배합기술

가. 개요

콘크리트의 배합설계는 지금까지의 설계기준 강도를 목표로한 방식에서 목표내구성, 목표시공성을 고려한 당해 프로젝트의 성격, 중요도 치는시기, 치는부위에 따른 설계자의 의도를 달성시킬수 있는 구체적인 목표치를 설정하여야 한다.

또한 현행 콘크리트시방서나 구조설계에 적용하는 설계기준 강도도 재검토할 필요성이 있다. 지금까지의 배합설계 개념은 목표설계기준강도를 달성하기 위하여 단위시멘트량을 가능한한 적게 하는 것을 목표로하고 골재 또한 표준입도에 맞도록 적합한 골재를 선정하여 시공시도에 맞게 시공하도록 되어있다. 그러나 현실적으로 표준입도에 적합한 굵은 골재나 잔골재는 구득하기 어렵고 실제적으로도 그렇지 못하다.

콘크리트의 강도는 구조체콘크리트의 공극량을 최소화하여야 목표강도를 얻을 수 있고 이에 따른 목표내구성도 확보할 수 있으며, 단위 결합재량이 많아야 목표시공성도 확보된다. 또한 주시하는바와 같이 콘크리트의 공극량을 줄이기 위하여는 단위물량을 줄이고 물시멘트비를 줄여야 한다. 종래의 물시멘트비를 줄이면서 목표시공성을 확보하기 위하여는 단위결합재량의 증가와 고성능 감수제의 사용에 의한 목표시공성(슬럼프, 슬럼프후로)의 확보가 가능하게 된다. 이

는 절대적인 것이 아니고 목표강도, 목표내구성 목표시공성에 따른 상대적인 것으로 배합설계가 이루어져야 한다.

예를들면 단위결합재(시멘트, 고로슬래그미분말, 석회석미분말등)를 증가시키면 목표강도는 자동적으로 확보되고, 그에 따른 내구성, 시공성도 확보된다.

나. 목표로할 품질항목 및 목표치 설정

구조물의 위치, 규모, 부위, 치는시기, 기능 등 제조조건이나 시공조건을 고려하여 콘크리트에 요구되는 소요성능이나 품질을 검토 목표로할 품질특성을 추출 목표치를 설정한다. 이는 지금까지의 강도 특성뿐만아니라 내구성에 이어지는 제조조건(중성화, 염해, 동해, 수밀성, 시공성 등)에 따른 내구성, 시공조건에 이어지는 슬럼프나(26.5±0.5cm) 슬럼프후로(65±5cm)를 고려하면 현재의 강도특성만을 고려할때 보다 단위결합재량이 획기적으로 증대되며 고성능감수제를 사용할때는 물시멘트비를 25~35% 범위로 되어 고품질콘크리트가 제조되어 강도특성, 내구성, 시공성이 획기적으로 개선되어 극단적으로 말하면 요구하는 성능에 대한 무결점콘크리트의 제조가 가능하다. 그러나 단위결합재를 시멘트만을 사용할때는 수화열이 문제되나 최근에는 석회석미분말이나, 고로슬래그미분말을 일정비율 혼화시키면 경화열에 대한 대책도 어느 정도 해소되고 경제적으로도 유리하다. 그러나 특히 최근 구조물의 대형화에 따른 매스콘크리트나 치는시기를 고려할때 경화열에 대한 검토를 하여 그 대책이 요구되나 이또한 선진국에서는 감압법에 의한 쿨링(대규모에 적합)과 액체 질소(LN₂)에 의해 간편하게 대처가 가능하다.

다. 시방배합을 정하기 위한 조건 설정

비벼진 콘크리트가 공사현장에 운반되어 구조체에 타설, 양생되어 구조체콘크리트로서 완성

될때까지는 그림 1과 같은 각 단계가 있다. 배합설계에서 목표로할 품질항목 및 목표치는 통상 굳지않은 콘크리트에 있어서는 콘크리트를 처넣을때, 굳은 콘크리트에 대하여는 구조체콘크리트에 대하여 규정되어 있다. 이 때문에 배합계산을 하기 위하여는 이것을 비빌때의 조건으로 변환시킬 필요가 있다. 구체적으로는 (비빌때 가능한 목표강도) 비빌때의 슬럼프 또는 슬럼프후로, 비빌때 공기량 등을 설정하여야 한다.

라. 재료의 선정

목표에 따른 콘크리트재료를 선정한다. 시멘트의 종류, 혼화제(실리카흙, 플라이애쉬, 고로슬래그미분말, 석회석미분말, 특수시멘트) 및 혼화제(고성능감수제, AE제, AE감수제, 급결제, 지연제, 방청제, 발포제, 고유동화제, 증점제, 방수제, 보수제, 내한제, 중성화억제제 등) 굵은골재, 잔골재 등

마. 배합계산과 시험비밀배합의 계산

시방배합은 최종적으로는 시험비밀에 의하여 정하게 되나 시험비밀을 위한 배합을 배합계산에 의하여 구한다. 시험배합계산에서는 목표 품질을 확보하기 위하여 종래 강도특성에 의한 것을 내구성, 시공성 등을 종합적으로 한 배합계산이어야 한다. 예를들면 고성능감수제의 사용에 의한 다짐이 불필요한 콘크리트, 무결점콘크리트를 제조하기 위하여는 단위결합재량(시멘트, 고로슬래그미분말, 석회석미분말 등)의 획기적 증대와 물시멘트비의 획기적 감소(30%내외) 특히 환경에 대처하기 위한 혼화제료나 특수시멘트의 사용

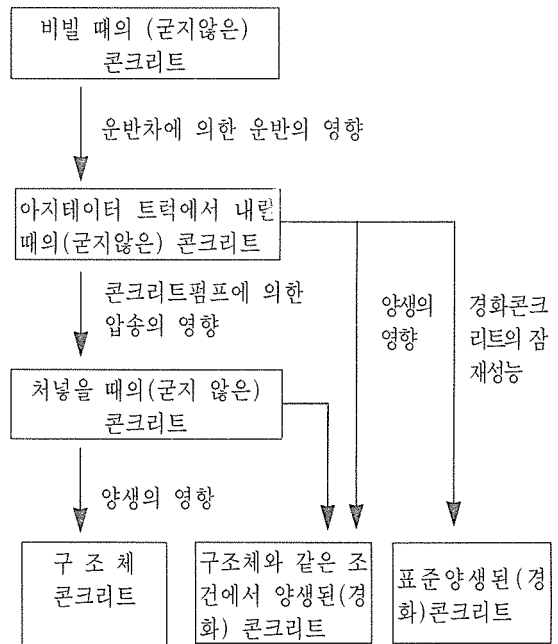
바. 시험비밀배합의 검토

배합계산에서는 일반적으로 압축강도와 워커

빌리티에 대하여 목표를 만족하는 배합계산을 시행하나 최근에는 펌프카 시공에 의한 굵은골재의 최대치수, 워커빌리티 개념이 다르고 내구성, 환경문제, 에너지절감, 신뢰성 확보 등을 고려할때 종래 목표강도를 위주로 하던 배합계산을 내구성, 시공성을 고려한 배합이어야 한다. 그 이유는 펌프카시공에 의한 굵은골재 최대치수가 제한되고 잔골재의 해사 비중이 높고 하천골재도 입도가 불량한 세사가 그대로 사용되며 잔골재율이 높은 것을 시공상 요구하고 있기 때문에 실제적으로 내구성, 시공성이 문제가 되는 사례가 많아 이들 요건이 불균형을 이룰때 강도에까지 영향을 미쳐 사회적 문제점과 환경 문제에 까지 이어진다.

사. 시험비밀과 배합조정

시방배합은 시험배합을 시행하여 최종적으로는 배합을 조정한다. 이는 실제로는 단위결합재

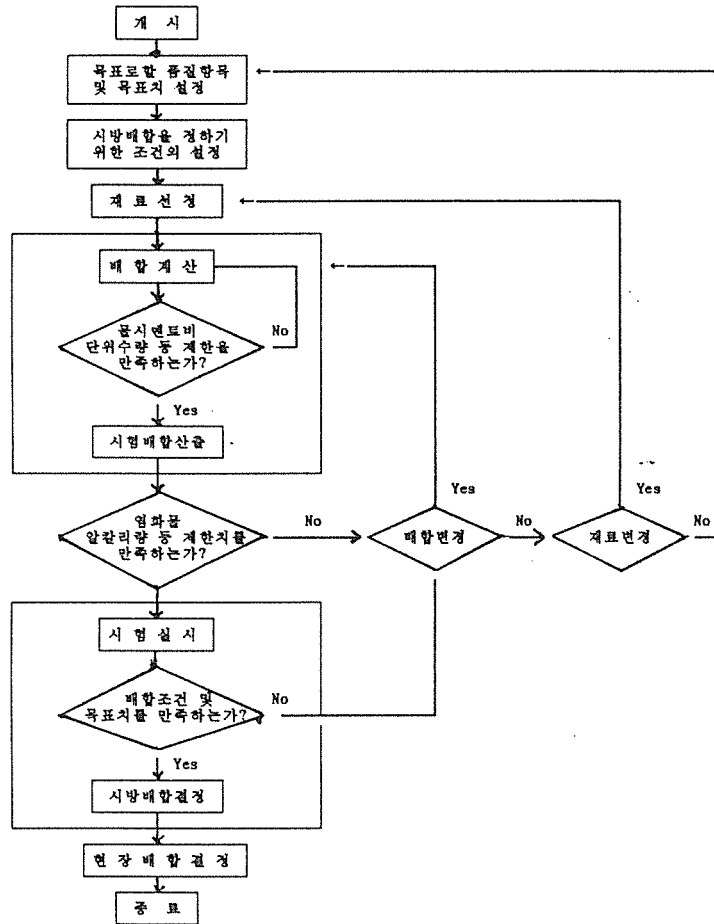


〈그림 1〉 배합설계의 대상으로한 콘크리트

량의 획기적 증대 물시멘트비의 획기적 감소, 또한 고성능감수제 사용에 의한 워커빌리티의 획기적 개선 등에 의해 정한 시험비빔에 의거 물시멘트비는 고성능감수제를 사용함으로써 초기배합계산에서 산출한 단위물량의 감소에 따른 물시멘트비는 역으로 계산되어야 한다

아. 시방배합으로부터 현장배합에의 보정

골재의 함수율 등에 의한 보정으로서 시방배합으로부터 현장 배합의 보정을 실시하면 되는 것이다. 그 순서는 그림 2와 와 같다.



〈그림 2〉 배합설계순서

3. 배합설계 기본개념을 개선하여야 할 사유

콘크리트의 강도나 내구성은 콘크리트중의

공극과 밀접한 관계가 있다. 콘크리트는 굵은골재, 잔골재, 결합재, 물, 기타혼화재로 구성된다. 굵은골재의 공극을 잔골재로 채우고 잔골재의 공극을 시멘트가 채우고 시멘트보다 미세한 공극을 분말도가 높은 혼화

재료가 시멘트공극을 채워 결국 이공극이 적을수록 강도는 높게 되고 중성화, 염해, 동해 등에 대한 저항성이 크게되어 내구성이 크게된다.

또한 같은 이론으로 골재의 입자가 굵은것과 잔 것이 공극을 가장 적게하는 비율로 배합되어야 한다. 이것이 이른바 지금까지의 강도특성을 배합설계에서 적용하는 표준입도의 개념이다. 전술한 바와 같이 부순굵은골재는 제조과정에서 표준입도에 맞도록 제조되지 못하고 잔골재는 표준입도에 적합한 것은 드물다. 그렇다고 인위적으로 입도를 조정하면 되지만 현실적으로 입도를 인위적으로 조정하는데는 여러 가지 문제가 따르고 실제적으로는 불가능에 가까운 것이 현실이다.

따라서 표준입도에 들어가지 못하는 골재를 사용하기 때문에 단위결합재량의 증가와 기계화 시공에 따른 획기적인 워커빌리티의 개선이 요구된다. 워커빌리티의 개선을 위하여는 혼화재료가 요구된다. 같은 원리로 물시멘트비가 적으면 즉 단위수량이 적으면 경화후의 물이 차지하던 공극이 최소화되므로 강도는 높게된다. 따라서 내구성은 증대된다. 그러나 시공성 때문에 단위수량을 줄이는데는 한계가 있다. 하지만 현재는 고성능감수제에 의한 단위수량을 획기적으로 적게 사용하여도 목표워커빌리티를 확보할수 있다.

이들 일련의 개념은 한가지로 기능하는 것이 아니고 굵은골재 최대치수, 입도, 잔골재, 단위결합재량, 혼화재, 물시멘트비가 복합적으로 기능함으로써 강도특성, 내구성, 시공성을 동시에 목표치에 도달하게 된다.

또한 경제적인 측면에서도 아직은 콘크리트를 구성하는 재료중 비중이 높으나 단위시멘트량을 증가시키는데서 얻는 이익과 경제적 비용이 종전과는 현격하게 차이가 난다.

종전 개념대로 배합계산을 하여 $\sigma_{28}=210\text{kgf/cm}^2$ 의 콘크리트를 얻으려면 단위시멘트량은 대개 320kg/m^3 물시멘트비 55% 전후였다. 그리고 강도, 내구성, 시공성은 보장되지 않는다. 특히 시공성은 거의 확보가 되지 않아 연쇄적으로 강도, 내구성을 얻지 못하는 것이 현실이다. 그러나 하천골재의 경우 고성능감수제를 사용하고(2%, 8.6kg) 단위시멘트량 430kg/m^3 로 하면 $\sigma_{28}=400\text{kgf/cm}^2$ 이상으로 되고 워커빌리티는 다짐이 불필요할 정도로 자유자재로 시공성이 확보되어 무결점콘크리트의 제조가 가능하며, 내구성은 반영구적으로 확보될수 있다.

비용증가는 시멘트증가분 7,500원 / m^3 , 고성능감수제 6,000/ m^3 , 계 13,500원/ m^3 정도이다. (부순돌의 경우 단위시멘트량 530kg/m^3 , 고성능감수제 10.6kg/m^3 의 경우 무결점콘크리트제조가 가능하다) 그대신 콘크리트치기에 소요되는 비용 <펌프카 단위작업량, 다짐비용>, 거푸집, 동바리사용 회전율을 비교할때 총작업량, 1일작업량 등 공사규모에 의거 차이가 있으나 대량 타설의 경우 1/2이하로 확실한 타설이 가능하고 대규모 공사의 경우 공기단축, 숙련기능공, 인력수급 등과 콘크리트의 목표강도, 목표내구성, 목표시공성을 확보하여 간접적인 이득을 종합적으로 계량화하면 오히려 경제적인 일 수도 있다.

결국 절대비용은 공사기간단축에 따른 관리비 절감, 조기준공에 따른 효과 등을 고려하면 절대비용은 크게 증가시키지 않으면서 반영구적인 구조물을 신뢰성 있게 시공함으로써 사회적 문제로 되는 부실시공을 막고, 환경문제, 에너지절감, 자원절약이 가능할 것으로 판단된다.

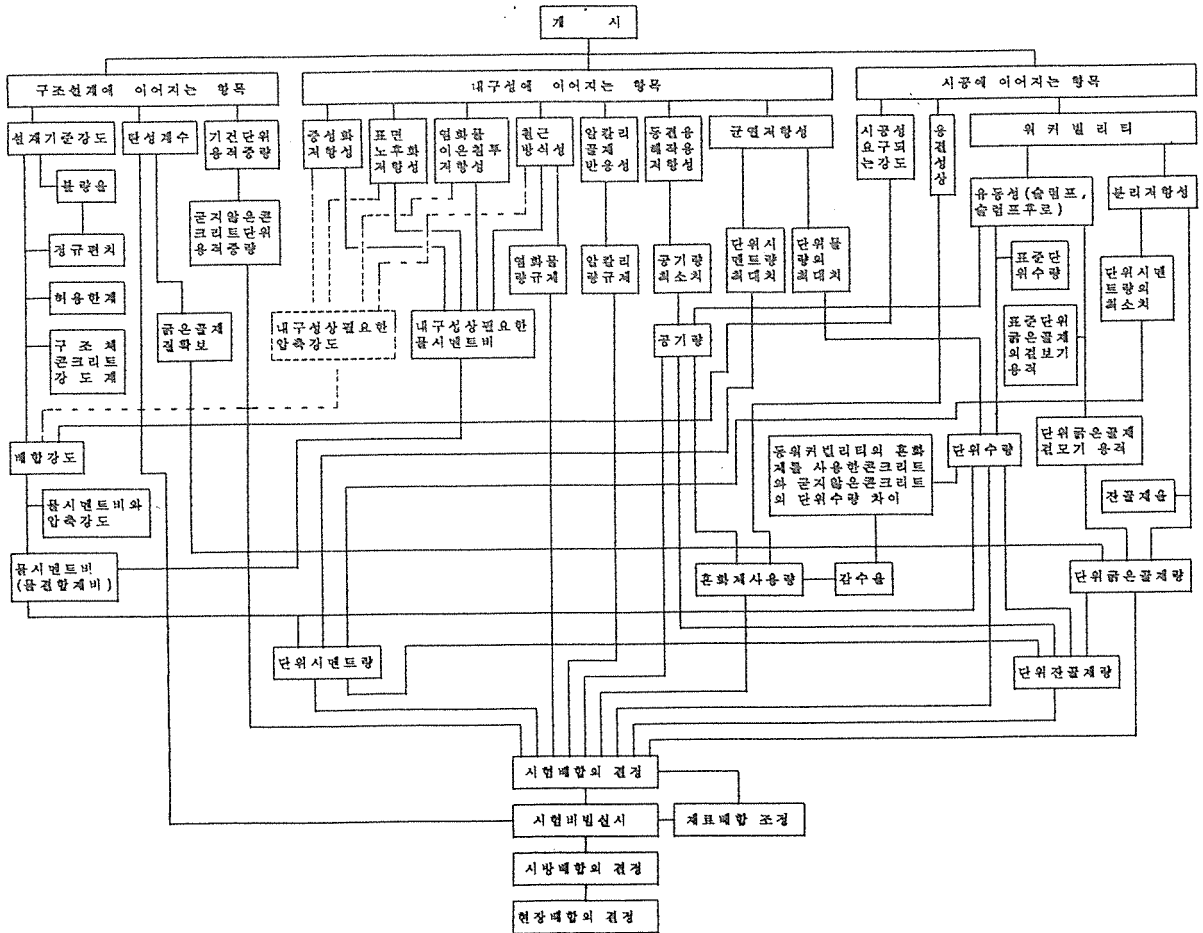
따라서 제도적으로도 현재 KS F 4009레디믹스콘크리트의 설계기준강도를 선정하여 사용토록 되어있고 조달가격으로 묶여 있는 것을 개별 레디믹스콘크리트공장에서 수요자

가 요구하는 품질을 배합기술에 의거 제조 판매토록 개선하여 콘크리트 기술개발을 유도하여야 한다.

콘크리트제조는 고도의 전문지식과 경험, 지속적인 연구를 통하여 제품의 차별화, 특화시켜 품질, 가격을 자유경쟁시켜야 발전하는 것인데도 불구하고 조달가격에 묶여, 차별화, 특화, 고품질화를 저해하여 콘크리트 품질을 하향 평준화하여 국가적인 사회경제적 손실을 초래하고 있으므로 이는 제도적으로 개선이 요망된다.

〈표 1〉 배합에서 목표로할 품질에 영향을 미치는 주된 요인

종류\물성	비중	흡수율	압축강도 (kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)
화강암	2.62~2.72	0.42~0.82	1400~2500	120~150
안산암	2.54~2.72	0.59~1.26	1200~2600	80~120
석영편암	2.42~2.56	0.87~2.39	1100~2200	—
석회암	2.62~2.73	0.25~0.75	900~2200	70~140
경질사암	2.48~2.76	0.22~2.84	800~2000	65~120



〈그림 3〉 배합설계의 일반적인 순서

4. 콘크리트 비빔기술

콘크리트는 굵은골재와 잔골재에 시멘트와 물을 비벼서 제조하는 것이나 이들 비빔에 있어서는 우선 잔골재와 굵은골재표면에 물로 잘 적셔서 여기에 공기가 잔존되지 않고 골재와 시멘트풀과의 부착이 양호할 것, 시멘트와 물의 비빔이 충분히 시행되므로써 시멘트입자가 물에 잘 분산되는 것이 중요하다.

먼저 잔골재와 굵은골재 등의 골재의 표면을 물로 잘 적셔서 그 표면에 공기기포가 남지 않도록 한다. 그리고 골재와 물에 분산을 잘 시키는 것이다. 이것은 간단한것 같으나 대단히 어려운 문제이다. 특히 잔골재의 경우에는 그 표면적이 크고 많으므로 어렵다.

예를들면 예전에 인안데이터(INAND-OUTER)등과 같이 잔골재를 수중에서 체적계량하는 등 수중에 침적시켜 교반하는 것에 의해 표면의 공기를 제거하는 것이 시행된다. 그러나 이 경우에는 잔골재를 수중으로부터 꺼낸후 탈수처리가 곤란하다. 특히 잔골재는 실제 공사에서는 대량처리가 필요하다. 대단히 어렵다. 이와같이 수분을 제거하여 적절한 표면수의 잔골재로 하는 방법으로서는 잔골재를 망으로 물을 제거하는 방법이 고려되나 이에선 장시간이 필요하다. 그림 4는 잔골재를 하부가 바구니모양으로 된 용기에 넣어서 그 함수율을 측정하는 것으로서 이러한 방법에서는 잔골재가 적절한 함수율이 되기 위하여는 25일정도가 필요하다.

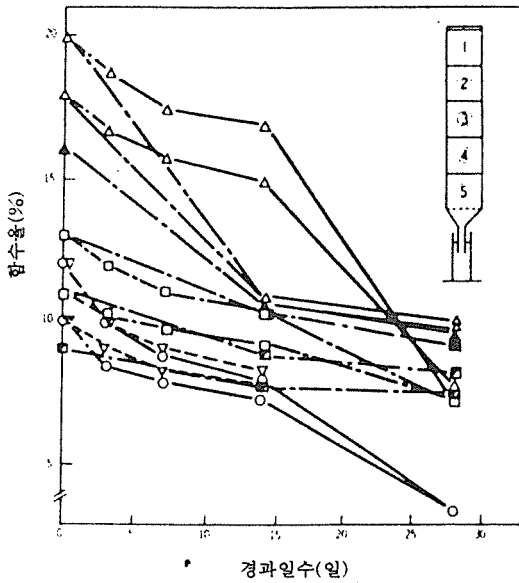
이것을 급속하게 탈수시키는 방법으로서 그림 5(a)와 같은 원심력에 의해 탈수하는 방법과 그림 5(b)와 같이 잔골재를 급속하게 벽에 투사시켜서 물과 잔골재 반사각도가 다른것으로부터 탈수하는 방법 등이 있다. 전자를 샌드스테빌라이저(SAND STABILIZOR)라 부르는 시스템이다. 후자는 샌드콘

트롤러(SAND CONTROLLER)로 부르는 시스템으로 실용화되고 있다.

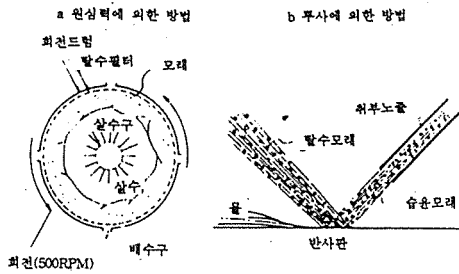
그러나 이들은 대형설비가 필요하다. 간단하게 사용할수 없는 문제점도 있다. 용이하게 잔골재표면의 기포를 제거 처리하는 방법으로서 믹서내에서 콘크리트를 비빔때 잔골재 등의 골재와 물을 앞서 투입하여 30 ~ 1분정도 고속으로 비비는 것에 의해 골재표면공기를 제거하여 골재적시는 것을 잘하는 방법이 있다. 이 경우 사용하는 물에 약간의 감수제(AE제는 사용하지 않는것이 좋다)를 첨가시키면 효과적이다. 그림 6, 그림 7은 사전에 다양한 표면수의 잔골재에 대하여 SEC법과 같이 잔골재를 물과 30초간 비빔 후 시멘트를 투입한 것과 그렇지 않은 경우에 대하여 모르타르 또는 콘크리트로한 경우 후로치와 블리딩량을 비교한 것이다. SEC법의 경우에는 잔골재의 표면수가 0~2%에서표면에 기포를 가지는 잔골재를 사용하여도 이러한 잔골재와 물의 교반에 의해 기포가 제거되어 후로치나 블리딩량에 대하여 좋은 결과가 얻어진 것으로 이해된다.

시멘트입자 물에의 분산에 대하여는 감수제 등 각종분산작용이 어느 혼화제를 사용하는 것에 의하여 조장된다. 이것을 많이 사용하면 역으로 분리의 원인이 된다. 시멘트분체의 분산은 원래는 비빔과정에서 달성시키는 것이다.

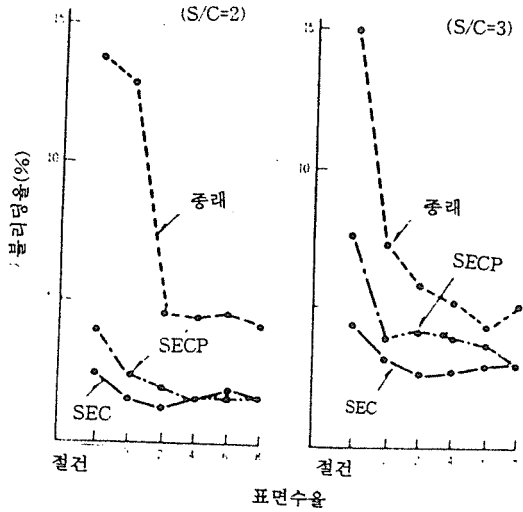
이러한 비빔에 있어서 시멘트분체의 분산에 대하여는 2번 비비는 방식이 효과적인 것이 해명되었다. 그림 8은 W/C가 40~60% 시멘트풀의 블리딩량을 나타내는 것으로 되어 있으므로 2번비빔방식으로 비비는 것으로 되어있다. 횡축은 2번비빔의 경우 1차비빔때 W/C를 나타내는 것으로 어느 것의 시멘트풀도 1차비빔시점에서 W/C가 20~24%에서 비빔후 2차비빔을 하는 것이 블리딩이 적게 된다. 이것은 W/C 20~24%에서 1차비빔을 한후 2차비빔을 하는 2번비빔방식에



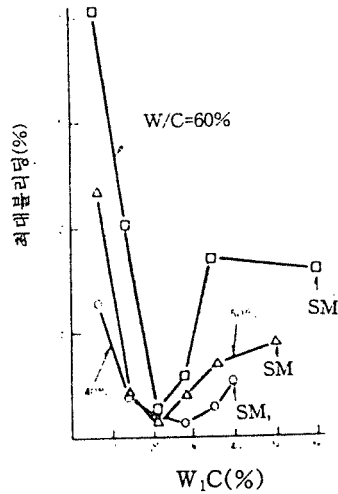
〈그림 4〉 잔골재의 자연탈수시험결과



〈그림 5〉 잔골재 탈수방법



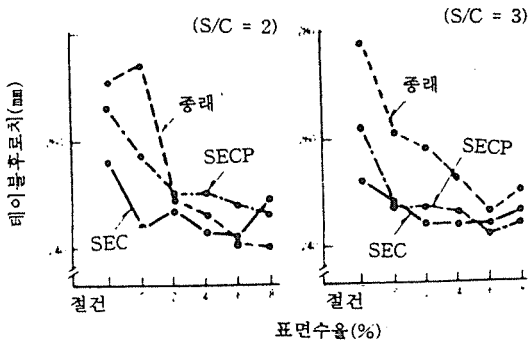
〈그림 7〉 각종비빔방법의 잔골재 표면수율과 블리딩량



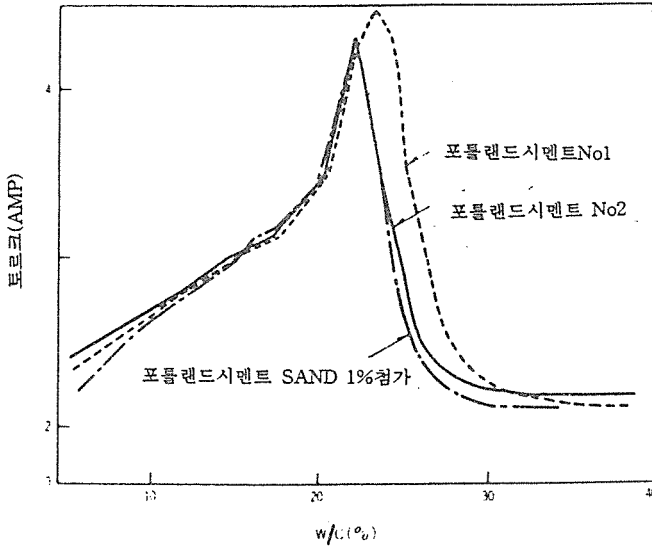
〈그림 8〉시멘트풀 블리딩량

의해 시멘트입자가 물에 잘 분산되기 때문인 것으로 고려된다. 이와같이 1차비빔이 W/C 20~24%의 경우에 가장 효과적인 것에 대하여는 다음과 같은 실험결과에서 밝혀졌다.

그림 9는 시멘트분체를 믹서로 혼합한 경우 믹서사용전류를 측정 한 것으로 황축은 시



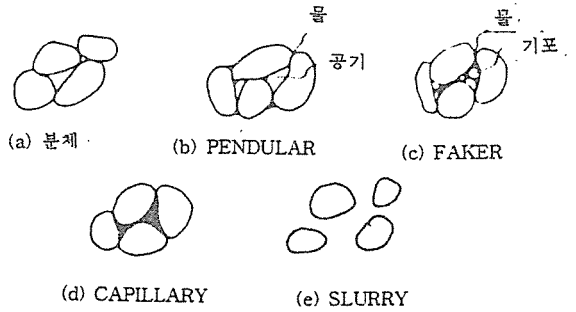
〈그림 6〉 각종비빔방법의 잔골재 표면수율과 후로치



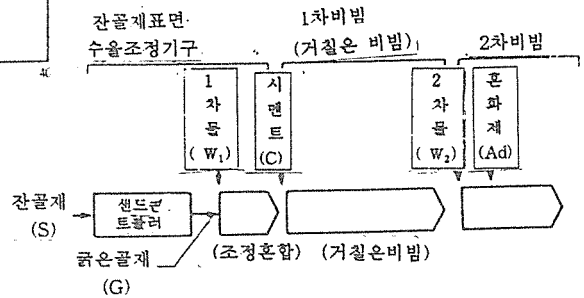
〈그림 9〉 각물시멘트비에서 시멘트와 물의 혼합에 요하는 전류치

멘트에 첨가된 물의 비율(W/C)을 각각 나타낸 것이다. 물의 첨가량이 많게 되면 사용 전류량이 많게 된다. 물시멘트비가 21~24%의 경우에 사용전류량이 가장 많게 된다. 이것 이상 물을 첨가한 경우에는 사용전류량은 감소한다. 이들현상은 그림 10과 같은 분체와 물과의 혼합상태로서 설명된다. 그리고 시멘트분체는 물이 많게 됨에 따라서 파괴로부터 완전하게 부서져 20~24% 때에 과농축상태로 되나 이 과농축상태때에 분체 사이에서 물의 모세관력은 가장 크게된다. 1차비빔을 이 W/C에서 비비면 시멘트분체의 입자사이에 물이 잘 침투하여 시멘트분체가 충분히 물로 덮여진다. 이렇게 1차비빔을 나머지 물로 2차 비비는 것에 의해 시멘트분체가 물에 잘 분산된다.

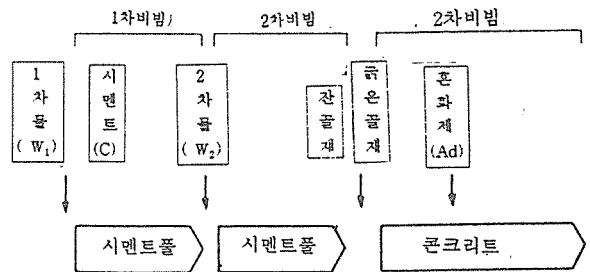
이상과 같이 시멘트분체의 물에의 분산은 2번비빔방식에 의해 용이하게 달성된다. 이와같이 잔골재나 굵은골재 표면 기포제거에 의한 골재와 시멘트풀의 부착을 개선하는 것과 시멘트분체 자신의 물에의 분산을 양호하게 하는 것을 취급한 비빔공법으로서는 SEC



〈그림 10〉 분체와 물의 혼합상태



〈그림 11〉 SEC공법의 FLOW CHART



〈그림 12〉 DOUBLE MIXING METHOD FLOW CHART

공법 또는 분할비빔공법(SAND, ENVELOPED WITH CEMENT METHOD)나, 더블믹싱공법(DOUBLE MIXING METHOD)등이 있다.

SEC 공법 또는 분할비빔공법은 그림 11과 같이 골재의 물에 의한 전처리로서 비빔을 시행하면 시멘트를 투입하고 W/C 20~24%

로 1차 비빔을 하여 그후 나머지물을 넣어 2차비빔하는 방법으로서 골재의 분산과 시멘트분체 분산을 동시에 달성하는 것이다. DOUBLE MIXING 공법은 그림 12와 같이 시멘트풀을 1차비벼 2차비빔후 골재를 투입하여 비비는 방법이다. 시멘트풀의 분산에 중점을 둔 비빔방법이다.

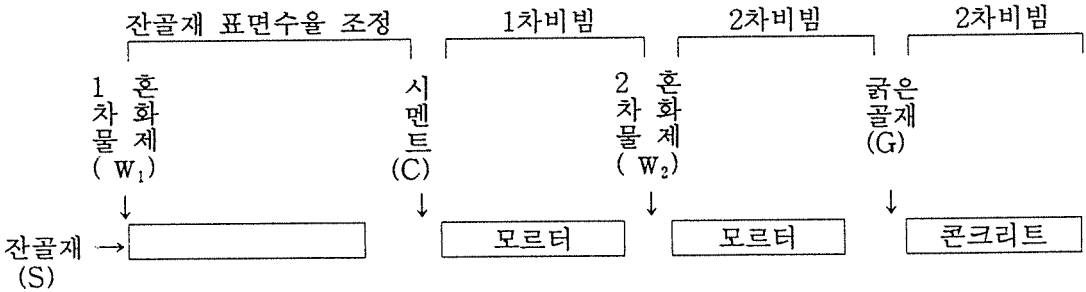
앞으로 이러한 비빔방법은 CASE BY CASE로 이용하는 것도 시도할 필요가 있다. 예를들면 고강도콘크리트의 제조나 높은 휨강도 모르타르제조에 있어서는 특히 골재의 분산이 중요하다. 믹서에서 골재와 물을 먼저 비빔 필요가 있다.

5. 고강도콘크리트 제조

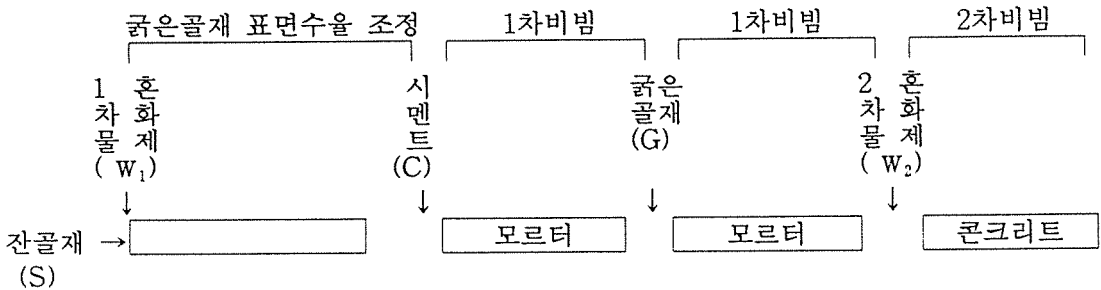
가. 고강도콘크리트제조

최근 초고층콘크리트 주택건축에 고강도콘크리트를 사용하는 것이 많이 되었다. 우리나라도 최근 고강도콘크리트에 대한 관심이 높아가고 있다. 이것은 철골구조에 비하여 주거성이 좋고 경제성이 우수하기 때문이다. 그 압축강도는 현재 설계기준강도로 600kgf/cm^2 (실질적으로는 700kgf/cm^2 이상이 필요) 정도의 것이 실용화 되고 있으나 앞으로 더 높은 강도로 되는 것이 예상되고 있다. 연구수준에서는 $1,500\sim 2,000\text{kgf/cm}^2$ 정도의 것이 가능하게 되었다.

(a) 잔골재와 물을 먼저 비빔

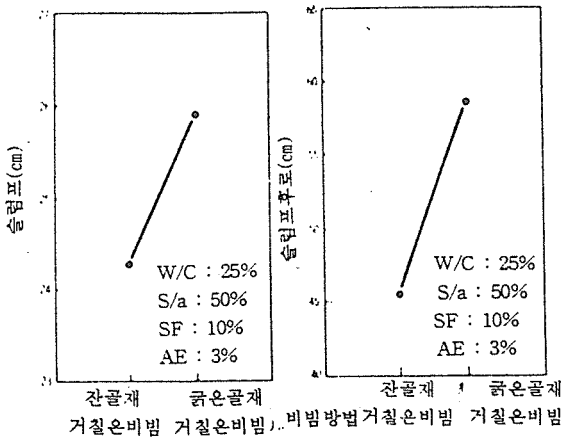


(b) 1차 잔골재 2차굵은골재 비빔



<그림 13> 고품질 고강도콘크리트의 비빔공법

나. 고강도콘크리트의 잔골재율



〈그림 14〉 비빔방법과 슬럼프, 슬럼프후로치

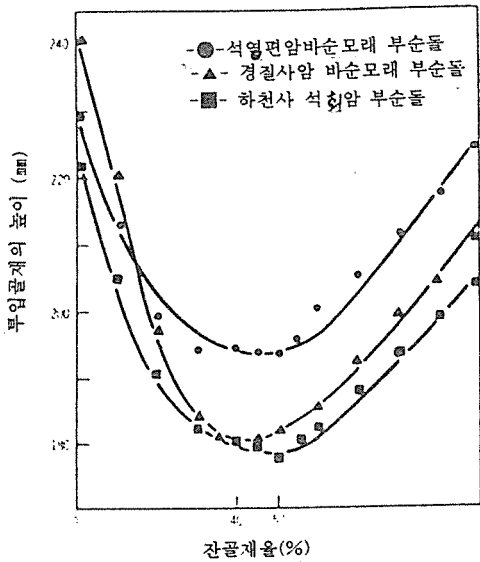
이들 고강도콘크리트는 압축강도는 말할 것도 없고 이에 따른 인장강도나 휨강도도 높아야 하나 일반적으로는 압축강도로 보아 높지 않다. 인장강도나 휨강도는 그다지 높지 않아 불균형적인 콘크리트로 되는 것이 많다. 골재와 시멘트풀과의 부착강도를 향상시킬 필요가 있고 전술한 바와 같이 콘크리트를 비빌때 골재와 물을 먼저 비빔을 하여 골재표면 기포를 제거하는 것이 필요하다.

그림 13은 고품질고강도콘크리트의 비빔방법의 하나의 예이다. 고강도콘크리트의 W/C는 20~30% 정도의 것이 많은 것으로부터 골재와 물의 먼저 비빔에 의한 골재표면 기포제거가 중요하다. 그림 13(a)와 같은 잔골재를 1차 비빔경우보다도 (b)와 같은 잔골재를 1차비빔후 계속하여 굵은골재에 대하여도 1차비빔을 한 경우의 쪽이 슬럼프 및 슬럼프후로치는 크게 된다. 그림 14와 같이 잔골재를 1차 비비고 굵은골재를 이어 비빔 경우에는 슬럼프후로 값은 용이하게 50cm 이상으로 되는 고유동콘크리트로 하는 것이 가능하게 된다.

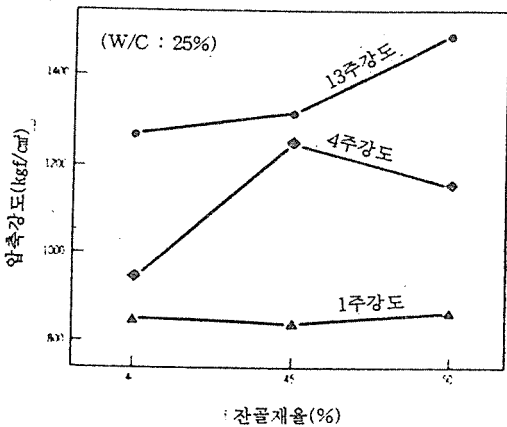
고강도콘크리트 배합에서 가장 중요한 것의 하나는 잔골재와 굵은골재의 비율을 어떻게 하는가, 바꾸어 말하면 잔골재율을 어떻게 결정하는가에 있다. 콘크리트에 사용할 골재의 잔골재율은 그림 15와 같이 골재의 밀도가 가장 크게 될때, 최대밀도때에 그 줄어드는 높이가 가장 적게되는 골재의 공극이 가장 적고 이들 골재사이의 높이가 가장 적게되는 골재의 공극이 가장 적고 이들 골재사이의 간극을 충전하는 것이 필요한 시멘트풀량 최소로 적게 되는 것으로 고려되는 것으로부터 동일배합에서는 유동성이 기여하는 시멘트풀부분이 가장 많게 되는 유동성이 양호하게 되는 것이 예상된다. 그림 16은 고강도콘크리트의 잔골재율과 슬럼프 및 슬럼프후로치의 관계를 나타낸 것으로 슬럼프 및 슬럼프후로치는 최대밀도 잔골재율때에 (그림 15참조) 가장 큰값으로 된다.

이와 같이 최대밀도로 될때에 동일 유동성 때에는 골재간극에 존재하는 시멘트풀량이 적기 때문에 골재간극에서 일으키는 시멘트풀의 수축에 원인이 되는 미세균열이 감소한다. 이와같이 골재의 가장 치밀한 충전 잔골재율때에 내부의 결함이 가장 적게된다. 압축강도나 휨강도의 장기재령에서 신축이 크지않게 된다.

그림 17은 고강도콘크리트의 잔골재율과 재령 1주, 4주 및 13주의 압축강도의 관계를 나타낸 것으로 재령 1주에서는 잔골재율이 다른것에 의하여 압축강도의 차는 거의 보이지 않으나, 재령 4주 또는 13주로 되면 잔골재율이 45% 정도의 곳이 압축강도가 크다. 이것은 그림 15와 같이 콘크리트에 사용된 골재의 가장 치밀하게 충전시 잔골재율은 45~50% 이다 압축강도의 결과와 대개 같은 것으로 된다. 이와같이 잔골재와 굵은골재의



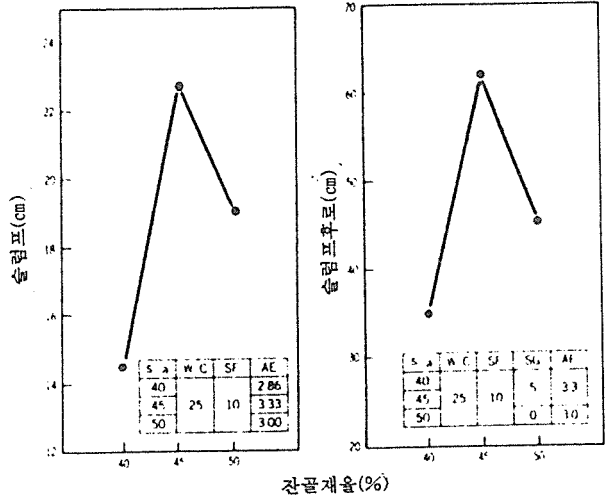
〈그림 15〉 골재의 잔골재율과 줄어드는 높이의 예(송고) [잔골재, 굵은골재의 총량을 일정하게 한 경우]



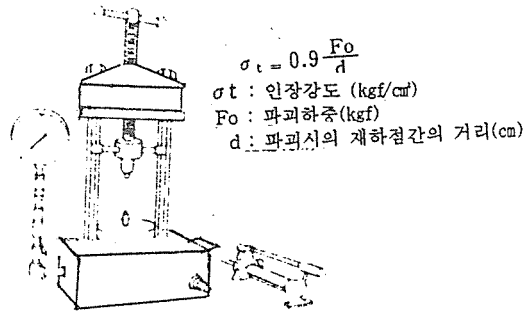
〈그림 16〉 잔골재율과 슬럼프, 슬럼프후로

체적배합비율은 가장 치밀하게 충전에 가까운 것이 최적이라고 말할수 있다.

이들 골재(잔, 굵은골재를 포함)는 그 입도분포를 홀라(HULA)-곡선에 가깝게 하는 것에 의하여 단위체적당 줄어드는 체적을 적



〈그림 17〉 고강도콘크리트의 잔골재율과 압축강도 [1주, 4주 및 13주강도]



〈그림 18〉 골재의 점재하 할열시험방법

게하는 것으로부터 잔골재율을 정한후 골재의 입도분포가 홀라-곡선에 가까운 곡선에 있는가를 검토하여 될수 있으면 이것에 가깝게 한다

다. 고강도콘크리트의 골재강도

고강도콘크리트의 골재강도는 그품질이 통상골재와 동등이상의 것으로 되는 것은 당연하나 될수 있으면 골재강도가 보다높은 것이 당연하다. 특히 압축강도가 1,000kgf/cm² 이상의 초고강도콘크리트의 경우는 골재강도가 높은 것이 불가결하다. 이와같이 굵은골재강

도는 표 2와 같이 암질에 의하여 어느정도 추정된다. 그러나 동일 암질골재에서도 채취 장소 등에 의하여 상당히 다르게 된다. 이들 굵은골재의 강도를 적절한 시험방법으로 판정하는 것이 필요하다.

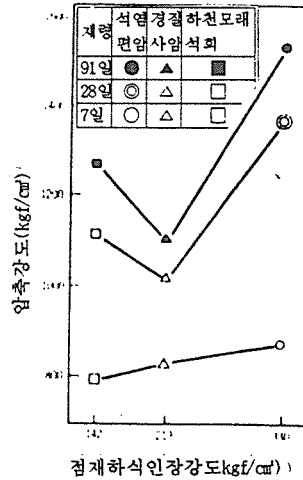
그 방법의 하나로서 파쇄시험방법이 있으나 이러한 고강도콘크리트용 골재의 강도판정방법으로서는 그다지 적절하지 않은 것이 지적되었다. 그림 18과 같은 굵은골재 점재하할열시험방법에 의한 굵은골재의 인장계수를 조사 실험을 시행하였다. 이 점재하할열 인장강도시험은 1종류 골재당 40개에 대하여 시행한 것이다. 그 결과로 고강도콘크리트의 압축강도관계를 도시하면 그림 19와 같다. 재령 1주정도에서는 점재하할열인장강도와 고강도콘크리트의 압축강도와 관계는 그다지 보이지 않으나 4주 또는 13주강도에서는 상당히 상관성이 높게 된다. 점재하할열인장강도가 213kgf/cm² 골재의 경우에 콘크리트압축강도가 비교적 적게되는 것은 그 입도분포가 양호하지는 않았던 것에 의한 것으로 생각된다.

이와같은 결과로부터 1,000kgf/cm² 이상 초고강도콘크리트를 얻기 위하여는 골재인장계

〈표 2〉 암석의 종류와 강도

종류	물성	비중	흡수율 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)	휨강도 (kgf/cm ²)
화강암		2.62~2.72	0.42~0.82	1400~2500	120~150
안산암		2.54~2.72	0.59~1.26	1200~2600	80~120
석영편암		2.42~2.56	0.87~2.39	1100~2200	—
석회암		2.62~2.73	0.25~0.75	900~2200	70~140
경질사암		2.48~2.76	0.22~2.84	800~2000	65~120

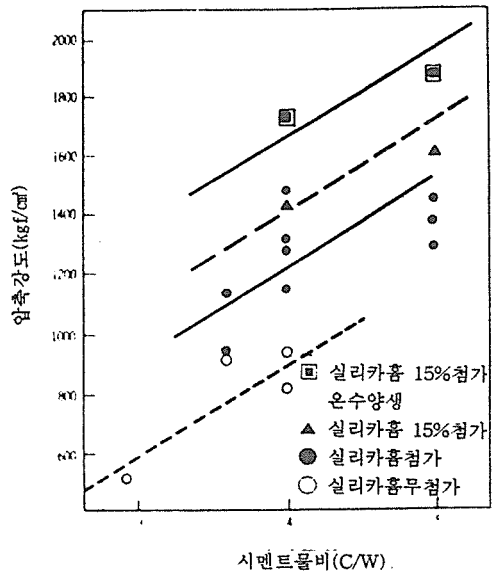
수가 140kgf/cm² 정도이상 이 필요한 것으로 말할수 있다.



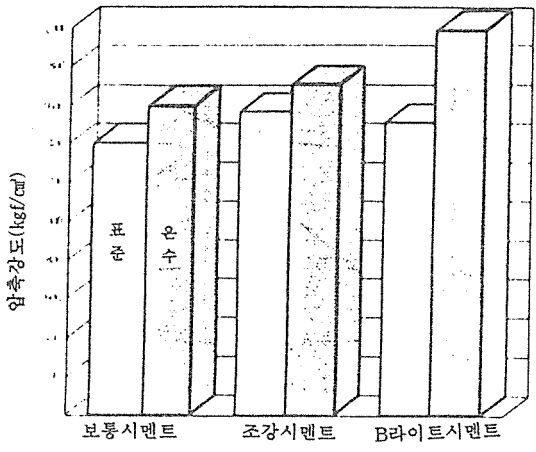
〈그림 19〉 골재의 점재하할열인장강도와 고강도콘크리트의 압축강도와 관계

라. 고강도콘크리트의 혼화재료

고강도콘크리트의 압축강도는 고성능AE 감수제를 혼화재료로서 사용한 경우에는 1,000kgf/cm² 정도가 한계이다. 그림 20의 점선은 고성능AE 감수제를 사용한 경우 고



〈그림 20〉 고강도콘크리트의 시멘트물비 (C/W)와 압축강도와와의 관계



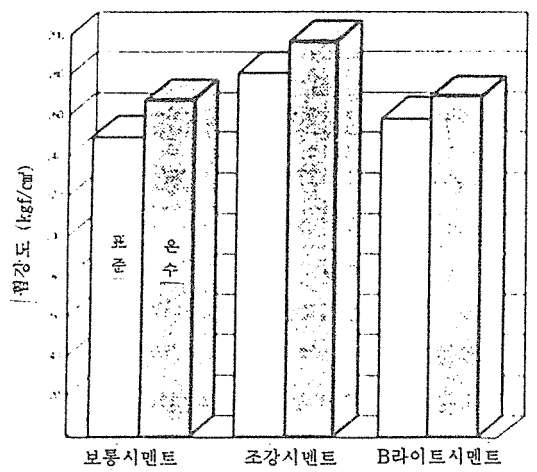
〈그림 21〉 양생방법과 압축강도와의 관계

강도콘크리트의 시멘트물비(C/W)와 압축강도와의 관계를 나타낸 것이다. 이것에 실리카흙을 시멘트의 10% 정도 첨가(내할)하면 그림 20의 실선과 같이된다. 400kgf/cm² 정도 압축강도가 증가된다. 실리카흙을 5%정도 더많게 첨가시켜 15% 첨가하면 그림 20의 파선과 같다. 200kgf/cm² 정도 증가하여 1,600kgf/cm² 이상 고강도콘크리트가 얻어진다.

마. 고강도콘크리트의 양생방법

고강도콘크리트의 압축강도 및 휨강도를 증가시키기 위하여는 실리카흙을 첨가시키는 것이 유효한 것으로 이해되나 여기에 강도를 증가시키기 위하여는 뒤에 기술하는 가온양생이 유효하다. 최근에는 이외도 고로슬래그미분말이나 석회석미분말이 유효한 혼화재로 연구결과가 발표되었다.

그림 20 및 그림 21은 타설후 3~4일정도는 표준양생을 시행 그후 60℃의 증기양생 또는 온수양생을 한것의 압축강도와 휨강도이다. 이것에 의해 압축강도는 2,000kgf/cm² 정도(비라이트시멘트사용)가 얻어져 휨강도로 200kgf/cm² 정도가 얻어졌다.



〈그림 22〉 양생방법과 휨강도와의 관계

6. 높은 휨강도 모르터개발

최근 건설공사에 있어서는 효율화, 자원절약, 무결점, 공기단축 및 자동화, 정보화가 큰과제로 되어있다. 특히 우리나라는 콘크리트의 품질이 문제로 되어 사회적인 문제점으로 되어있다. 이 때문에 콘크리트의 고품질화 부재의 경량화와 고품질화가 요구되어 얇은 프리캐스트콘크리트 거푸집이나 얇은 프리캐스트커텐월의 출현이 기대된다. 그러나 이를 위하여는 소재로 되는 콘크리트나 모르터의 휨강도의 현저한 향상이 요구된다.

가. 실리카흙 등 혼화재의 첨가

콘크리트의 압축강도는 실리카흙을 첨가하는 것에 의해 상당히 증가하는 것은 앞에서 기술한바 있으나 휨강도에 있어서는 실리카흙을 첨가하는 것에 의해 어느정도 기대된다. 그림 23은 잔골재 시멘트비(S/a)1.5로 물시멘트비(W/C)를 25% 전후로 하여 실리카흙을 시멘트의 10% 내할로 첨가하여 후로치를 160mm 정도로한 모르터에 대하여 휨강도를 검토한 것이다. 또한 비교용으로 실리

카흠을 첨가하지 않은 것에 대하여도 검토하였다. 양생방법으로서 표준양생(수중20℃)을 시행한 것으로 재령 48주일의 휨강도 및 압축강도를 그림 23에 도시하였다.

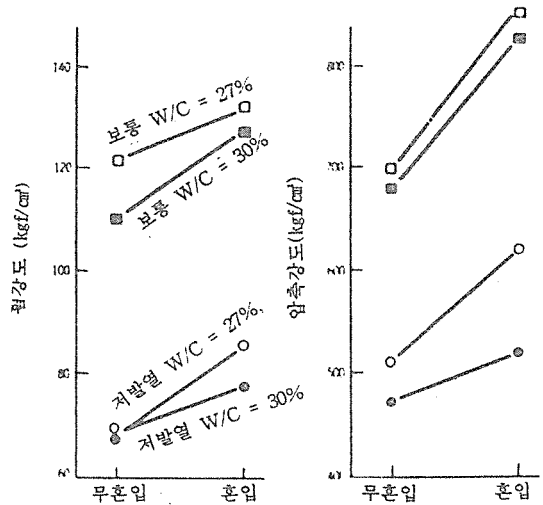
그결과 실리카흠을 첨가한 것에 의해 휨강도 및 압축강도는 각각 20~30% 증가되었다. 그러나 이정도(140kgf/cm²이하)의 휨강도 증가는 앞에서 기술한 공사의 합리화를 진행시키는데는 불충분하다고 생각된다. 또한 실리카흠은 고가이고 전량 외국에서 수입하여야 되는 문제점도 있다. 따라서 외국에서는 석회석미분말이나 고로슬래그미분말을 첨가한 콘크리트 연구가 진행되어 상당한 성과를 얻는바 있다.

나. 가온양생에 의한 실리카흠 반응촉진

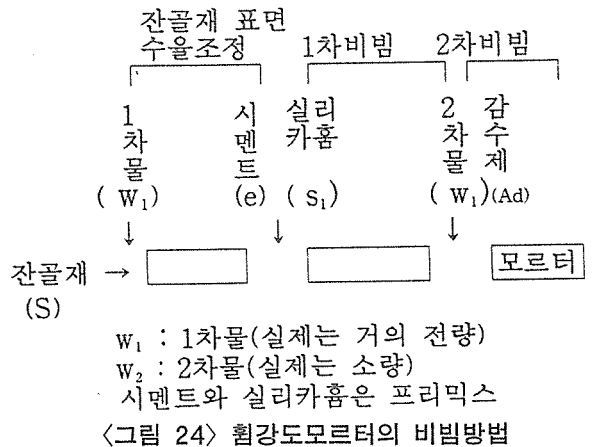
상기 모르터와 같은 배합에서 같은 량의 실리카흠을 첨가한 모르터를 그림 24와 같이 2번 비비는 공법에 의해 비빔을 시행하여 제조한다. 이것을 4×4×16cm 모르터공시체 타설을 시행하면 약 1일간의 표준양생을 시행 어느정도 초기강도가 얻어진 후에 탈형하여 다음 약 60℃ 정도의 증기양생 및 온수양생을 3일간 시행한다.

일부 공시체는 비교를 위하여 표준양생을 시행하는 것과 함께 같은 비교용 실리카흠 무첨가모르터에 대하여도 실험을 시행하였다. 이 경우 재령 7일에서 휨강도 그림 22와 같이 된다. 표준양생에서 130kgf/cm²의 휨강도의 것이 증기양생에서 220kgf/cm²로 또한 온수양생한 것은 260kgf/cm² 정도의 휨강도가 얻어졌다. 이것에 대하여 실리카흠 무첨가의 경우에는 표준양생에서 120kgf/cm² 휨강도의 것이 증기양생한 경우도 150kgf/cm² 정도 또한 온수양생한것에서도 140kgf/cm² 휨강도 증가에 머물렀다. 이것을 도시하면 그림 26과 같다. 실리카흠을 첨가하는 것과 함께 가온양생(초기강도 발현후)하는 것에 의

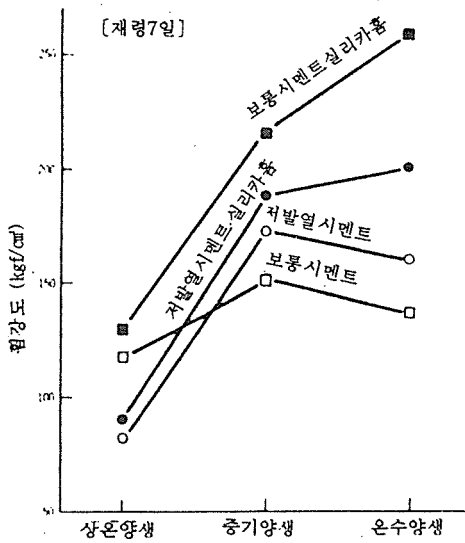
해 휨강도가 약 2배정도로 비약적으로 증대된다. 그러나 실리카흠을 첨가하여도 가온양생하지 않으면 휨강도는 증가 되지않고 또한 가온양생을 하여도 실리카흠을 첨가하지 않으면 휨강도는 그다지 증가하지 않는다. 휨강도를 증가시키기 위하여는 실리카흠을 첨가하여 가온양생하는 것이 필요하다. 이것은 1일간의 표준양생으로 초기강도가 발현된후 3일간의 가온양생을 하는것에 의해 실리카흠 첨가하지 않으면 휨강도는 그다지 증가하지 않는다. 휨강도를 증가시키기 위하여는 실리카흠을 첨가하여 가온양생하는 것이 필요하



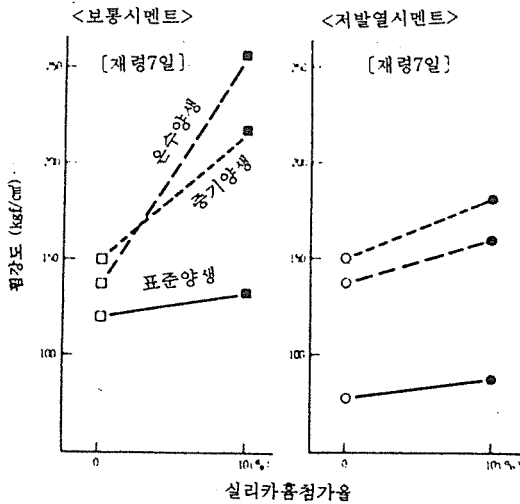
〈그림 23〉 실리카흠 유무와 모르터휨강도와의 관계



〈그림 24〉 휨강도모르터의 비빔방법

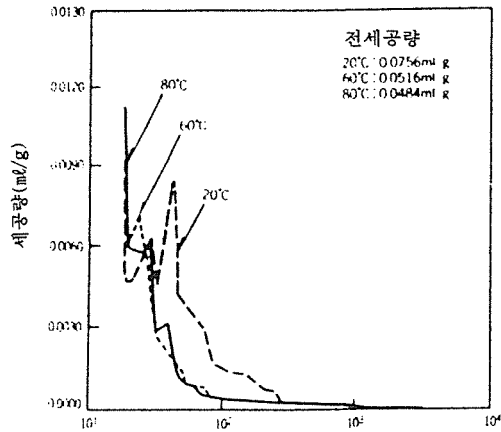


〈그림 25〉 높은 휨강도모르터 양생방법과 휨강도



〈그림 26〉 실리카흄의 유무와 높은 휨강도 모르터휨강도의 관계

다. 이것은 1일간의 표준양생으로 초기강도가 발현된후 3일간의 가온양생을 하는것에 의해 실리카흄이 포조란반응을 일으켜 시멘트 결정사이의 세공 및 시멘트와 골재의 간극을 강고하게 결부시키는 것에 의한 것으로 생각된다. 그림 24는 가온양생 전후 시멘트 내 세공의 각세공직경에 대한 세공량의 분포



〈그림 27〉 높은 휨강도모르터의 가온전양생전 후의 세공분포

〈표 3〉 높은 휨강도모르터의 제물성

물성항목	물 성 치	비 고
압축강도	1200~1400kgf/cm ²	재령7일
수 축 율	0.01 ~ 0.06 %	
흡 수 율	0.53 ~ 0.77 %	
동탄성계수	4.8~5.3×10 ⁻⁴ kgf/cm ²	
내 화 성	900°C4시간가열 폭발않	

를 나타내는 것으로 가온양생을 하는것에 의한 시멘트의 세공량이 감소되는 것이 이해된다.

다. 높은 휨강도 모르터의 제물성

이와같은 높은 휨강도 모르터의 휨강도이외의 제물성은 표 3에 정리하였다. 압축강도는 1200~1400kgf/cm²이다. 이것은 휨강도와 비교하여 증가율은 그다지 높지않다. 또한 수축율은 0.01~0.06%로 거의 공시체가 0.02% 정도이기 때문에 얇은 판의 프리

캐스트로서한 경우도 “휨”이나 균열은 전혀 생기지 않는 것이 특징이다.

흡수율도 0.53~0.77%로 자기타일이나 석재 등과 거의 같다. 내화성에 대하여는 일반적으로 실리카흙을 10% 정도 첨가한 고강도모르터는 가열에 의해 폭열하는 것이 많으나 금회와 같이 가온 양생한 높은 휨강도모르터에서는 폭열은 거의 일어나지 않는 등 특별한 특징이 있다.

라. 고 찰

이와같이 높은 휨강도모르터는 지금까지 시멘트계의 것에서는 도저히 도달할 수 없었던 휨강도가 얻어졌었던 것은 말할것도 없고 수축율, 흡수율, 내화성의 점에서 대개 자기와 같은 정도이상의 것이 용이하게 얻어졌다.

7. 결 론

이상과 같이 고품질콘크리트를 얻기 위하여는 골재를 적시는 것에 의한 표면기포의 제거와 시멘트분체 자신의 분산을 시키는 것이 중요하다.

앞으로는 실리카흙 등의 혼화재료 유효이용에 의해 우수한 강도의 것이 얻어지는 것으로 생각된다. 예를들면 휨강도모르터는 현재 휨강도로서 300kgf/cm² 이상의 것이 얻어진다.

이와같이 앞으로 시멘트콘크리트의 가능성은 비약적으로 증대되는 것으로 생각된다. 얇은판 커텐월이나 얇은판거푸집 등 여러 가지 얇은판 프리캐스트부재가 기대되는것은 말할것도 없다. 석재나 타일, 외벽재나 지붕

재 또는 육조등이 섬유 보강재의 보강없이 용이하게 낮은가격으로 얻어지는 등 넓은 분야에서 실용화가 기대된다.

한편 본연구중 높은 휨강도모르터의 연구는 더욱 본격적으로 연구실용화에까지 지속적인 연구가 필요하다. 특히 거대한 가혹한 환경에 설치되는 구조물의 내구성향상을 위한 적용검토도 병행하여 최근 사회적으로 문제되는 콘크리트의 품질향상과 내구성문제 해결을 위하여도 지속적인 연구가 필요하다.

《참고문헌》

1)伊東靖郎 細骨材の水と空氣による界面狀態かコンクリートおよびモルタルに及ぼす影響に關する研究土木學會論文報告集 第343號 1984.3

2)早川光敬,山本康弘,丸鳩紀夫 細骨材の含水狀態がコンクリートの性狀に及ぼす影響,日用化-建築技術, 1983.4, No.380

3)岸谷孝一, 伊東靖郎, 加賀秀治, 山本康弘, SEC콘크리트工法基礎理論と特性, 實用化-建築技術, 1983. 4, No. 380

4)中村嘉廣, 中會根純子, 山本康弘, ほか 超高强度コンクリートの調含に關する基礎的研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1992.9

5)依田彰彦, 森田靖美, 新井一彦 碎石を用いたコンクリートについて, セメント・コンクリート No. 257, 1968. 7.

6)山本康弘, 大澤清入, 園田博己 高曲ば強度フレキシブルタルの研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1993. 9

7)윤상대, 배수호 콘크리트대체골재개발에 관한 연구 농어촌진흥공사, 1994. 12.