

고강도 레미콘의 제조 및 생산기술

이 장 화

〈한국건설기술연구원, 연구위원, 공학박사〉

제 1장 서언

국내의 레미콘산업은 일반콘크리트 즉, 210kg/cm², 240kg/cm² 강도의 콘크리트 중심이며 270kg/cm², 280kg/cm² 강도의 콘크리트가 일부 유통되고 있다. 고강도 콘크리트는 P.S콘크리트 구조물에서는 사용이 어느정도 보편화되어 있으나 레미콘에서는 별로 취급하지 않았다. 이로 인해 고강도 콘크리트를 레미콘으로 제조하여 공급하기 위해서는 기존의 일반강도 콘크리트의 제조·공급과는 다른 측면에서 여러 가지 기술적인 사항이 검토·적용될 필요가 있다.

국내의 경우 350kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트의 대해서는 대학 및 연구소를 중심으로 비교적 활발한 연구가 진행되어 왔으나 실제 현장에서는 구조물의 특성을 고려하지 못한

고강도콘크리트의 타설로 인하여 많은 문제점이 발생하고 있다.

이웃 일본의 경우에는 1988년부터 1993년까지 5개년 동안 건설성 주관의 학연산 프로젝트로서 약 50억원 정도의 연구비를 투입하여 고강도 콘크리트에 대한 연구를 실시한 후 그 결과를 현장에 적용시키고 있으며, 미국 및 캐나다의 경우에도 고강도 콘크리트의 개발 및 실용화를 위한 연구가 폭넓게 진행되었다.

따라서, 우리나라의 경우에도 고강도콘크리트의 타설 및 시공에 대해 국내의 연구결과를 체계화 시켜 국내 실정에 적합한 고품질의 콘크리트 제조 및 시공 기법을 확립하여야 할 것이다. 다행히도 2000년도 부터는 콘크리트표준시방서에 고강도콘크리트에 대한 기준이 제정되어 있으나 기본적인 사항에 대한 내용으로 구성되어 있다.

본고에서는 고강도 콘크리트의 제조·공급에 필요한 사항에 대해 분석한 후 국내에서 비교적 많이 사용되고 있는 설계강도 400kg/cm² 콘크리트에 대하여 소요의 품질 및 경제성을 확보하고 실용성을 향상시키기 위한 방안을 중점적으로 검토하여 고강도콘크리트의 적극적인 활용을 도모코자 한다.

제 2장 고강도 콘크리트의 일반적 특성

1. 콘크리트 재료

1.1 시멘트

일반적으로 고강도콘크리트에 사용되는 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(Type I) 및 조강포틀랜드시멘트(Type II)이며, 주로 보통포틀랜드시멘트가 많이 사용되고 있다.

시멘트 페이스트의 압축강도는 공극(겔세공)의 용적비로 나타낼 수 있으므로, 시멘트 페이스트의 전체 공극이 겔세공만으로 이루어져 있다면 시멘트 페이스트의 강도는 최고의 압축강도를 지니게 된다. 따라서, 시멘트 페이스트의 강도는 페이스트 중에 존재하는 공극을 가능한 한 적게 함으로서 높일 수 있다.

콘크리트의 강도는 물-시멘트비에 의해 가장 큰 영향을 받기 때문에 물-시멘트비를 낮춤으로서 고강도콘크리트를 얻을 수 있다. 일반적으로 시멘트의 종류나 제조사가 다르면 동일 물-시멘트비일지라도 콘크리트의 압축강도는 조금씩 다르게 나타나며, 그 경향은 재령이 짧을수록 물-시멘트비가 클수록 크게 나타난다.

1.2 골재

보통강도 콘크리트의 경우, 골재가 콘크리트의 강도에 미치는 영향은 작지만, 고강도로 뒤에 따라 그 영향은 커지게 된다. 고강도콘크

리트에는 강자갈보다 쇄석을 이용하는 것이 유리하며, 이것은 골재의 비중이나 흡수율의 차이에 따른 것이 아니라, 골재의 강도와 부착성능의 영향에 따른 것이다. 따라서 고강도콘크리트에 사용하는 골재에는 비중, 흡수율 등의 품질 이외에 골재자체의 강도와 부착성능이 중요하게 된다.

골재의 부착성능은 크게 구분하면 화학적인 부착과 물리적(기계적)인 부착으로 나눌 수 있다. 화학적인 부착은 석회암 골재의 사용 등으로부터 유도되는 골재의 계면과 페이스트중의 수산화칼슘과의 반응에 의한 부착이고, 물리적 부착은 골재표면의 거칠기와 입자의 맞물림에 의한 부착이다.

고강도콘크리트의 워커빌리티는 단위수량 외에 고성능감수제의 사용량과 사용하는 골재의 입도 입경 등에 따라 다르다.

콘크리트에 연행되는 공기량은 잔골재의 입도에 영향을 받는데, 잔골재의 세립분이 적고 잔골재의 조립률이 큰 경우나 잔골재율이 작은 경우에는 공기를 연행하기가 어렵게 된다. 또한, 굵은골재의 모양이 편평하면 공기연행성이 떨어지게 된다.

1.3 물

혼합수에 대하여 ACI 363 위원회에서는 음료수에 적합한 품질을 갖도록 규정하고 있고, 음료수에 적합치 않은 물을 사용해야만 할 때는 재령 7일 및 28일 압축강도가 깨끗한 물을 사용해서 만든 모르타 압축강도의 90% 이상이면 그 물을 사용해도 좋다고 기술하고 있다.

고강도콘크리트는 특수한 콘크리트이고 또한 높은 품질과 안정된 품질이 요구되므로 원칙적으로 상수도 물을 사용하는 것이 바람직하다.

1.4 혼화제

[표 1.1] 고강도콘크리트에 사용되는 혼화제의 종류와 특성

종 류		주 성 분	규 격	특 성	사 용 효 과
AE제	-	합성계면활성제	KS F 2560	미세기포발생	단위수량저감 워커빌리티 개선 내동결융해성향상
AE 감수제	표준형 지연형 촉진형	리그닌설폰산염 글루콘산염 합성계면활성제	JIS A 6204 ASTM C 494	공기연행성 시멘트분산성	단위수량저감 (10~13%) 강도특성향상 내동결융해성향상
고성능 감수제	현장첨가형	나프탈렌설폰산염 멜라민설폰산염 폴리칼본산염	토목학회규준	시멘트분산성 大 슬럼프손실 大	단위수량 대폭 저감
	슬럼프손실 저감형	上同 및 슬럼프손실저감제		시멘트분산성 大 슬럼프손실 小	고강도콘크리트

고강도콘크리트의 제조에 있어서는 혼화제를 사용해서 단위수량을 저감하므로써 물-시멘트비를 작게 하는 방법이 가장 일반적으로 사용되고 있다. 따라서 보통강도콘크리트에 사용되는 AE제, AE감수제 외에 고성능감수제와 같은 혼화제가 이용된다. [표 1.1]은 고강도 콘크리트의 제조에 사용되는 혼화제의 종류와 특성을 나타낸 것이다.

나프탈렌계 고성능감수제(NSF)는 공기를 연행시키지 않고 응결지연이 작으므로 고침가율로 25% 이상의 감수성을 나타내어 고강도 콘크리트의 제조에 적합하다. 현재 시판되고 있는 고성능감수제로는 나프탈렌계 및 리그닌계 고성능감수제와 폴리칼본산계 화합물과 아미노설폰산계 화합물 등이 있다.

2. 콘크리트의 성질

2.1 굳지않은 콘크리트의 성질

2.1.1 슬럼프

보통강도 콘크리트에서는 슬럼프값에 의해 유동성과 재료분리의 정도를 평가할 수 있으

므로 슬럼프값이 굳지않은 콘크리트의 성질을 대표하는 지표로서 이용되어 왔다. 그러나, 고강도콘크리트는 점성이 커서 슬럼프가 큰 콘크리트의 경우에도 재료분리가 적은 균일한 콘크리트를 얻는 것이 가능하며, 슬럼프 값만으로는 굳지않은 콘크리트의 성질을 표현하기는 어려우므로 펌프에 의한 압송성과 다짐성 등을 종합적으로 고려한 품질평가 방법의 확립이 필요하다. 슬럼프를 대신하는 워커빌리티의 평가방법에 대해서는 현재 많은 연구가 진행되고 있으며, 가장 대표적인 것이 점성과 항복치 등의 레올로지정수를 직접 측정해서 평가의 기준으로 하는 방법이다.

2.1.2 슬럼프 플로우

레올로지의 측면에서 보면 슬럼프는 콘크리트의 항복치를 나타내지만, 슬럼프 플로우는 콘크리트의 점성을 나타낸다. 따라서, 고강도 콘크리트에 있어서는 일반 콘크리트에 비해 레올로지적 성질이 크게 다르므로 슬럼프 시험시의 넓이를 측정하는 방법(슬럼프 플로우 측정방법)이 널리 이용되고 있다. 슬럼프가

18cm 이하의 경우에는 슬럼프와 슬럼프 플로우의 관계가 거의 같은 경향을 나타내지만, 슬럼프가 20cm 이상으로 되면 동일한 슬럼프에 대하여 고강도 콘크리트의 경우가 보통강도 콘크리트에 비해 슬럼프 플로우 값이 작아지게 된다. 슬럼프 플로우 값에 의한 콘시스턴시의 평가방법은 점성이 큰 수중콘크리트에서도 널리 이용되고 있다.

2.1.3 플로우 값(흐름 값)

슬럼프 플로우 값은 정적인 에너지를 가할 때의 점성을 평가할 수 있다. 미국 ASTM C 124에서는 낙하충격을 가했을 때의 넓이에 의해 콘크리트의 콘시스턴시를 측정하는 방법을 채용하고 있는데, 시험방법은 시멘트의 물리 시험방법의 플로우시험과 비슷한 방법으로 슬럼프 콘에 콘크리트를 채운 후 콘을 들어올린 후 소정의 낙하충격을 가했을 때의 넓이를 측정하는 방법이다. ASTM에는 [(소정의 충격을 가한 후의 넓이-슬럼프콘 하면의 직경)/슬럼프콘 하면의 직경]으로서 구한 값을 %로 나타내고 있다.

슬럼프와 ASTM C 124에 의해 구한 슬럼프 플로우값(흐름값)의 관계는 보통 콘크리트의 경우와 고강도콘크리트의 경우가 명확히 다르며, 일반적으로 고강도콘크리트 쪽이 작게 나타난다.

2.1.4 L형 플로우

고강도콘크리트의 시공성을 슬럼프만으로 판정하는 것은 곤란하기 때문에 콘크리트의 물-시멘트비를 신속하게 관리하는 하나의 방법으로서 L형 플로우시험이 제안되고 있다. 이 시험은 연직부에 콘크리트를 채운 후 판을 들어올려 콘크리트를 수평부에 이동시켰을 때의 이동거리 L_f , 이동이 정지할 때까지의 시간 t 및 연직부 콘크리트의 침하량 L_s (L형 슬럼프)

를 측정하는 방법이다.

이러한 측정값을 이용해서 구한 L형 플로우 속도(L_f/t)는 전단응력이 변하지 않는다는 조건하에서 점성을 대표하는 인자가 된다. 따라서 이 값을 측정하므로써 물-시멘트비(점성)의 변동현황을 조사하는 것이 가능하다. 또한, L형 플로우속도는 물-시멘트비에 따라 다른 경향을 나타내므로 물-시멘트비로 시공성을 관리하는 것이 가능하다.

2.2 굳지않은 콘크리트의 물리적 성질

2.2.1 블리딩

고강도콘크리트는 낮은 물-시멘트비로 인해 자유수가 적기 때문에 블리딩도 적어지는 경향을 나타낸다. 물-시멘트비가 35% 이하에서는 블리딩이 잘 생기지 않고, 물-시멘트비 40%에도 블리딩은 적게 일어난다. 이와 같이 고강도콘크리트는 블리딩이 적으므로 재료분리도 적고, 균일한 구조물을 만드는 것이 가능하지만, 마감시간 등에 대한 주의가 필요하다.

2.2.2 경과시간에 따른 슬럼프의 변화

고성능감수제를 이용한 고강도콘크리트는 고성능감수제에 의해 시멘트 입자가 분산되므로 시간의 경과와 함께 발생하는 입자간의 응집작용이 강해지게 되어 시간의 흐름에 따라 슬럼프의 손실은 커진다. 최근 개발되고 있는 슬럼프손실 저감형의 고성능감수제를 이용하면 슬럼프의 손실을 줄일 수 있으나, 고성능감수제의 종류 및 사용량, 골재의 종류 등 각종 요인에 의해 콘크리트의 물성이 변화하므로 실제의 사용에 있어서는 시험을 통하여 공사에 지장을 발생하지 않기 위해 필요한 성능을 만족하고 있는지를 검토하는 것이 좋다.

2.2.3 재료분리

고강도콘크리트는 시멘트 페이스트 또는 모

르터의 점성이 크므로 재료분리가 적게 된다. 재료분리는 물-시멘트비가 낮을수록 작아지며, 고강도콘크리트에서 물-시멘트비 25%, 슬럼프 25cm인 콘크리트의 재료분리는 보통 강도콘크리트에서 물-시멘트비 50~60%, 슬럼프 8cm 정도의 콘크리트와 비슷하다.

2.3 압축강도

시멘트경화체는 시멘트겔, 미반응시멘트, 모세관공극, 겔공극으로 구성되어 있는 전형적인 다공질재료이다. 다공질재료의 강도는 재료내의 공극량에 따라 차이가 있으며, 공극량의 감소에 따라 압축강도는 증대한다.

콘크리트는 시멘트경화체와 골재의 복합재료이고, 공극 이외에도 골재-시멘트 경화체 계면, 골재자체의 결함 등 수많은 결함을 가지고 있으므로, 압축강도를 높이기 위해서는 공시체 내부에 포함되어있는 잠재적인 결함을 적게 해야만 한다.

초고강도콘크리트를 얻는 방법으로서는 초고성능감수제를 사용하여 물-시멘트비를 저감시키는 방법, 오토클레이브양생에 따른 방법, 가압성형과 초음파 진동 등 특수한 다짐을 하는 방법 등이 있다.

2.3.1 압축강도에 미치는 구성재료의 영향

1) 물-시멘트비(물-결합재비)

보통강도콘크리트와 물-시멘트비 30% 이상의 고강도콘크리트에서는 시멘트-물비가 성립하므로, 물-시멘트비의 감소에 따라 콘크리트의 압축강도는 증가하며, 시멘트-물비와 압축강도간에는 비례관계가 성립한다. 그러나, 초고강도콘크리트의 경우에는 물-시멘트비를 30% 이내의 범위로 사용하므로 물-시멘트비의 감소에 따른 압축강도의 증가는 기대할 수 없게 된다. 이것은 낮은 물-시멘트비의 사용에 의해 반죽이 매우 곤란해지고, 다짐

이 불충분해지며, 골재강도가 매트릭스강도보다 낮아지고, 시멘트강도의 한계에 도달하기 때문이다.

물-시멘트비와 압축강도의 관계는 배합을 결정하는 데 있어서 기본사항이지만, 고강도콘크리트에서는 사용재료 양생방법이 미치는 영향이 크므로 일정한 관계를 정하기보다는 시험에 의해 물-시멘트비를 결정하고 있는 것이 일반적이다.

2) 시멘트

시멘트의 품질이 다르고 제조사가 다르면 동일 물-시멘트비의 콘크리트에서도 압축강도는 다르게 나타날 수 있다. 그 경향은 양생재령이 짧을수록 물-시멘트비가 클수록 커지지만, 재령이 길어지면 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 강도 차는 작아지게 되고, 물-시멘트비가 작아지게 되면 제조사간 격차도 작아지게 된다.

3) 혼화재

고강도콘크리트용 혼화재로서는 실리카흙, 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬 미분말 등이 이용되고 있다.

시멘트에 대한 혼화재의 치환율은 압축강도에 영향을 미치게 된다. 실리카 흙의 경우, 치환율의 증가에 따라 압축강도는 증대하지만 어느 정도 이상의 범위에서는 강도의 증대는 보이지 않으며 오히려 강도의 저하를 일으킬 수도 있다. 고로슬래그 미분말의 경우, 재령 및 분말도에 따라 다르므로 적정치환율을 결정해야 한다. 또한 플라이애쉬 미분말의 경우에도 플라이애쉬 분말의 등급에 따라 적정 치환율이 다르게 나타나지만, 일반적으로 15~20%의 치환으로 여러 가지 효과를 기대할 수 있다. 실리카 흙 및 고로슬래그미분말의 경우, 강도증가에 최적인 치환율은 양생온도에 따라 다르며 온도가 상승함에 따라 증가한다.

미분말의 입경은 압축강도의 발현성상에 영

향을 미친다. 고로슬래그 미분말의 경우 입경이 작을수록 단기재령의 강도발현은 높아지지만, 입경이 너무 작으면 수화반응이 빨리 진행되어 장기강도에 불리하다. 플라이애쉬 미분말의 경우, 입경이 작을수록 압축강도는 증대하고 그만큼 장기재령도 증가한다.

4) 골재

골재 자체의 강도 및 골재와 시멘트 페이스트의 부착력차이에 의해 콘크리트의 강도는 현저한 차이를 갖게되며, 동일한 물-시멘트비의 콘크리트에서도 사용하는 골재의 암종, 산지 등에 의해 압축강도는 다르게 된다. 이러한 경향은 물-시멘트비가 작을수록 커지게 된다. 또한, 동일한 물-시멘트비에서도 골재자체가 고강도인 것 및 입형이 거친 것, 강자갈보다는 쇠석을 사용하는 것이 콘크리트의 압축강도에 유리하다.

골재와 매트릭스와의 부착력은 콘크리트의 압축강도에 영향을 주는 중요한 인자이다. 부착력을 높이는 방법으로는 수지계 재료를 사용하는 방법, 오토클레이브 처리된 골재와 매트릭스의 경계면에 수화반응을 일으키는 방법, 반응성골재(클링커)를 이용하는 방법, 거친 면을 가진 골재를 사용하는 방법 등이 있다.

굵은골재의 최대치수는 압축강도에 영향을 미친다. 즉, 굵은골재 치수가 커짐에 따라 강도는 저하하며, 물-시멘트비가 작을수록 커지게 된다. 또한, 굵은 골재량이 증가할수록 압축강도는 저하하지만, 그 저하율은 굵은골재의 종류 및 물-시멘트비에 따라 다르며, 물-시멘트비가 작을수록 저품질 골재를 사용할수록 압축강도의 저하율은 크다.

5) 공기량(공극)

공기량이 압축강도에 미치는 영향은 고강도 콘크리트의 경우가 보통강도 콘크리트의 경우에 비해 크게 나타난다. 굳지않은 콘크리트의 공기량이 1% 증가하면 압축강도의 저하량은

고강도콘크리트의 경우 약 3~5%이고, 고강도경량콘크리트의 경우에는 이보다 조금 더 높다. 또한, 물이 존재하는 공극이 공기가 존재하는 공극보다도 압축강도에 미치는 영향이 크다.

2.3.2 압축강도에 미치는 재령 및 양생의 영향

고강도콘크리트의 압축강도는 보통강도콘크리트와 마찬가지로 초기재령에 있어서 크게 나타나고, 그 후에는 완만해진다. 또한, 고강도콘크리트에서 7일에서 28일 까지의 강도증가율은 약 10~30% 정도이다.

고강도콘크리트의 압축강도는 보통강도콘크리트의 경우와 같이 건조상태에 따라 영향을 받는다. 즉, 표준수중양생에서 얻은 압축강도는 콘크리트가 대기 중에서 양생되었을 때 보다 조금 큰 값을 나타내며, 재령이 길어질수록 그 영향은 커진다.

실리카 흡을 혼입한 고강도콘크리트의 경우에도 양생조건의 영향을 크게 받으며, 특히 기중양생에서는 강도의 저하가 뚜렷하다.

2.4 탄성계수 및 포아슨비

고강도 콘크리트의 탄성계수는 보통강도콘크리트에 비하여 크지만 그 양은 사용재료 및 양생 조건, 골재의 종류에 따라 다르다. 혼화재료에 의한 탄성계수값의 차이는 별로 없으며, 슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼입한 콘크리트의 탄성계수는 보통강도 콘크리트와 비슷하다. 보통강도 콘크리트의 동탄성계수는 정탄성계수보다 큰 값을 나타내며, 정탄성계수와 비례관계가 성립한다.

응력증가에 따른 고강도콘크리트의 포아슨비는 보통강도콘크리트와 거의 같은 경향을 나타내며, 탄성범위에서의 포아슨비는 약 0.2 정도가 된다.

2.5 크리프

고강도콘크리트의 크리프는 보통강도콘크리트에 비해 작으며, 습도가 낮은 경우일수록 그 차이가 커진다.

2.6 수화열

콘크리트의 수화에 따른 발열은 시멘트의 종류, 단위시멘트량, 물-시멘트비, 단면의 크기, 대기온도 등에 영향을 받는다. 특히 하절기는 동절기에 비해 콘크리트를 타설한 경우의 온도상승이 더욱 크므로, 서중콘크리트를 타설할 경우에는 최고온도를 내리기 위한 수단을 강구하여야 한다. 콘크리트의 온도상승은 단위시멘트량이 증가할수록 커지기 때문에 고강도콘크리트의 경우가 보통강도 콘크리트의 경우에 비하여 온도상승이 커지게 된다. 이러한 온도상승을 억제하기 위하여 고강도콘크리트에서는 플라이애쉬, 실리카 흙 등의 혼화재를 사용하므로써 수화열을 억제하는 방법을 사용하거나 초기 온도상승을 억제하기 위해 응결지연제를 사용하기도 한다.

2.7 열적 성질

콘크리트 열적성질을 나타내는 계수에는 콘크리트의 열팽창계수, 비열, 열전도계수 및 열확산계수 등이 있으며, 이들은 온도에 관계된 함수이다. 이러한 열적성질은 물-시멘트비보다는 주로 사용골재의 석질, 단위량 등에 따라 변화한다.

3. 고강도콘크리트의 배합 및 생산

3.1 배합설계의 개념

고강도콘크리트는 낮은 물-시멘트비와 높은 점성, 상대적으로 단위시멘트량이 큰 부배합의 콘크리트가 된다. 또한, 굳지않은 콘크리

트의 슬럼프는 강도에 영향을 미치지 않는 혼화제에 의해서 조절되기 때문에 강도와 직접적인 연관을 가지지도 않는다. 이러한 근본적인 차이점을 가지고 있기 때문에 고강도콘크리트에서 보통강도콘크리트의 설계개념을 그대로 도입한다는 것은 부적합하므로, 고강도콘크리트에 적합한 배합설계의 개념이 정립될 필요성이 있다.

3.2 고강도 콘크리트에 요구되는 성능

3.2.1 압축강도

고강도콘크리트에 요구되는 성능 가운데 가장 중요한 것 중의 하나는 압축강도이다. 콘크리트의 압축강도는 재료의 품질 변동, 계량오차 및 시험오차, 비빔 및 운반의 영향 등의 요인에 따라 압축강도의 변동이 발생하므로 설계기준강도를 목표로 해서 배합을 정하면 실제로 만들어지는 콘크리트의 압축강도는 설계기준강도를 밑돌 확률이 상당히 높아진다. 이 때문에 모든 배합설계방법에서는 설계기준강도에 콘크리트의 강도변동(표준편차)을 토대로 강도증가계수를 할증한 배합을 정하여 배합강도로서 사용하도록 하고 있다. 콘크리트 강도의 변동은 정규분포의 형태를 지니고 있으므로, 설계기준강도를 밑도는 확률(불량률)을 정하면 증가시켜야 할 편차가 정해진다. 콘크리트표준시방서에서는 불량률에 대하여 보통강도 콘크리트의 경우에는 5% 이하를 기준으로 하고 있다. 그러나 고강도콘크리트에 대하여는 특별한 기준이 없기 때문에 보통강도 콘크리트와 동일하게 적용하는 것으로 본다.

고강도콘크리트의 강도증가계수 선정시에 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

① 보통강도 콘크리트보다 고내구성, 고품질로 하여야 한다.

② 고강도콘크리트를 이용한 구조에서는 보통강도 콘크리트를 이용한 구조에 비해 강도

가 구조성능에 영향을 미치는 정도가 크다.

③ 고강도콘크리트는 보통 강도 콘크리트보다 취성적이므로, 안전율을 크게 할 필요가 있다.

④ 고강도콘크리트는 제조 및 시공에서 불명확한 요소가 많고 실 구조물에서의 압축강도가 비교적 큰 변동을 갖는다.

3.2.2 시공성

일반적으로 콘크리트의 시공성은 굳지않은 콘크리트의 워커빌리티 및 슬럼프에 따라 평가된다. 워커빌리티는 재료의 분리를 발생하지 않고, 운반, 타설, 다짐 마감 등의 작업을 쉽게 할 수 있는 정도를 나타내는 굳지않은 콘크리트의 종합적인 성질을 말하며, 슬럼프는 굳지않은 콘크리트의 물리적 특성을 나타내는 하나의 지표가 된다. 작업의 용이성 측면에서 보면 슬럼프가 크고, 유동성이 좋은 쪽이 워커빌리티가 좋다고 할 수 있으나, 슬럼프를 크게 하면 재료의 분리가 발생하기 쉽고, 블리딩량이 크게 되어 콘크리트의 균일성을 잃기 쉽게 된다. 이 때문에 슬럼프는 작업에 적합한 워커빌리티를 얻을 수 있는 범위에서 가능한 한 작게 정하는 것이 중요하다. 또한, 고강도콘크리트를 이용한 구조물은 배근이 매우 복잡하게 얽혀 있어 슬럼프가 15cm 이하인 콘크리트를 사용하는 경우에는 시공성이 나빠지기 때문에 적절한 슬럼프를 선정하는 것이 매우 중요하다.

고강도콘크리트는 물-시멘트비가 작기 때문에 시멘트 페이스트의 점성이 커지게 된다. 따라서 고성능감수제를 사용하여 콘크리트의 슬럼프를 높이지 않으면 시공성이 매우 나빠진다.

3.2.3 내구성

콘크리트의 내구성에 관해서 배합설계상 고려하는 항목을 나타내면 다음과 같다.

- 1) 중성화에 대한 저항성
- 2) 염해저항성, 부식성 물질의 침투에 대한 저항성
- 3) 동결융해 작용에 대한 저항성
- 4) 알칼리 골재 반응에 대한 저항성
- 5) 건조수축 균열에 대한 저항성
- 6) 일반 기상작용에 대한 저항성
- 7) 화학작용·마모작용에 대한 저항성

대부분의 항목들은 물-시멘트비를 저감하므로써 크게 억제할 수 있다. 그러나 물-시멘트비가 낮아짐에 따라 단위시멘트량이 늘어나는 부배합이 될 가능성이 많으므로 건조수축에 의한 균열발생 및 알칼리골재 반응의 발생 가능성은 커지게 된다.

한편, 고강도콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비하여 동결융해 작용에 대한 저항성은 우수하지만, 적절한 공기량을 확보하므로써 동결융해 저항성을 향상시킬 필요성이 있다.

3.3 물-시멘트비

배합에 사용하는 물-시멘트비는 배합강도를 고려하여 내구성 및 소요의 성능을 얻을 수 있도록 정하여야 한다. 일반적으로 고강도콘크리트의 경우에는 배합강도를 얻기 위한 적절한 물-시멘트비를 사용하면 내구성 등 강도 이외의 소요성능은 자동적으로 확보되는 경우가 많다. 30% 이상의 물-시멘트비를 사용할 경우에는 시멘트-물비와 콘크리트의 압축강도가 비례관계를 갖게 되므로 시험을 통하여 시멘트-물비와 압축강도와의 관계를 구함으로서 적절한 물-시멘트비를 선정할 수 있다.

3.4 단위수량 및 단위시멘트량

단위수량은 소요의 워커빌리티를 얻을 수 있는 범위에서 가능한 한 작은 값으로 하는 것이 좋으며, 콘크리트표준시방서에서는 단위수량을 $180\text{kg}/\text{m}^3$ 이하로, 일본의 JASS 5에서

는 단위수량의 최대치를 185 kg/m³ 로 정하도록 규정하고 있다. 보통 강도 콘크리트의 경우에는 슬럼프와 단위수량이 밀접한 관계를 가지고 있지만, 고강도콘크리트의 경우에는 소요 슬럼프를 확보하기 위하여 고성능AE감수제와 고성능감수제 등과 같은 혼화제를 사용하게 되므로 소요의 단위수량을 결정할 경우에는 실제로 사용하는 혼화제를 이용해서 시험을 실시하고 그 결과를 토대로 결정해야만 한다. 고강도콘크리트의 단위수량은 165~175 kg/m³ 가 많이 사용되고 있다.

3.5 잔골재율

잔골재율은 콘크리트가 소요의 성능을 얻을 수 있는 범위에서 가능한 한 작게 정하도록 규정되어 있으나 물-시멘트비, 단위수량, 공기량 및 골재의 입도 입형 등에 따라 변화하므로 표준값을 정하는 것은 곤란하다. 따라서 배합에 사용하는 잔골재율은 골재에 대한 배합실험을 통하여 가장 적합한 것을 선택해야 한다.

3.6 혼화제 사용량

고강도콘크리트의 제조를 위해서는 고성능 감수제와 같은 높은 감수성을 갖는 혼화제를 사용하는 것이 필수적이다. 일정한 슬럼프를 얻는데 필요한 고성능감수제 등의 혼화제의 사용량은 단위수량이 감소함에 따라 증가하는 경향이 있다. 그러나, 고성능감수제의 적정 사용량은 혼화제의 제조사에 따라 다르므로 시험을 하여 정하는 것이 필요하다.

4. 콘크리트의 제조

4.1 콘크리트의 비빔

콘크리트의 비빔방법을 크게 분류하면 일괄 방식과 분할방식으로 나눌 수 있다. 일괄방식은 종래의 방식으로 전 재료를 동시에 투입하

여 비빔을 하는 방법이며, 분할방식은 재료의 투입순서 및 투입량 등을 조절하여 분할투입하는 방법으로 크게 혼합수 분할방식과 혼합수 비분할 방식으로 나눌 수 있다.

혼합수 분할방식은 다음의 3가지 방법으로 나눌 수 있다.

① 조각분할법 : 물을 1차와 2차로 나누어 비빔을 하는 것으로 시멘트 투입전에 모래와 자갈, 1차수를 투입하고, 그 후 시멘트를 투입하여 골재와 시멘트를 섞은 뒤 2차수를 넣고 혼합한다.

② DM(Double Mixing)법 : 소용량의 강력 믹서로 1차수만을 이용해서 시멘트 페이스트 또는 모르터를 비비고, 대형믹서를 이용해서 2차수와 자갈로서 콘크리트를 제조한다.

③ 분할법 : 시멘트 투입 전에 골재와 1차수를 비비거나, 1차수와 시멘트로 시멘트 페이스트를 먼저 비비는 방법으로 물의 첨가를 2회로 나눈다.

혼합수 비분할 방식은 다음의 2가지 방법이 있다.

① 페이스트 선비빔법(모르터 선비빔법) : 시멘트 페이스트 혹은 모르터를 먼저 비빔한 후 골재를 투입하여 섞는다.

② 건비빔법 : 시멘트, 모래, 자갈을 먼저 섞은 후에 물을 투입하여 비빔을 한다.

고강도콘크리트의 비빔순서는 믹서의 형식, 골재의 종류 및 입도, 단위수량, 단위시멘트량, 혼화재료의 종류 등을 고려하여 정해야 한다.

4.2 비빔방법이 굳지 않은 콘크리트에 미치는 영향

(1) 슬럼프

혼합수 비분할 방식에 있어서 물과 시멘트를 먼저 비비는 페이스트 선비빔법은 물, 시멘트, 모래를 먼저 비비는 모르터 선비빔법보다

슬럼프가 커지고, 경과시간에 따른 슬럼프의 변화도 작다.

비빔방법을 슬럼프의 크기 순으로 배열하면 다음과 같다.

페이스트선비빔법 ≥ 분할법 ≥ 조각분할법
≥ 모르터선비빔법 ≥ 일괄방식(종래방식)

(2) 블리딩

일괄방식의 블리딩량은 분할법, 조각분할법, DM법보다 크며, 혼화제의 후첨가는 블리딩량을 크게 한다. 비빔방법에 따른 블리딩량의 크기는 다음과 같다.

일괄방식모르터선비빔법 ≥ 페이스트선비빔법 ≥ 분할법 ≥ 조각분할법 ≥ DM법

(3) 공기량

일괄방식에서는 슬럼프가 낮아지면 공기량도 적어지며, 비빔수 분할방식 중 조각분할법의 공기량은 일괄방식보다 작아진다. 비빔수 비분할 방식에 있어서 페이스트 선비빔법의 공기량은 일괄방식과 같거나 적으며, 모르터 선비빔법보다 적다.

모르터선비빔법 ≥ 분할법 ≥ 일괄방식 ≥ 페이스트선비빔법 ≥ 조각분할법

4.3 비빔방법이 굳은 콘크리트의 성질에 미치는 영향

콘크리트 압축강도는 비빔방법에 의해서도 다소 차이가 나타나며, 비빔수 분할방식을 사용할 경우에는 일괄방식을 사용한 경우보다 높은 강도의 콘크리트를 제조할 수 있다. 또한, 동일한 비빔시간일 경우, 비빔수 분할방식을 사용한 콘크리트의 초기 탈수량이 일괄방식을 사용한 것보다 작아진다.

5. 운반 · 타설 · 다짐 · 양생

5.1 운반

(1) 콘크리트 버킷에 의한 운반

콘크리트를 버킷으로 운반하여 타설하는 경우에는 굳지않은 콘크리트의 품질 손상이 적어지며, 크레인의 성능을 향상시키므로서 시공능률을 높일 수 있다. 콘크리트를 높은 위치에 타설할 때는 버킷의 운반속도 등을 고려한 시공계획을 수립하여야 한다.

(2) 콘크리트 펌프에 의한 운반

고강도 콘크리트를 펌프에 의하여 타설하는 경우, 펌프내부의 압력손실은 보통강도콘크리트에 비하여 크다. 이것은 고강도 콘크리트의 소성점도가 크고, 관벽 미끄럼층의 저항이 증가하기 때문이다.

굳지않은 콘크리트의 슬럼프는 펌프 압송전에 비하여 약간 떨어지고 공기량도 약간 줄어들게 되지만 압축강도에 영향을 미치는 수준은 아니다. 그러나 레디믹스트 콘크리트의 수송시간이 길어지게 되면 운반도중 슬럼프의 저하가 발생하고 펌프 압송시에도 슬럼프가 저하하여 시공성에 영향을 미치게 되므로 고강도 콘크리트의 타설시에는 적절한 슬럼프 관리를 실시하여야 한다.

5.2 타설

(1) 타설계획

배근량이 많은 보와 기둥 접합부에 고강도 콘크리트를 타설할 경우에는 콘크리트의 높은 점성에 의해 분리되거나 충전되지 않는 곳이 발생하기 쉬워진다. 이와 같은 현상을 피하기 위해서는 VH 분리타설(수직·수평부재의 분리타설)방법을 사용하는 것이 좋다. 기둥에 VH 분리타설을 실시할 경우에는 콘크리트 버킷 배출구에 트레이판 또는 호스 상태의 슈트를 설치하고 이 부분을 기둥부의 배근 가운데에 넣어 자유낙하 높이 1m를 확보하면서 타설을 한다. 보, 기둥, 슬래브 일체타설의 경우에도 보와 기둥 접합부의 배근에 슈트를 넣기 위한 공간을 설치하는 것이 좋다. 보, 슬래브의

타설에 있어서는 주로 콘크리트 버킷 또는 콘크리트 펌프의 호스의 끝에서 소정위치에 직접 타설하는 방법이 사용되고 있다.

(2) 이음·마감

고강도콘크리트는 단위수량이 낮으므로 타설후 수분 증발에 의해 마감이 어려워지고 건조수축에 의한 균열이 발생할 수도 있다. 따라서 고강도콘크리트의 타설시에는 콜드 조인트가 발생하지 않도록 레디믹스트 콘크리트의 운반시간을 고려한 타설계획을 설정하여야 한다. 또한 슬래브에 콘크리트를 타설하는 경우에는 표면 마감이 많은 시간과 인력이 소요되므로 여유 있는 타설계획을 세워야 한다.

5.3 다짐

콘크리트가 소요의 강도를 충분히 발현하기 위해서는 다짐은 매우 중요하다.

고강도 콘크리트의 다짐 공정에서는

① 다짐 장치, ② 진동기의 삽입장소, ③ 진동시간 등에 유의하여야 한다.

(1) 다짐 장치

고강도 콘크리트에서는 감수성이 높은 혼화제를 많이 사용하기 때문에 점성이 높은 콘크리트가 되므로, 보통 콘크리트와 같은 다짐을 할 수 없다. 이 때문에 콘크리트의 다짐을 위하여 고주파 봉형 진동기(내삽형 진동기), 거푸집 진동기 등이 사용되고 있으나, 거푸집 진동기의 경우 적절하게 설치하지 않으면 고주파 봉형 진동기로 다짐한 경우에 비해 콘크리트 강도의 오차가 커질 우려가 있으므로 주의하여야 한다. 현재 가장 많이 사용되는 고주파봉형 진동기는 직경 40~60mm이다.

(2) 삽입방법 및 삽입장소

진동기에 의한 다짐방법으로 고주파 봉형 진동기를 사용하는 경우에는 진동의 유효범위가 철근의 배근상태에 영향을 줄 수 있으므로 사전에 도면상에서 다짐 위치를 검토해 둘 필

요가 있다.

진동기는 지름이 큰 것일수록 전달되는 진동 가속도가 크며, 영향범위도 크다. 콘크리트의 압축강도 및 단위 용적 중량은 진동원에서의 거리에 영향을 받으므로, 전파 가속도 및 강도저하를 고려하여 다짐의 유효범위를 정한다. 철근이 있는 경우에는 전파 가속도가 저하하므로 가능한 한 삽입간격을 작게 해서 다짐을 하는 것이 필요하다. 또한 점성이 큰 고강도 콘크리트에 진동을 가하는 경우에는 삽입위치로부터의 거리에 따른 진동감소가 보통강도콘크리트보다 크기 때문에 진동기의 삽입간격을 보통콘크리트보다 작게 설정해야만 한다.

(3) 진동시간

보통 1개소에 있어서 진동시간은 10~20초 정도로 한다. 진동시간이 길어지면 수평방향 강도의 오차가 작아지므로 고강도 콘크리트의 다짐 시간을 보통강도 콘크리트보다 길게 하는 것이 바람직하지만, 진동시간을 너무 길게 하면 오히려 악영향을 미치므로 주의해야 한다.

5.4 양생

고강도콘크리트의 양생에 있어서 중요한 요소로는 양생기간, 양생방법, 양생온도 등이 있다.

(1) 양생기간

양생에 필요한 기간은 양생일수로 나타내거나 콘크리트 강도로 나타낸다. 양생일수로 나타내는 경우에는 재령 1~2주 정도로 하는 것이 일반적이며, 거푸집 탈형시의 소요강도로서 나타낼 경우에는 보통강도콘크리트의 기준값보다 큰 값을 설정해서 관리하는 것이 일반적이다.

습윤양생의 기간에 대해서는 양생일수 또는 강도 이외에 최소한의 필요조건을 고려해서 결정해야 한다.

(2) 양생방법

양생방법은 보통강도콘크리트와 다르지 않지만 고강도콘크리트의 표면에서 급격한 건조가 발생하면 플라스틱 수축균열이 발생하므로 상부 슬래브에서는 직사광선, 바람 등의 영향을 받지 않도록 시트 양생 등을 실시하는 것이 좋다.

(3) 양생온도

기온이 현저하게 낮을 경우에는 콘크리트의 수화반응이 저해되어 강도발현이 지연되므로 초기동해를 입을 위험이 높다. 따라서, 이러한 경우에는 필요한 온도조건을 유지하기 위한 보온양생을 실시하여야 한다. 또한, 기온이 현저하게 높을 경우나 큰 온도차가 생길 것이 예상되는 경우, 또는 부재의 크기가 크고 온도상승이 큰 경우에는 온도응력에 의한 균열이 발생할 위험이 있으므로 파이프쿨링이나, 시트 등으로 온도를 제어하여야 한다.

선정하기 위해서는 적절한 시험을 통하여 작업성이 확보되는 범위에서 적정한 단위시멘트량(단위수량)을 사용하는 것이 좋다.

[표 3.1]의 배합표를 보면 목표 베이스슬럼프를 2.5~3cm로 맞추기 위하여 단위시멘트량을 488~512 kg/m³ 정도로 사용하고 있다. 그러나 시공성을 확보하면서 단위시멘트량을 줄임으로서 콘크리트의 수화열 및 건조수축 등에 의한 균열을 감소시킬 수 있게 됨은 물론,

[표 3.1] 고강도콘크리트 배합설계의 예

No.	W/C (%)	단위량(kg)				잔골재율 (%)	베이스 슬럼프 (cm)
		W	C	S	G		
1	36.5	180	492	609	1025	40.8	2.5
2	34.4	176	512	731	982	44.0	2.5
3	35.0	174	497	691	981	43.0	2.5
4	35.0	176	506	682	993	40.0	3.0
5	34.0	170	500	684	996	42.1	3.0
6	33.6	164	488	674	1023	41.0	3.0

제 3장 고강도 콘크리트(400kg/cm²)의 적용

1. 현장의 고강도콘크리트 적용 예

1.1 배합설계의 예

단위시멘트량은 소요의 강도, 내구성, 수밀성 등을 가지는 콘크리트를 얻도록 시험에 의하여 정해야 한다. 일반적으로 단위시멘트량을 300kg/m³ 이상으로 하면 적절한 콘크리트와 철근의 부착 및 콘크리트의 수밀성을 이룰 수 있으나, 고강도콘크리트에서는 물-시멘트비가 낮아지게 되므로 작업성의 향상을 위해 단위시멘트량이 증가하게 된다. 그러나 지나치게 많은 양의 시멘트를 사용하게 되면 수화열, 건조수축 등에 의한 콘크리트의 균열발생 위험이 증가하여 콘크리트의 내구성에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 따라서 단위시멘트량을

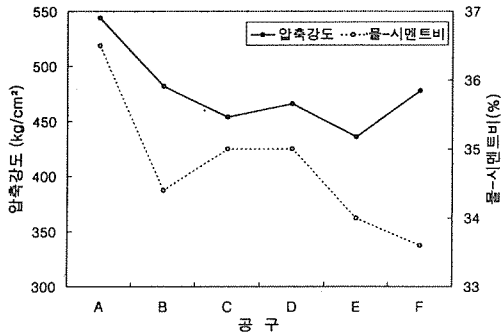
소요의 품질에 적합한 고내구성을 지닌 경제적인 배합을 도출할 수 있다.

1.2 물-시멘트비와 압축강도의 관계

콘크리트의 물-시멘트비는 소요의 강도와 내구성을 고려하여 정하는 것으로, 콘크리트의 압축강도에 크게 영향을 미친다. 일반적으로 물-시멘트비의 증감에 따른 콘크리트의 강도 변화는 고강도콘크리트에 있어서 더욱 민감해지기 때문에, 양질의 콘크리트를 얻기 위한 품질관리에 있어서 현장에서의 물-시멘트비 관리는 대단히 중요한 요소라 하겠다.

[그림 3.1]은 실제 현장의 배합 예로서 [표 3.1]의 배합의 압축강도와 물-시멘트비의 관계를 나타낸 것이다.

[표 3.1]에서는 고강도콘크리트(400kg/cm²)의 제조를 위하여 각각 36.5, 34.4, 35,



[그림 3.1] 압축강도와 물-시멘트비와의 관계

35, 34, 33.6%의 물-시멘트비를 사용하고 있다. 물-시멘트비에 따른 재령 28일의 압축강도는 436~544 kg/cm²로서 다소의 차이가 있으나, 모든 경우에 있어 설계강도 400kg/cm²를 만족하고 있다. 그러나 이들 배합은 강도 측면에서 정해진 것이기 때문에 콘크리트의 내구성 및 경제성을 고려하지 못한 문제점을 안고 있다.

1.3 혼화제

[표 3.1]의 배합에서는 콘크리트의 연행공기와 단위수량 저감을 위해 AE제와 고성능감수제를 사용하였는데 현장에 따라서는 AE제와 고성능감수제(유동화제)를 섞어서 사용하는 경우도 있다. 이와 같이 AE제와 고성능감수제(유동화제)를 섞어서 사용하는 경우 슬럼프 확보를 위해서 혼화제를 증가시키면 공기량

이 소요량 이상으로 증가되어 강도가 떨어지게 된다. 또한, 혼화제의 양을 줄일 경우에는 공기량 확보가 곤란해진다. 따라서 하나의 혼화제로서 슬럼프와 공기량의 두가지 요소를 만족시키도록 품질관리를 행하기는 어려우므로 AE제와 고성능감수제를 분리 사용해야 한다.

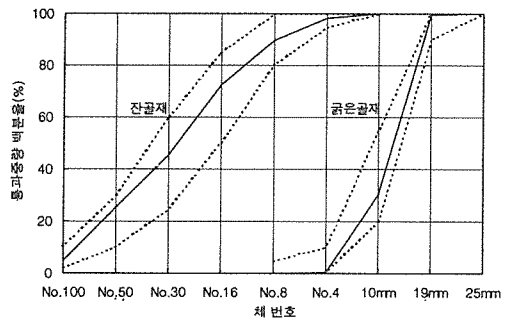
2. 고강도콘크리트(400kg/cm²)의 적용성 실험

2.1 실험개요

2.1.1 사용재료

1) 시멘트
본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 [표 3.2]와 같다.

2) 골재



[그림 3.2] 골재의 입도 곡선

[표 3.2] 시멘트의 물리적 성질

시멘트 제조사	비중	분말도	응결시간 (분)		수화열 (cal/g)				시멘트강도 (kg/cm ²)		
			초결	종결	1h	24h	48h	72h	3일	7일	28일
C ₁	3.15	3,218	189	368	3.6	49.3	64.7	71.7	190	267	318
C ₂	3.15	3,167	194	353	3.8	39.9	57.3	66.1	158	239	274
C ₃	3.15	3,227	178	329	4.3	47.9	58.1	62.8	184	304	372
C ₄	3.14	3,184	207	376	2.6	48.5	65.2	70.8	194	288	339
C ₅	3.15	3,320	172	340	4.5	45.2	55.6	65.4	178	267	321

(표 3.3) 골재의 물리적 특성

항목	비중	흡수율 (%)	조립률	단위용적 중량(t/m³)	마모율 (%)	No.4체 잔류량 (%)
잔골재	2.60	1.27	2.64	1,537	-	1.82
굵은골재	2.68	0.45	6.69	1,560	16.8	-

잔골재는 입도를 조절하여 사용하였고, 굵은골재는 쇄석으로서 최대치수 19mm의 골재를 사용하였으며, 물리적 특성과 입도분포는 [표 3.3] 및 [그림 3.2]와 같다.

2.1.2 실험방법

1) 배합

본 실험에서는 변동계수 10%에 대한 증가계수 1.15를 사용하여 배합강도를 460kg/cm²으로 하였다. 배합조건으로는 물-시멘트비를 32%, 35%, 38%의 3종류로 하고, 단위시멘

트량은 470 kg/m³, 단위굵은골재량 970 kg/m³으로 하였다.

2) 제조방법

콘크리트의 비빔은 먼저 잔골재와 굵은골재를 섞은 후, 시멘트를 넣고 20초간 건비빔을 하고, 물과 혼화제를 넣고 1분 30초간 비빔을 하였다. 측정 항목은 굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 공기량, 플로우 값을 측정하였으며, 콘크리트의 압축강도를 측정하기 위하여 공시체는 6개를 제작하였다. 공시체는 제작 1일 후 탈형하고, 온도 23±1℃의 수중에서 압축강도 시험일까지 수중양생을 하였다.

2.2 실험결과

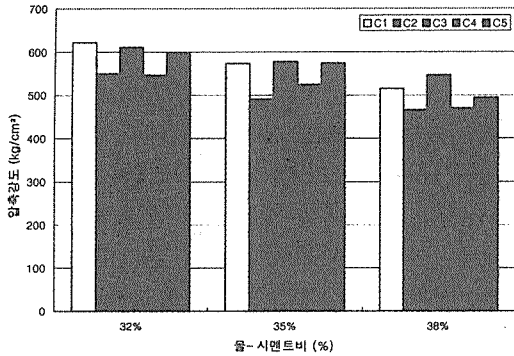
2.2.1 물-시멘트비의 변화에 따른 분석

콘크리트의 압축강도는 물-시멘트비에 가장 큰 영향을 받기 때문에 콘크리트 배합시 소

(표 3.4) 시멘트 제조사별 배합표와 압축강도

시멘트 종류	W/C (%)	단위량 (kg)				AE제 (%)	공기량 (%)	고성능 감수제 (%)	슬럼프 (cm)	7일 압축강도 (kg/cm²)	28일 압축강도 (kg/cm²)
		W	C	S	G						
C ₁	32	150	470	791	970	0.013	4.0	0.8	12.5	548(538)	633(622)
	35	165	470	755	970	0.006	3.0	0.6	15.0	506(479)	605(573)
	38	179	470	718	970	0.006	3.0	0.4	15.0	475(450)	544(515)
C ₂	32	150	470	791	970	0.020	3.7	0.7	9.5	481(468)	566(550)
	35	165	470	755	970	0.014	6.0	0.4	15.4	376(396)	466(490)
	38	179	470	718	970	0.007	4.0	0.2	13.4	363(357)	474(466)
C ₃	32	150	470	791	970	0.032	5.8	1.0	10.6	505(528)	584(611)
	35	165	470	755	970	0.020	5.6	0.8	19.7	471(489)	556(577)
	38	179	470	718	970	0.015	5.0	0.5	18.0	431(439)	537(546)
C ₄	32	150	470	791	970	0.032	3.8	0.7	15.0	480(468)	560(546)
	35	165	470	755	970	0.021	5.0	0.8	23.9	474(482)	515(524)
	38	179	470	718	970	0.015	6.0	0.2	18.8	357(376)	446(469)
C ₅	32	150	470	791	970	0.020	4.1	1.2	11.4	478(471)	605(597)
	35	165	470	755	970	0.020	5.0	1.1	22.0	441(449)	564(574)
	38	179	470	718	970	0.020	3.0	0.7	20.5	402(381)	522(495)

주 : 괄호안의 숫자는 공기량 4.5%를 기준으로 압축강도를 환산하여 나타낸 수치임



[그림 3.3] 시멘트 제조사별 물-시멘트비에 따른 압축강도

요의 강도발현과 내구성을 만족시킬 수 있는 물-시멘트비를 결정해야 한다. 따라서, 본 실험에서는 소요의 내구성 및 강도를 확보할 수 있는 물-시멘트비를 결정하기 위하여 [표 3.4]의 배합과 같은 시험배합을 실시하였다.

[표 3.4]는 제조사가 다른 5종류의 보통포틀랜드시멘트에 대해 물-시멘트비를 32%, 35%, 38%의 3종으로 변화시켜 사용한 배합

에 대한 실험결과를 나타낸 것이다.

C4사의 시멘트를 사용한 경우에 재령 28일 압축강도 값이 446 kg/cm²로서 배합강도를 밑도는 경우도 있어 현장 적용시 소요의 강도를 확보하는 과정에서 문제가 있을 수 있다. 따라서 소요의 강도를 위한 물-시멘트비는 35~37%(37% 이하)가 적절하다고 판단된다. 시멘트제조사별 물-시멘트비에 따른 압축강도의 관계는 [그림 3.3]과 같다.

2.2.2 단위시멘트량의 변화에 따른 분석

골재의 품질과 입도가 적당하면 어느 정도까지는 단위시멘트량을 적게 해도 수밀하고 내구적인 콘크리트를 만들 수 있으나, 골재를 충분히 부착시키지 못할 정도로 단위시멘트량을 지나치게 적게 하면 경화한 콘크리트의 공극이 커지므로 강도는 물론 수밀성과 내구성이 큰 콘크리트를 만들기 어렵다. 철근콘크리트에 사용되는 콘크리트가 소요의 강도를 지

[표 3.5] 단위시멘트량에 따른 콘크리트의 물성 변화

W/C (%)	단위량 (kg)				AE제 (%)	공기량 (%)	고성능 감수제 (%)	슬럼프 (cm)	압축강도 (kg/cm ²)	
	W	C	S	G					7일	28일
35	137	390	865	970	0.033	5.8	1.3	20.0	483(505)	535(559)
35	144	410	831	970	0.029	4.1	1.0	6.0	504(497)	541(533)
35	151	430	795	970	0.020	3.0	1.0	9.5	452(428)	518(491)
35	158	450	761	970	0.021	5.3	1.0	15.4	401(412)	483(497)
35	165	470	726	970	0.021	5.0	0.8	13.4	474(482)	563(573)
35	172	490	691	970	0.017	6.3	0.4	12.5	395(420)	473(503)
35	130	370	900	970	0.030	4.0	1.4	10.0	403(396)	583(573)
35	144	410	831	970	0.022	4.0	1.0	20.1	386(379)	578(568)
35	158	450	761	970	0.018	5.5	0.8	17.8	433(448)	573(593)
35	165	470	726	970	0.014	4.0	0.7	20.2	429(421)	576(566)
35	179	510	657	970	0.014	4.7	0.5	18.0	380(383)	539(543)
35	193	550	588	970	0.012	4.1	0.3	19.0	390(385)	557(549)

주: 괄호안의 숫자는 공기량 4.5%를 기준으로 압축강도를 환산하여 나타낸 수치임

니고, 콘크리트와 철근과의 부착강도가 충분히 발휘되기 위해서는 적절한 물-시멘트비를 가진 시멘트풀이 철근을 완전히 둘러싸야 하며, 충분한 시멘트 페이스트가 만들어져 적절한 공극의 크기를 유지하여야 한다. 그러나 콘크리트의 부재크기가 커지고, 단위시멘트량이 증가하게 되면 수화열에 의한 균열 및 건조수축에 의한 균열의 발생위험이 높아지므로 적절한 단위시멘트량의 결정은 실험을 통하여 충분히 검토되어야 한다.

본 실험에서는 단위시멘트량과 압축강도와의 관계를 검토하기 위하여 [표 3.5]에 제시한 실험을 실시하였다.

본 실험에서는 단위시멘트량과 압축강도와의 관계를 검토하기 위해 동일한 물-시멘트비(35%)에서 단위시멘트량을 370~550kg/m³까지 변화시켜 사용하였으며, 재령 7일과 28일의 압축강도를 측정하였다. 압축강도 측정 결과 재령 7일 및 28일에서 단위시멘트량에 따른 뚜렷한 압축강도의 변화는 나타나지 않았으며, 모든 경우에서 만족할 만한 강도 값을 나타내고 있었다. 또한, 단위시멘트량 370 및 410 kg/m³을 사용한 경우의 압축강도가 단위시멘트량을 490 kg/m³이상으로 사용한 경우의 압축강도와 큰 차이를 보이지 않고 있어, 콘크리트의 압축강도는 단위시멘트량에 의해서 크게 영향을 받는 것이 아니라 적절한 골재율, 굳지않은 콘크리트의 공기량 및 슬럼프 등에 영향을 받고 있음을 잘 나타내 주고 있다.

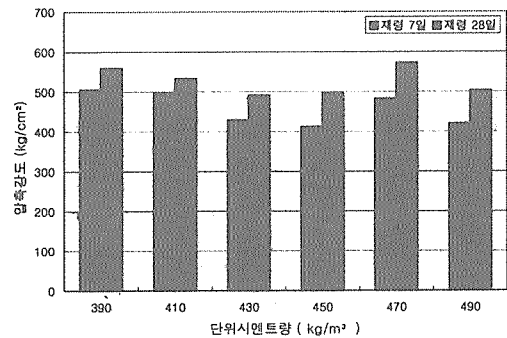
[그림 3.4]와 [그림 3.5]는 단위시멘트량과 압축강도와의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 동일 물-시멘트비에서 단위시멘트량을 다르게 하더라도 목표하는 배합강도를 얻을 수 있으며, 단위시멘트량이 많기 때문에 강도가 높아지는 것이 아님을 알 수 있다.

그러나 단위시멘트량이 적을수록 무조건 유리한 것만은 아니다. 콘크리트의 강도를 만족

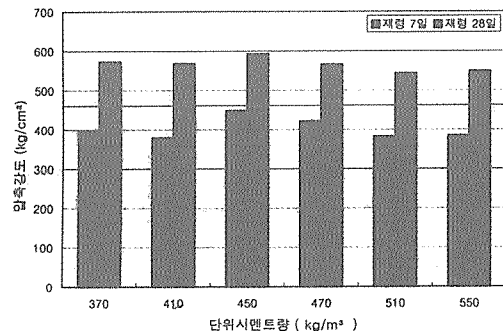
하는 상태에서 내구성과 시공성 즉, 작업성, 성형성, 마감성, 투수성, 수화열, 건조수축 등을 고려하여 적정 단위시멘트량을 결정해야 한다.

[그림 3.4]와 [그림 3.5]에서 모든 경우에 설계강도를 만족한다고 해서 수화열이나 건조수축을 고려하여 최저단위시멘트량인 370, 390 kg/m³을 최적치로 택한다면 작업성, 성형성, 마감성 등 시공성에 문제점이 발생할 수 있다. 또한 단위시멘트량을 510, 530 kg/m³으로 정할 경우에는 콘크리트의 시공성은 좋아지지만 단위시멘트량과 단위수량의 증가로 인해 수화열과 건조수축이 커져 구조물의 내구성에 문제가 발생하게 된다.

따라서 콘크리트를 설계할 때는 내구성과 시공성 및 강도를 모두 고려하여 물-시멘트비



[그림 3.4] 단위시멘트량과 압축강도와의 관계



[그림 3.5] 단위시멘트량과 압축강도와의 관계

와 단위재료량을 결정해야 한다.

그러나, 단위시멘트량을 내구성, 시공성 측면에서 최소화시키고자 함에 있어 운반시간, 기후조건 등으로 인해 일반 고성능감수제 사용으로는 타설시의 슬럼프 유지가 불가능 한 특수한 경우에는 슬럼프손실 저감형 고성능감수제를 사용할 수 있다.

본 실험에서는 물-시멘트비 35%에서 단위시멘트량을 450 kg/m³미만으로 사용한 경우, 소요의 슬럼프를 얻기 위한 고성능감수제의 사용량이 많아지게 되고, 콘크리트는 거칠어지기 시작하였으며, 단위시멘트량이 증가할수록 작업성은 양호해졌다.

여러 가지 측면 즉, 콘크리트의 시공성, 내구성 및 강도 등을 종합적으로 고려해 볼 때, 물-시멘트비 35%에서의 단위시멘트량은 450~470 kg/m³이 적절할 것으로 판단된다.

2.2.3 잔골재율의 변화에 따른 분석

잔골재율을 작게 하면 소요의 워커빌리티를 가지는 콘크리트를 얻기 위하여 필요한 단위수량이 감소되고, 이에 따라 단위시멘트량이

적어져서 경제적으로 된다. 따라서 잔골재율은 소요의 워커빌리티를 확보할 수 있는 범위 내에서 단위수량이 최소가 되도록 시험에 의하여 정해야 한다. 그러나 잔골재율을 어느 정도 보다 작게 하면 콘크리트는 거칠어지고, 재료의 분리가 일어나는 경향이 커져서 작업성이 좋은 콘크리트를 얻기 어렵게 된다. 따라서, 고강도 콘크리트에서 시공성을 고려하여 높은 목표 슬럼프를 채택한 경우에는 적정 굵은골재량을 결정하고 이에 따른 적정 잔골재율을 도출하는 것이 필요하다. 따라서 본 실험에서는 물-시멘트비를 35%, 단위시멘트량을 450, 470 kg/m³로 사용하였을 경우 잔골재율에 따른 슬럼프 변화를 통하여 최적의 잔골재율을 찾고자 하였다.

[표 3.6]은 잔골재율의 변화에 따른 시험결과를 나타낸 것이다. [표 3.6]에서 보면 단위시멘트량 450 kg/m³ 에서 고성능감수제를 0.9% 첨가하였을 경우 잔골재율이 낮아짐에 따라 슬럼프 값도 점차로 떨어지는 경향을 나타내고 있으나, 그 값은 미미하였다. 그러나 잔골재율 42% 미만에서는 슬럼프 값이 높아

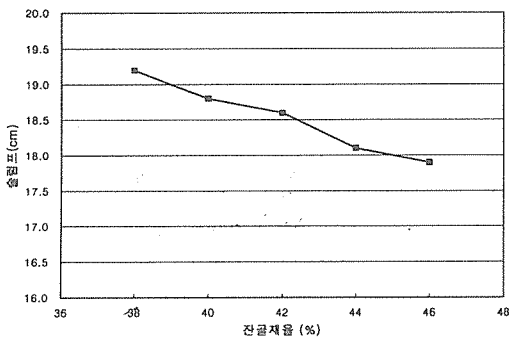
[표 3.6] 잔골재율의 변화에 따른 배합표 및 시험결과

W/C (%)	단위량 (kg)				S/a (%)	AE제 (%)	공기량 (%)	고성능 감수제 (%)	슬럼프 (cm)	콘크리트 거칠기
	W	C	S	G						
35	158	450	652	1084	38	0.022	4.0	0.9	19.2	불량
35	158	450	686	1049	40	0.022	3.9	0.9	18.8	불량
35	158	450	720	1014	42	0.022	4.2	0.9	18.6	보통
35	158	450	755	979	44	0.022	4.6	0.9	18.1	양호
35	158	450	739	944	46	0.022	4.5	0.9	17.9	양호
35	165	470	672	1027	40	0.016	4.9	0.5	12.6	불량
35	165	470	688	1010	41	0.016	4.9	0.5	11.7	보통
35	165	470	705	993	42	0.016	4.3	0.5	11.8	양호
35	165	470	722	976	43	0.016	4.8	0.5	10.6	양호
35	165	470	739	958	44	0.016	4.5	0.5	9.1	양호

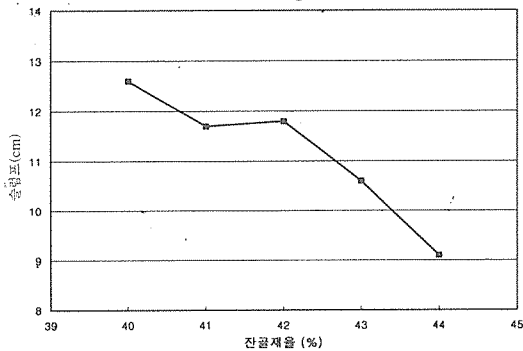
짐에도 불구하고 콘크리트는 거칠게 되었다. 단위시멘트량 470 kg/m³을 사용한 경우, 슬럼프에 의한 작업성 평가는 잔골재율 41~44%의 범위에서는 양호하게 나타났으나, 잔골재율 41% 미만에서는 콘크리트가 거칠게 되어 작업성이 오히려 떨어졌다.

[그림 3.6]과 [그림 3.7]은 잔골재율과 슬럼프와의 관계를 나타낸 것이다.

잔골재율의 변화에 따른 슬럼프 변화는 단위시멘트량 450, 470 kg에서 모두 잔골재율의 증가에 따라 슬럼프는 감소하는 현상이 나타났다. 따라서 최적의 잔골재율은 슬럼프의 감소 폭이 적으면서 콘크리트의 거칠기가 양호한 즉, 워커빌리티가 확보될 수 있는 값으로 결정해야 한다. 이러한 실험결과를 기초로 할



[그림 3.6] 잔골재율의 변화에 따른 슬럼프의 변화 (C=450 kg/m³)



[그림 3.7] 잔골재율의 변화에 따른 슬럼프의 변화 (C=470 kg/m³)

때, 단위시멘트량을 450 kg/m³으로 사용하는 경우에는 잔골재율 43~44% 정도가 적절할 것으로 판단되며, 단위시멘트량 470 kg/m³에서는 42~43%의 잔골재율이 적절할 것으로 판단된다. 그러나 최적잔골재율은 사용되는 잔골재의 입도, 콘크리트의 공기량, 단위시멘트량, 혼화재료의 종류 등의 현장사정에 따라 달라질 수 있으므로 사용재료가 달라질 경우 현장시험에 의하여 정하도록 해야 한다.

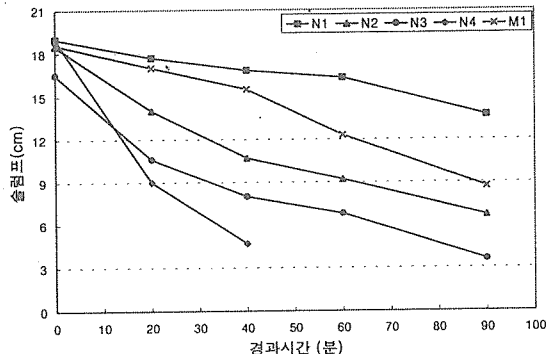
2.2.4 콘크리트에 미치는 혼화제의 영향

(1) 고성능감수제 사용시 슬럼프 손실

[그림 3.8]은 5개사의 고성능감수제에 대해 경과시간에 따른 슬럼프손실을 나타낸 것이다. 동일한 성분을 가진 고성능감수제일지라도 제조사에 따라 상당한 성능의 차이가 나타났다. 이와 같이 혼화제의 종류 및 제조회사에 따라 슬럼프 손실정도는 상당한 차이를 나타내고 있어 사용할 때 유의 해야 하며 또한 같은 제조회사의 제품 일지라도 생산시기가 다를 경우 주기적인 시험을 통하여 품질의 변화를 파악하여 적절히 대처해야 한다.

(2) 슬럼프손실 저감형 고성능감수제

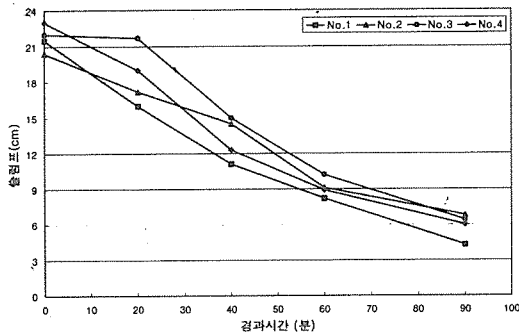
[그림 3.9]와 [그림 3.10]은 슬럼프손실 저감형 고성능감수제에 대한 성능을 나타낸 것이다. [그림 3.9]의 경우 시중에 슬럼프손실



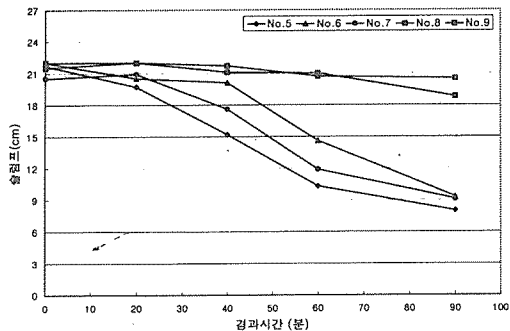
[그림 3.8] 고성능감수제별 경과시간에 따른 슬럼프 손실

저감형 고성능감수제로 유통되고 있는 제품이
 지만 슬럼프손실 저감 효과는 미미하여 일반
 형(그림 3.8)과 별 차이가 없다.

[그림 3.10]에서 No.8 및 No.9의 경우는
 슬럼프 손실이 거의 나타나지 않아, 즉 슬럼프



(그림 3.9) 경과시간에 따른 슬럼프의 변화



(그림 3.10) 경과시간에 따른 슬럼프 손실

손실 저감성능을 충분히 발휘하여 경과시간에
 따른 작업성 및 시공성 확보에 상당한 기여를
 할 것으로 판단된다. 따라서 고성능감수제는
 일반형, 슬럼프손실저감형 모두 그 성능을 매
 번 실험에 의거 분석하여 적정 성능의 제품을
 사용해야 하며 입수하여 보관되고 있는 경우
 에는 주기적으로 성능을 시험해야 한다.

제 4장 결론

(1) 고강도콘크리트는 기존의 보통강도콘
 크리트와는 다른 개념과 방법으로 배합하여야
 한다.

(2) 고강도콘크리트는 기존의 보통강도콘
 크리트에서 주로 강도위주로 설계하고 부수적
 으로 시공성을 고려한 것과는 달리, 강도뿐만
 아니라 내구성과 시공성을 동시에 만족하도록
 필요로하는 사전실험을 통해 재료의 배합비를
 결정하여야 하며 특히 가능한한 단위시멘트량
 을 최소화시켜야 한다.

(3) 고강도콘크리트에 사용하는 혼화제는
 필히 주기적인 성능시험을 통해 소요성능이
 확보된 것을 사용해야 하며 특히, 고성능감수
 제와 AE제는 분리하여 사용하는 것이 고강도
 콘크리트의 품질을 확보하는데 유리하다.