

高強度 콘크리트 (Ⅱ)

— 양날을 가진 칼 —

오 병 환

〈서울대 공과대학 토목공학과 교수〉

백 신 원

〈서울대 대학원 박사과정〉

目 次

- | | |
|---------------------------------|------------------------|
| 1. 서론 | 4. 5. 1. 시멘트량 |
| 2. 고강도 콘크리트의 시장성 | 4. 5. 2. 물-시멘트비 |
| 3. 고강도 콘크리트의 적용 | 4. 5. 3. 세골재 및 조골재 |
| 3. 1. 고강도 콘크리트 기둥, 파일 및 케
이슨 | 5. 고강도 콘크리트의 생산 |
| 3. 2. 고강도 복합 철근 콘크리트 부재 | 5. 1. 배합 |
| 3. 3. 보 및 거더 | 5. 2. 함수량 |
| 4. 재료의 선택 및 배합 비율 | 5. 3. 배치량 |
| 4. 1. 개요 | 5. 4. 마감 |
| 4. 2. 콘크리트의 요구특성 결정 | 6. 고강도 콘크리트의 시험 |
| 4. 3. 그 지역에서의 이용 가능한 재료
결정 | 6. 1. 우수한 시험 방법 |
| 4. 4. 콘크리트 생산에 제한을 주는 요
소 | 6. 1. 1. 시편 크기 |
| 4. 4. 1. 시멘트 | 6. 1. 2. 시편물드, 다짐 및 시험 |
| 4. 4. 2. 슬래그 시멘트 | 6. 2. 시험 결과 분석 |
| 4. 4. 3. 감수제 | 6. 2. 1. 시험결과 분산성 분석 |
| 4. 4. 4. 세골재 | 6. 2. 2. 시험데이터의 비교 분석 |
| 4. 4. 5. 조골재 | 6. 2. 3. 강도 증진 예측 |
| 4. 4. 6. 혼화재 | 7. 고강도 콘크리트의 기타 고려사항 |
| 4. 5. 배합계산 | 7. 1. 저장도 |
| | 7. 2. 코어 시험 |
| | 7. 3. 보수 |
| | 8. 결론 |

4. 4. 콘크리트 생산에 제한을 주는 요소

대부분의 콘크리트 생산자들은 여러곳의 시멘트나 혼화재중 우수한 제품을 선택하지만 조골재나 세골재에 대해서는 선택의 여지가 많지 않다.

아무리 우수한 콘크리트 재료라도 그 지역에서 쉽게 구할 수 없다면 콘크리트 생산자들은 좋은 재료를 얻을 수 있도록 최선의 노력을 다해야 한다. 경험에 의하면, 가장 좋은 방법은 시멘트와 잔골재는 그 지역에서 가장 성능이 좋은 것을 사용하고 조골재와 혼화재료는 여러 대체원을 평가하여 최적배합을 얻도록 하는 것이다.

4. 4. 1. 시멘트

콘크리트 생산자들은 안정적인 공급과 적정의 가격을 위해 여러곳의 회사나 제조공장에서 시멘트를 구입한다. 우수한 시멘트와 감수제의 사용이 좋은 고강도 콘크리트를 생산하는 비결이다. 일반적으로 장기 고강도를 위해서는 거칠게 분쇄된 시멘트, 특히 ASTM Type II 시멘트가 바람직하다. ASTM Type II 시멘트는 화학조성이 약간 다르며 Type I, Type III보다 거칠게 분쇄된 시멘트이다. 그러나 원하는 물-시멘트 비나 컨시스턴시를 위해 감수제의 양이 많아질 경우에는 Type I 이나 Type III 시멘트를 사용하는 것이 좋다. 가늘게 분쇄되고 CA나 CS 성분이 많은 Type I 이나 Type III 시멘트는 현장에서 고성능유동화제의 과다사용에 대해서도 취약성이 적으며 초기 및 장기 강도발현이 아주 우수한 편이다.

생산자들은 사용 가능한 각 시멘트의 강도 및 컨시스턴시를 포함한 과거의 성능을 고찰하여야 하고, 한 종류의 시멘트에 하나의 사일로를 사용할 수 있는지 실제적인 자신의 능력을 고려해야 한다. 그렇지 못할 경우에는 고강도 콘크리트에 사용되는 시멘트의 수를 제한해야 한다. 다른 대체적인 배합에 대하여 실험실 및 생산규모에 대한 실험이 대표적인 샘플을 사용

하여 이루어져야 한다.

4. 4. 2. 슬래그 시멘트

고로 슬래그 시멘트는 우수하면서도 비교적 가격이 저렴한 시멘트생산에 사용된다. 고로 슬래그 시멘트는 여러곳에서 생산되며 일본이나 유럽에서 많이 사용되어지고 있다. 또한 미국의 동부와 캐나다의 일부 지방에서 고로슬래그 시멘트를 사용하여 왔으며 점점 더 증가 추세에 있어 앞으로 세계적으로 널리 사용되어질 것이다.

1987년 ACI Materials Journal Vol. 84 No. 4의 "콘크리트 구성 재료로서 분쇄된 고로슬래그 (Granulated Blast-Furnace Slag as a Concrete Constituent)" 논문에서 고로슬래그 시멘트에 대해 자세하게 설명되어 있다.

몇몇 콘크리트 생산자들은 보통 포트랜드 시멘트의 20-60%를 슬래그 시멘트로 대체하여 사용하고 있다. 슬래그 시멘트는 보통 포트랜드 시멘트보다 28일 이후의 장기 압축강도가 더 좋으며 수화열이 낮고 비용도 상당히 적게 들어 간다. 또한 슬래그 시멘트는 함께 사용되는 감수제나 혼화제나 일반적으로 잘 융합이 된다.

4. 4. 3. 감수제

모든 고강도 콘크리트에 고성능 감수제가 사용된다. 감수제를 흡수할 수 있는 플라이 애쉬나 실리카폼과 함께 다량의 감수제와 잘 융합될 수 있는 시멘트를 사용할 경우 콘크리트의 재료분리나 응결지연(Retardation)없이 감수제의 사용량을 증가시킬 수 있다. 많은 생산자들은 응결지연작용이나 재료분리 또는 혼화제 과다사용에 따른 다른 징후없이 추천된 사용량의 150%-200%이상의 혼화제를 사용하기도 한다.

시멘트량이 많은 경우 응집력과 점착력이 크며 여기에 감수제를 사용하면 더욱 복잡해질 수 있다. 일반적으로 멜라민계 고성능유동화제나 글루코헵토네이트 감수제등이 굳지 않은 콘크리트의 이러한 점착성을 상당히 감소시키는

것으로 알려져 있다.

4. 4. 4. 세골재

고강도 콘크리트는 주로 미세한 분말 재료가 많이 사용된다. 따라서 조골재속의 미분입자를 감소시켜야 한다. 경험있는 생산자들은 조립률 3.0이상의 세골재를 좋아하고, 100번체에 통과하지 않는 모래당량(Sand Equivalent) 80이상의 세골재를 사용하고 있다.

많은 지역에서 이러한 세골재를 구하기는 힘들지만 콘크리트 생산자들은 좋은 콘크리트를 생산하기 위해 조립률이 작은 세골재라도 성공적으로 사용할 수 있다.

4. 4. 5. 조골재

고강도 콘크리트에 쓰이는 조골재는 골재의 지질학적 기원, 광물 함유량, 등급, 모양에 의해서 결정된다. 원하는 등급의 골재는 여러 지역에서 선택적으로 채취하거나 그 지역에서 이용할 수 있는 재료를 혼합하여 얻어지게 되지만 이 경우 광물 함유량이나 모양에 있어 상당한 차이가 있게 된다. 한 지역에서 최적의 광물 함유량, 모양새, 등급을 가지는 세골재를 구하기는 매우 어렵다. 경제성이나 지역성을 고려하여 어느 정도 적합한 재료를 사용해야 한다. 따라서 알맞은 재료의 배합법을 개발하거나 나쁜 골재일 경우 시멘트, 혼화제, 적은 물을 사용하여 보완하는 방법을 개발해야 한다.

현무암 및 석회암은 고강도 콘크리트에 필요한 충분한 강도를 가지고 있으며 모르타르와 골재의 우수한 접착을 주기 때문에 고강도 콘크리트의 골재로 적합하다. 미국의 동북부 및 서북부 지방에 이 현무암, 편마암, 화강암 등의 화성암류의 재료가 나오고 드물게는 이러한 재료들이 모난 쇄석으로 얻어진다. 이러한 골재들은 모양이 상대적으로 거칠기 때문에 콘크리트를 만드는데 많은 시간이 들 뿐만 아니라 원하는 컨시스턴시를 위해서는 많은 물이 필요하다. 시애틀, 워싱턴 지역에서는 여러 골재의 혼합으로 우수한 콘크리트 골재를 만들어 왔다.

이 지역의 골재는 빙하에 의해서 운반되어진 아주 단단한 현무암이다. 빙하 점토는 결국 표면이 거칠은 아주 단단한 둥근 자갈로 된다. 이러한 둥근 모양은 콘크리트 재료로 적합하고 풍부한 광함유량은 고강도 콘크리트에 아주 적합하다.

미국의 동부와 중서부 및 남서부 지역에서는 백운암 및 석회암이 주로 나온다. 일부 석회암은 자갈로 이용되지만, 대부분은 쇄석하여 사용되며 골재성질과 처리 방법에 따라 길쭉하거나 입방체 모양을 갖고 있다. 일반적으로 자연산 자갈로 알려진 여러 형태의 규토질 골재는 어느 곳에서나 나오며 주로 표면이 매끄럽고 둥근 자갈이 대부분이다.

요구되는 압축강도를 얻기 위해 단단하고 모난 쇄석골재가 필요한 경우에는 쇄석골재의 30-50%를 등급이 높고 둥근 자갈로 대체하여 워커빌리티를 맞추도록 한다. 쇄석과 천연골재를 적절히 혼합하므로써 콘크리트 생산자들은 워커빌리티를 맞추도록 해야 한다. 쇄석과 천연골재를 적절히 혼합함으로써 콘크리트 생산자들은 워커빌리티와 강도를 적절히 얻을 수 있고 아성, 비용, 그리고 성능등에 의해서 결정된다. 일반적으로 시멘트량이 증가함에 따라 최적의 골재치수는 줄어 든다. 따라서 많은 양의 시멘트와 혼화제를 사용하면 모르타르가 골재를 충분히 코팅할뿐만 아니라 강한 접착력을 주기 때문에 작은 크기의 조골재를 효율적으로 사용할 수 있다.

4. 4. 6. 혼화제

플라이 애쉬 및 실리카폼이 혼화제로써 주로 사용된다. 플라이 애쉬는 낮은 강도 및 보통 강도 콘크리트에서 성능의 감소를 주지 않으면서 비용을 절감하기 위해 시멘트대체재로 널리 사용되지만 고강도 콘크리트에서는 시멘트만을 사용할 경우보다 높은 강도를 내기 위해 플라이 애쉬를 시멘트보충제로 사용한다.

플라이 애쉬는 생산지에 따라 특정한 성능을 보이기 때문에, 여러 이용 가능한 플라이애쉬

를 면밀히 조사해야 한다. 어떤 지역에서는 시멘트 중량의 15-20%의 플라이 애쉬를 시멘트 보충재로 사용하고 있으며, 이때 초기의 강도가 약간 증가하고 장기강도는 약 20%의 증가를 가져오고 있다. 그러나 다른 지역에서는 플라이애쉬 사용시 고강도 콘크리트의 강도 증진 효과가 나타나지 않는 경우도 발견되고 있다.

콘크리트 재료 및 배합특성을 비교할 때 우리가 사용하는 하나의 방법은 700-800lb/yd³의 높은 단위 시멘트량을 사용한 두 경우에 대하여, 한 경우는 플라이애쉬를 사용하고 다른 한 경우는 플라이 애쉬를 사용하지 않는 경우를 비교하는 것이다.

실리카폼은 미국의 개척국(Bureau of Reclamation)에서 1950년초에 최초로 개발했다. 실리카폼의 사용으로 콘크리트의 강도와 내구성이 증진되지만 실리카폼이 분말이므로 많은 양의 물이 필요하게 된다. 1980년초에는 유럽에서 생산된 실리카폼이 다량의 고유동화제와 함께 사용되게 됨으로써 미국이나 캐나다에 큰 시장을 형성하게 되었다.

현재 실리카폼은 분말이나 부드러운 미립분 또는 고밀화된 실리카폼입자 그리고 물과 혼합된 슬러리 형태로 이용된다. 실리카폼은 부유(Suspension)상태를 유지하기 위해서는 물이 필요하게 된다. 실리카폼의 원료 생산지에 따라서는 성능이 약간 차이가 나지만 실리카폼의 상태에 따라서는 성능의 차이가 거의 나타나지 않는다. 실리카폼의 값은 일반적으로 11b당 0.4달러 정도이고 그보다 약간 높은 경우도 있다.

적정의 콘크리트 재료만을 사용하여 28일 압축강도가 12,000-13,000psi까지 나오게 할 수 있지만 일반적으로 실리카폼을 사용해야 한다. 콘크리트 중량의 5-10%의 실리카폼이 시멘트 보충재로서 주로 사용되고 특별한 강도와 내구성이 요구될 경우 더 많은 양의 실리카폼을 사용할 때도 있다.

4. 5. 배합 계산

콘크리트 구성재료의 가용성, 성능 및 경제성

등이 구성재료를 결정하는 기준이 되지만, 어느정도 유연성을 가지고 있다. 강도를 증가시키는 가장 효율적이고 경제적인 방법은 고유동화제를 사용하여 최소한도까지 물-시멘트비를 줄이고 시멘트량을 증가시키는 것이다. 따라서 다른 더 좋은 콘크리트 재료를 사용하기전에 최소의 단위수량사용을 모색해 보아야 한다.

어느 주어진 콘크리트 구성재료에 대해서 물-시멘트비를 감소시키고 골재의 형태와 비율을 조정하며 시멘트량과 혼화제량을 증가시킴으로써 콘크리트 강도를 증가시킬 수 있다. 또한 다른 형태의 감소제와 플라이 애쉬를 선택함으로써 약간의 추가적인 강도증진을 가져올 수도 있다.

4. 5. 1. 시멘트량

강한 모르타르 및 골재, 모르타르와 골재와의 우수한 접착력이 고강도 콘크리트의 강도 증진에 반드시 필요하다. 좋은 모르타르 강도 및 모르타르와 골재와의 우수한 접착력을 내는 데는 일반적으로 많은 양의 시멘트가 필요하다.

앞에서 기술된 표 3에 요구되는 각 강도수준에 따른 소요 시멘트량이 표시되어 있다. 골재가 우수할 경우나 다량의 플라이 애쉬가 사용될 경우에는 상대적으로 적은 양의 시멘트가 필요하지만 대부분의 경우에는 사용되는 재료에 상관없이 많은 양의 시멘트가 필요하게 된다.

4. 5. 2. 물-시멘트비

물-시멘트비가 감소함에 따라 콘크리트의 압축강도 및 역학적 특성이 증진된다. 실제적으로 일반 혼화제를 가지고 물-시멘트비를 0.40-0.45까지 감소시킬 수 있고, 물-시멘트비를 더 낮추고자 할 경우에는 고유동화제가 필요하다. 물-시멘트비를 감소시키는 것이 콘크리트의 압축강도를 증가시키는데 가장 적은 비용이 드는 방법이며, 앞의 표 3에는 고강도 콘크리트에 필요한 물-시멘트비가 표시되어 있다.

물-시멘트비를 계산하는 절대적인 법칙은 없지만 고강도 콘크리트 제조 경험을 통해 본 저자 및 콘크리트 생산자들에 의해 다음과 같은 두가지 방법을 적극 추천할 수 있다.

첫번째, 물-시멘트비는 플라이 애쉬 및 실리카흄을 포함한 시멘트 중량으로 표시하지 말고 단순히 시멘트 중량에 대한 배합수의 중량비로 표시한다. 만약 혼화재를 포함한 시멘트에 대한 배합수의 비를 원한다면 단순한 물-시멘트비 대신에 혼화재를 포함한 물-시멘트비로 표시한다.

두번째, 고강도 콘크리트는 자유수(Free Water)를 거의 포함하고 있지 않으나 감수제나 골재 그리고 트럭의 세척작용으로 부터 상대적으로 큰 양의 물을 얻게 된다. 따라서 콘크리트의 컨시스턴시 조절을 위해 감수제나 골재 그리고 믹서트럭 세척에 의해 첨가되는 자유수(일반적으로 5-10 gallon/truck)등 콘크리트에 사용된 모든 물의 양을 계산하는 것이 무엇보다 중요하다.

4.5.3. 세골재 및 조골재

조골재 및 세골재는 상대적인 성능과 경제성에 따라 선택되어 지지만, 그 배합에 있어 상당한 유연성을 가지고 있다. 콘크리트에서 조골재의 비율이 증가함에 따라 강도 및 탄성계수가 증가한다. 고강도 콘크리트는 다량의 시멘트 및 혼화재를 포함하고 있어 미립의 세골재 양이 많이 필요치 않다. 일반적으로 콘크리트 총 골재량의 55-65%의 조골재를 추천하는 것이 좋다. 조골재량이 이렇게 증가하여도 콘크리트의 펌핑과 타설에는 큰 문제가 없으며, 오히려 역학적 특성은 더욱 좋아진다.

큰 탄성계수가 필요한 경우에는 일반적으로 골재 미분량을 줄이고 조골재의 양을 증가시키는 것이 좋다. 콘크리트에서 탄성계수에 직접적으로 영향을 미치는 것이 주로 조골재이기 때문이다.

5. 고강도 콘크리트의 생산

28일 압축강도가 15,000psi(1,050kg/cm²)를 초과하는 콘크리트가 주로 가동 뱃치플랜트로부터 건조배치의 트럭 혼합과정으로 생산되어 왔다. 레미콘은 주요장비의 변화없이 일정한 고강도 콘크리트를 공급할 수 있지만 레미콘에 적절한 추가적인 통제가 필요하다. 특히 첨가되는 물의 양의 조절, 배치량, 콘크리트의 공급 조건, 철저한 혼합등에 대한 각별한 주의가 필요하다.

5.1. 배합

다량의 시멘트와 화학 혼화제, 그리고 작은 크기의 굵은 골재와 낮은 배합수를 갖는 콘크리트는 응집성과 점착성이 매우 강하기 때문에 배합하기가 상당히 어렵다. 그러나 불행하게도 콘크리트 생산에 사용되는 기존 장비를 바꾸거나 배치시간을 바꾸기는 매우 어렵고 또한 다른 배합방법을 적용하는 것도 매우 어렵다.

콘크리트가 매우 응집성이 강하여 운반과정에서 콘크리트 내부에 모르타르 볼 현상(뭉침 현상) 및 다른 변화가 일어난다면 배치순서를 바꾸는 것이 좋을 것이다. 다량의 시멘트 및 혼화제를 사용할 경우 세골재의 첨가에 앞서 조골재, 시멘트, 혼화제, 배합수, 고유동화제등을 섞어 30초동안 혼합한후 세골재를 넣는 것이 좋다. 이렇게 배합된 조골재는 콘크리트 내부에 마찰력을 증가시켜 모르타르나 시멘트 입자의 뭉침현상을 막아준다.

시멘트 입자등의 뭉침현상을 막아줄 수 있는 또 다른 방안은 20mm 정도의 골재를 약 90-135kg정도 혼합하는 것이다. (고강도 콘크리트에서는 주로 13mm 이하의 골재를 많이 사용함.)이렇게 함으로써 큰 골재가 배합시 원활한 작용을 하여 주고 강도에도 큰 손상이 없다.

나프탈렌계보다 멜라민계 고유동화제를 사용하는 것이 더 유용한 효과를 준다.(고유동화제는 일반적으로 황화나프탈렌이나 멜라민 포말

데히이드 컨덴세이드 계통이다.)멜라민계 유동화제는 콘크리트의 점착성 및 응집성을 적게하기 때문에 비교적 좋은 슬럼프를 가지는 콘크리트를 얻을 수 있다.

굳지 않은 콘크리트를 부분적으로 잘라서 강제로 상호배합하는 형식의 High-Shear믹서가 응집성이 큰 콘크리트를 배합하는데 효과적이다. 이러한 믹서를 사용할 경우 28일 이전의 압축강도가 10-20% 증가하고 28일 후에는 약 10% 정도 증가한다. 예를들어 Counter-Current Pan믹서는 하나의 회전판과 그 내부에 반대방향으로 회전하는 별모양의 Paddle이 있어 응집성이 강한 콘크리트 및 고유동성의 콘크리트 배합에 적합하다. 그러나, 이러한 형태의 믹서를 가지고 있는 배치플랜트는 많지 않다.

5.2 배합 수량

고강도 콘크리트를 생산하기 위하여 실리카 폼이나 좋은 골재 그리고 탁월한 품질관리뿐만 아니라 물-시멘트비가 상당히 영향을 미친다. 따라서 원하는 강도를 얻기 위해서 콘크리트에 첨가되는 물의 양을 정확히 계산하는 것이 중요하다.

표 4. 수분 함유량

구 성 재 료	양 (lb)	전체수량비 (%)
조골재(0.5%moist)	9.0	3.8
세골재(4.0%moist)	48.0	20.0
감 수 제	1.5	0.6
고 유 동 화 제	7.5	3.1
실 리 카 폼	60.0	25.0
세 척 수	4.0	1.7
자 유 수	110.0	45.9

시멘트 : 800 lb/yd³ 물시멘트비 : 0.30

일반적인 절차로서는 잔골재의 수분함량을 감시하고 모든 트럭의 드럼을 배합전에 거꾸로 하여 물을 완전히 제거하며, 트럭운전기사가 규

정된 세척수 이상을 사용하는지 또는 현장에서 물을 추가로 사용하는지 면밀하게 검토해야 한다. 또한, 굵은 골재(조골재)에 대해서도 저장 사일로내에 있는 골재의 수분함량을 정확히 측정하여야 하며, 특히 사일로 바닥부분은 수분이 많으므로 주의해야 한다.

표 4는 배합수분이 공급되는 주요인자를 분석한 표이며, 이 표에서 보는 바와 같이 잔골재, 실리카폼등에서 수분함량이 크고 굵은골재 등도 무시할 수 없음을 보여주고 있다.

5.3 배치량

계약자들이 구입하는 1yd³(0.765m³)콘크리트는 환산하면 27ft³이다. 그러나 실제적으로 콘크리트 생산자들은 최소시멘트량을 유지하기 위하여 1 yd³당 1/4-1/2 ft³정도 줄여 콘크리트를 생산한다.

소요의 콘크리트량을 얻기 위해 콘크리트 생산자들이 세심한 노력을 기울임에도 불구하고, 고강도 콘크리트는 생산시에 약간 더 많은 콘크리트량이 얻어진다. 왜냐하면 고유동화제가 계획했던 것보다 많이 사용되거나 트럭의 세척수가 많을 경우 과대생산(Over Yield)이 일어나기 때문이다. 1 yd³당 1 gallon의 고유동화제를 더 첨가할때 약 0.13ft³의 콘크리트량이 증가한다. 첨가되는 고유동화제와 골재와의 혼합효과로 약1ft³의 과대생산이 된 경우도 있다. 과대생산은 실제적인 시멘트량을 감소시키므로 결과적으로 강도가 낮아지게 된다. 따라서, 때때로 현장에서 콘크리트 생산량을 검토할 필요가 있다. 그러나 실제적인 배치량에 대한 배치플랜트 기록을 이용하여 실제의 콘크리트량을 산정하는 경우도 있다. 이러한 배치플랜트 기록을 이용할 경우 같은 배치장비에 대한 문제를 찾아낼 수 있도록 체계적인 방안을 강구하는 것이 좋다.

5.4 마감

고강도 콘크리트는 기둥과 같은 흠손으로 끝 마무리를 할 수 없는 부분에 자주 쓰인다. 특

별한 마감에 필요한 곳에서는 매우 어려운 문제들이 발생한다. 콘크리트 마감에 대해서 원칙적으로 생산자들은 큰책임이 없지만 콘크리트 마감이 잘 되지 않는 경우 콘크리트 마감 때문에 콘크리트 생산자와 도급자간의 관계가 나빠지게 된다.

낮은 물-시멘트비와 실리카폼 그리고 많은 양의 고성능 유동화제를 사용한 부배합의 콘크리트는 점착성이 매우 커 마감하기가 극히 어렵고 마감할때 흠손과 모르타르와의 점착력으로 인해 표면이 갈라지는 현상이 발생하게 되며 갈라지는 표면에 미세균열이 형성되고 마치 미세소성 수축균열과 같은 현상이 발생하게 된다. 특히 실리카폼을 첨가한 콘크리트는 마감하는 비용이 많이 들어가게 된다. 표면의 갈라짐은 모르타르에 공극을 형성시켜 균열이 생기게 되고, 노출된 표면에 생긴 이러한 균열이 처리된 후에도 내부균열 때문에 장기 내구성이 감소될 수 있다.

마감할때 생기는 이러한 균열문제에 추가해서 실리카폼은 콘크리트 내부에 미세균열을 발생시키는 요인이 될 수 있다. 실리카폼으로 인해 생기는 이러한 균열에 대해 의견이 분분하지만 본 연구자나 실리카폼을 가지고 연구를 수행한 사람들의 경험에 의하면 실리카폼이 이러한 균열의 원인이 되고 실제로 실리카폼에 의한 균열이 일어난다는 사실을 콘크리트 생산자들은 알아야만 한다. 실리카폼만을 사용할때 뿐만 아니라 감수제와 함께 사용할 경우에 따라 콘크리트 마감에 많은 문제들이 발생하며, 재료의 구성성분에 따라서는 문제가 거의 없는 경우도 있다. 따라서, 콘크리트 생산자들은 선택된 혼화제의 혼합효과를 각별히 검토하여야 하며 혼화제 공급업체로부터 책임있는 도움을 받아야만 한다.

마감하기전에 노출된 표면의 모르타르는 수분 감소로 인해 얇고 단단한 층이 형성될 수 있다. 일반적으로 “애플파이(apple pie)효과”로 알려진 이러한 모르타르의 단단한 층의 형성은 콘크리트 표면의 마감에 많은 어려움을 주며 콘

크리트표면에 심한 플라스틱 수축 균열을 발생하게 한다. 흠손으로 이 단단한 모르타르층을 잘라내도 그 층 밑에 여전히 플라스틱 콘크리트가 흠손에 따라 움직일 것이다. 따라서 마감할 때 표면에 줄무늬가 형성되고 표면이 불규칙하게 되며 이 딱딱한 층이 응결과 건조가 함께 일어나면서 콘크리트의 표면의 수분증발로 인해 표면으로부터 약 1cm 이상의 소성 수축균열이 발생하게 된다.

따라서, 콘크리트 표면의 수분증발로 인한 소성 수축균열을 방지하고 콘크리트를 균일하게 하기 위해 세심한 노력을 기울여야 한다. 콘크리트표면의 수분증발을 방지하기 위하여 마감시 도움을 주는 제품이 자주 사용되는데 미국에서는 주로 마스터 빌더스(Master Builders) CONFILM 방법과 유클리트화학회사의 EUCOBAR가 자주 사용된다.

6. 시험

설계자들은 계약규정에 맞는지 확인하기 위하여 시험자료를 평가한다. 그러나, 시험결과와 정확성에 대해서는 거의 의문을 갖지 않으며 콘크리트생산자에 의해 제시된 시험자료를 그대로 받아들이는 것이 보통이다. 따라서 콘크리트 생산자들이 능동적으로 시험프로그램에 참여하여 모든 시험결과를 철저히 통제하는 것이 매우 중요하다. 시험시편의 부적절한 제조, 양생, 관리를 비롯하여 시험결과를 정확하게 분석하지 못하는 등의 옳지 못한 관리가 되지 않도록 주의해야 한다.

6. 1. 우수한 시험 방법

현재 ASTM 규격에 규정되어 있는 콘크리트 시편 제작과 시험에 관한 내용들이 고강도 콘크리트에도 적용될 수 있으며, 그 시험결과가 균일하고 대표성을 가지고 있어야 한다. 시편 제작과 시험중에 부적절한 시편이 발견되면 그 결과를 버려야 한다.

6. 1. 1. 시편 크기

고강도 콘크리트에는 대체로 6×12인치(15×30cm) 시편보다는 4×8인치(10×20cm) 시편이 많이 쓰인다. 작은 시편이 취급이 용이하며 또한 실험실의 시험기계가 손상을 받지 않으면서 시편에 하중을 줄 수 있다. 작은 시편을 사용할 경우 콘크리트 생산자들은 강도 및 탄성계수에 대하여 큰 시편과의 상호관계를 알아야 한다. 같은 콘크리트를 사용하여 15×30cm 시편과 10×20cm 시편을 제작했을 때 10×20cm 시편이 15×30cm 시편보다 압축강도는 5-10%, 탄성계수는 5-15%가 더 높게 나온다. 따라서 시편의 크기 효과가 있기 때문에 실제로 사용될 재료로 각각의 시편 크기에 따라 시험이 이루어져야 한다.

6. 1. 2 시편 몰드, 다짐 및 시험

시편몰드의 형태나 시편의 준비 및 시험시의 여러 요소가 강도에 영향을 미친다. 일반적으로 시험 프로그램의 한인자의 변화에 따라 5-10%의 강도변화가 뒤따르게 된다. 미국에서는 Forney 회사등에서 공급되는 고강도 켈핑재료가 많이 쓰이며 압축강도 14,000-16,000psi(980-1,120kg/cm²) 범위까지 가능하다. 더 높은 강도에서도 사용이 가능하지만 이때 켈핑상태를 검사하거나 시편 파괴모ULD의 불규칙성에 대한 검사가 이루어지는 것이 무엇보다도 중요하다.

시험기의 하중이 시편에 정확히 전달되기 위해서는 시편의 양단면이 평편해야 하고 불규칙한 면이 없어야 한다. 시편의 양단면에 굴곡이 생기면 하중이 시편에 집중하중으로 전달되고 따라서 조기파괴가 일어난다. 유황 켈핑재료를 사용할 경우 켈핑의 두께를 1/8인치(3mm) 이하로 해야 한다. 특히 켈핑이 두꺼울 경우에는 시편의 측면으로 크랙이 발생하고 압축강도가 매우 낮게 측정되기 쉽다. 강철 띠(steel-ring)와 네오프렌 켈핑패드 기법을 이용하면 압축강도 21,000 psi(1,470kg/cm²) 까지도 신뢰성있는 실험결과를 얻을 수 있음이 보고되고 있다.

시편을 켈핑하는 대신에 시편의 끝단을 잘 갈

아서 시편을 실험한 몇몇 연구가 이루어졌는데 시편을 갈아서 시험한 결과가 켈핑을 한 시험 결과의 1/2정도의 표준편차 및 분산계수를 보였으며 강도에 있어서도 5-10% 더 높은 강도를 보였다.

6. 2 시험결과 분석

시험결과가 이상할 경우 콘크리트 생산자들은 실험기록을 가지고 계약자나 설계자들과 함께 잘못된 절차를 수정하고 의심스러운 결과를 거절해야 한다. ASTM C94의 레미콘에 대한 규정에 의하면 “강도이외에 부적절한 샘플링, 시편제작, 취급, 양생, 시험이 발견될 경우 그 결과들은 버려야 하고 나머지 시편의 강도를 시험결과로 삼아야 한다”고 규정하고 있다. 즉, 시편이 부적절하게 준비, 시험되었을 경우에는 그 시험결과들은 거절할 수 있도록 허용하고 있다. 그러나 강도만 낮다고 해서 그 시편이 부적절하게 준비, 시험되었다고 말하기는 매우 어렵다.

지금까지 성공적으로 사용한 방법은 공사를 시작하기전에 나쁜 시험 관행을 먼저 주의깊게 정의하고 올바른 시험방법과 규정을 준수하도록 강화하는 것이다. 여기서, 부적절한 시험관행으로서 시험결과를 거절하게 되는 두가지 경우는 다음과 같다.

(1) 동일한 배치에서 시편들의 강도차가 400psi(28kg/cm², 2% 분산계수)이상일 경우에는 낮은 강도의 시편은 버리고 평균강도 계산에도 사용해서는 안된다.

(2) 일반적으로 현장 실험실의 압축강도 결과와 콘크리트 생산자의 압축강도를 비교하게 되는데 같은날 시험한 두 기관의 강도차가 1500psi(105kg/cm²)이상일 경우 다음의 같은날의 시험결과와의 차이를 분석하여 조정하여야 한다.

첫번째 규정은 건설에 참여하는 모든 기관이 동의하는 것으로서 동일한 배치에서 아주 낮은 강도의 시편은 버리도록 허용한 규정이다. 같은 배치에서 결과의 차이가 많은 것은 시편 준

비등이 부적절함을 나타내고 있다. 두번째 규정은 콘크리트 생산자의 시험결과와 실험실의 결과와의 주기적인 비교 및 조정을 규정하고 있는 것이다. 이렇게 함으로서 두 기관의 강도 시험에 대한 체계적인 오류를 밝혀낼 수 있고 이에 대한 대책을 세울수 있게 된다.

6. 2.1. 시험결과 분산성 분석

동일한 배치의 동일재령 시편의 강도들은 시험의 규정된 분산범위안에 있어야 하는데, ACI 214에 이러한 평가방법에 대한 지침이 나타나 있다. 원칙적으로 한배치에서 준비된 시편들은 어떤 주어진 연령에서 동일한 강도를 가져야만 하지만 실제 콘크리트는 이질재료로 구성되었고 각각의 시편도 분산성을 가지고 있기 때문에 측정되는 강도의 차이는 피할 수 없다. 고강도 콘크리트는 시험하기가 매우 어렵고 1,000-1,500psi이상의 분산을 보이며 5-6%이상의 분산계수를 보이는 것으로 알려졌다. 또한 10,000psi를 초과하는 콘크리트의 시험결과는 매우 높은 분산성을 나타내는 것으로 알려졌다. 고강도 콘크리트가 일반적으로 높은 분산성을 보이는 것으로 받아들이고 있지만 이것을 증명할 믿을만한 증거가 없다. 고강도 콘크리트는 같은 배치에서 강도시험 결과가 평균 200-400psi차를 보이고 있다. 많은 시공경험에 의하면 공칭강도가 18,000psi콘크리트의 경우 같은 배치에서 300psi이하의 강도차를 내야하는 것으로 나타나고 있다.

미국콘크리트학회 규정인 ACI 214 “강도시험결과의 평가를 위한 방법(Simplified version of the recommended practice for evaluation of strength test results)”에 의하면 분산계수가 2-3%일때는 시험결과가 좋은 것으로, 4%이상일 경우에는 나쁜 것으로 규정되어 있다. 시험 관행을 감시하는 유용한 방법은 시험결과와 그 변화성을 계속해서 그림으로 그리는 방법이며, 만약, 시간에 따라 분산성이 증가하거나 분산성이 특히 큰 기간이 있을 경우 시편의 준비 및 시험과정을 좀더 면밀히 조사해야 한다.

6. 2.2. 시험데이터의 비교 분석

콘크리트 생산자 및 실험실에서는 주기적으로 콘크리트의 압축강도를 시험하게 된다. 건물소유주에 의해 고용된 실험실에서는 계약문서에 명시된 대로 주기적으로 콘크리트를 시험하여 측정된 강도를 보고해야 한다. 콘크리트 생산자들은 현장 실험실에서보다 콘크리트를 적게 샘플링하는 것이 보통이며 그들 자신의 프로그램에 의해 시편을 시험해서 그 결과들을 실험실의 결과와 비교하게 된다. 콘크리트 생산자와 실험실의 강도를 주기적으로 비교하는 것이 매우 효율적인 방법인데, 이들의 강도들이 다같이 낮을 경우에 즉시 조치를 취하기가 훨씬 쉬워진다. 콘크리트 생산자와 현장실험실의 두가지 데이터를 비교하는 가장 적당한 방법은 정상분포집단 두가지 샘플평균을 비교하는 통계학적 방법 Student-t test이다. ASTM C 917의 부록 XI에는 두실험실의 결과를 비교하는 Student-t test에 대하여 요약하고 있고, 이 방법이 실제로 사용될 수 있다.

6. 2.3. 강도 증진 예측

고강도 콘크리트는 일반적으로 28일 강도나 그 이후의 강도를 기준으로 시공된다. 이것은 구조물이 완성된후에야 완전히 강도가 필요하기 때문이다. 초기에는 낮은 강도를 내더라도 시간이 지남에 따라 높은 강도를 내는 배합이나 경제적인 재료를 선택할 수 있게 된다.

장기 강도 증진을 예견하는 방법으로는 강도 데이터를 선형회귀곡선으로 분석하는 방법과 semi-log지에 데이터를 플로팅하여 분석하는 방법이 있다. 초기에 모아진 시험데이터들은 그림으로 표시하여 강도와 재령과의 관계식을 구하는데 사용되어진다. 그후 얻어지는 새로운 시험데이터의 그림에 겹쳐서 이용하고 이로부터 장기 강도를 예견하는 식에 대입한다. 이러한 접근의 기본적인 가정은 동일한 양생조건하에서 어느 특별한 콘크리트 재료배합에 대한 강도증진률은 각배치마다 일정한 값을 유지한다는 것이다. 시험 재령에 따른 압축강도의 변

화를 log지에 플로팅하면 일반적으로 선형을 보이는 경우가 많다. 따라서, 시험데이터들이 직선을 이룰 경우 선형회기방법이 이용된다.

7. 고강도 콘크리트의 기타 고려 사항

많은 콘크리트생산자들은 그들이 생산하는 콘크리트의 결점이나 낮은 압축강도에 대한 비난도 성공적으로 타협해 나갈수 있을 것으로 생각하고 있다. 그들은 그 지역에서 그들의 명성을 믿고 있으며 계약자들이 그들로부터 콘크리트를 계속 구입해야 하는 필요성등이 낮은 강도의 콘크리트에 대한 비난을 방어할 수 있는 좋은 요인이 된다고 생각하고 있다.

7.1. 저강도

사실 설계기술자나 건설도급업자들은 콘크리트의 목표 강도에 매우 민감하며 낮은 강도의 콘크리트일 경우 그에 상응하는 보상이나 구조물의 보강 방안이 없는한 사용하기를 꺼려하게 된다. 설계자들은 고강도콘크리트가 생산자에 의해 공급될 수 있다고 생각하고 있으며, 규정된 강도에 대한 타협은 이루어질수 없는 것으로 여기고 있다.

구조물에 타설된 현장 콘크리트의 강도를 평가한다는 것은 어려운 일이다. 콘크리트 생산자, 계약자, 설계자들은 문제가 발생할 수 있는 부분에 대해 어느정도 예측할 수 있다. 예를들면, 하중을 많이 받는 기둥이나 철근이 많이 배근된 전단벽등은 고 유동성의 콘크리트로 시공되며 타설조건이 양호하지 못하여 보고된 강도가 여러가지 이유로 기대 강도보다 낮을 수 있다. 그러나, 철근이 밀집되어 있기 때문에 현장 부재의 코어를 뜯다는 것은 매우 어려운 작업이 된다.

7.2. 코어 시험

미국 콘크리트학회의 ACI 318, Building Code 에는 콘크리트의 압축강도에 의문이 있을 경우 건물의 코어시험을 허용하고 있다. 많은 설계

기술자들은 높은 강도를 원하지만 ACI에는 건물의 코어시험한 평균강도 결과가 공칭강도의 평균 85%까지를 허용하고 있다.

고강도 콘크리트의 경우 많은 복잡한 이유 때문에 코어시험결과가 시편시험결과보다 상대적으로 훨씬 낮은 강도를 보인다. 일반적인 경험에 의하면 고강도콘크리트 구조물의 코어시험결과가 시편시험결과의 60-75%에 이르는 것으로 나타났다.

어떤 공사에서 문제가 발생할 경우 설계자에게 코어 강도를 인정하도록 설득하는것은 매우 어려우며 특히 코어강도가 ACI 허용치보다도 낮게 나올 경우에는 현실적으로 설득이 더욱 어렵다. 따라서 공사를 시작하기 전에 실물크기의 구조물로부터 코어시험을 하여 시편의 강도와 코어강도와의 명확한 관계를 설정하는 것이 무엇보다 중요하다. 구조물자체의 강도를 시험하는 방법은 여러가지가 있지만 모두다 일정한 결과를 보이지는 않는다. 그러므로 콘크리트생산자들은 실제로 필요성이 있기전에 구조물 자체의 강도를 평가할 수 있는 계획을 미리 세워야 한다.

7.3. 보수

강도 문제 뿐만 아니라 현장에서는 보수가 요구될때도 있다. 콘크리트가 철근을 완전히 둘러싸지 못한 경우 등에는 공극이 있을수 있으며 이러한 공극을 보통 콘크리트로 채울 수 있다. 그러므로 건설도급자와 설계자는 공극 발생시 채울수 있는 재료등을 공사 시작전에 약정해 놓는 것이 좋다. 불가피한 보수를 미리 준비하는 것은 분쟁의 발생확률을 줄이고 공사의 지연을 막을 수 있으며 따라서 비용의 절감을 가져올 수 있다.

8. 결론

콘크리트의 압축강도가 6,000psi(420kg/cm²)

이상인 콘크리트를 일반적으로 고강도콘크리트라 한다. 레미콘회사들은 콘크리트의 새로운 시장을 개척하기 위해서나 자신들의 명성을 얻기 위해 고강도콘크리트를 사용한다. 특수콘크리트의 시장은 많은 위험성이 있고 투자한 만큼의 이익이 돌아오지 않을 수도 있다. 콘크리트 생산자들은 높은 위험성, 낮은 이윤에도 불구하고 새로운 판매망을 개척하기 위해서는 고강도콘크리트를 생산해야 한다. 고강도콘크리트를 생산하는데 재료의 선택, 생산 관리에 세심한 주의를 기울여야 하고 기술적인 부분에도 세심한 주위가 요구된다.

압축강도 12,000psi(820kg/cm²)까지의 고강도 콘크리트는 실리카폼을 사용하지 않고도 다른 콘크리트재료를 사용하여 어디에서나 생산할 수 있다. 최근에는 주요 구조물에 시멘트 중량

의 5-10%의 실리카폼을 사용해서 28일 강도가 12,000-20,000psi(840-1,400kg/cm²)의 콘크리트를 이용하고 있다. 일반적으로 하나의 건물에는 약 10,000yd³(6,000m³)의 고강도 콘크리트가 소요되며, 교량이나 기타 특수구조물에는 더 많은 양이 필요하다. 실제 구조물의 강도에 대하여 무익한 논쟁을 줄이기 위하여 건설도급자와 콘크리트생산자는 설계자와 함께 샘플링하고 시험하여 콘크리트를 평가하는 기법을 확립해 놓아야 한다.

설계 및 시공팀의 가장 훌륭한 노력은 고강도콘크리트가 시공된 구조물에 코아링과 보수 절차를 공사 이전에 상세하게 확립해 놓으므로서 만약의 실패에 대비하는 일이라는 것을 명심해야 한다.

投稿를 환영합니다

「레미콘」誌는 讀者 여러분을 筆者로 招待합니다. 많은 投稿로서 本誌를 빛내주시기 바랍니다.

內 容

1. 레미콘工業 및 관련分野의 品質·技術研究
2. 經濟, 經營 및 法律關係論文
3. 國內外業界消息, 動靜, 提言 등
4. 海外技術情報 및 論文翻譯

○原稿枚數

200字 원고지로 自由

○마 감 일

수시

○기 타

관련 사진, 도표 등봉 요망
揭載된 원고는 協會所定の 稿料支給.

○제 출 처

서울·江南區 驛三洞 832-2
한국레미콘工業協會 企劃課