

유동화 콘크리트의 배합설계 요점 및 시공관리

- Mixing Design and Execution Control of Fluidity Concrete -

윤 기 원 (주성대학교 건설재료공학과 교수)

1. 개 요

유동화 콘크리트란 믹서로 일단 비빔을 완료한 콘크리트(비교적 된비빔 콘크리트로서 베이스 콘크리트(base concrete)라 한다.)에 유동화제를 첨가한 다음 이것을 적당한 교반장치(대부분 레미콘용 운반차(에지테이터 트럭)가 이용된다.)로 혼합하여 유동성을 증대시킨 콘크리트를 말한다.

우리나라의 경우는 1982년 이후 많은 연구가 진행되어 왔는데, 건축분야에서는 1994년 8월 건축공사 표준 시방서에 정식으로 유동화 콘크리트가 규정되었고, 토목분야에서는 1991년 토목학회에서 유동화 콘크리트 시공지침(안)·동해설을 발간하였으며, 1996년 개정된 콘크리트 표준시방서에서도 유동화 콘크리트를 규정하게 되었다.

유동화 콘크리트는 1986년 2월 시멘트 협회 주최의 콘크리트 강습회에서 동경대학의 오카무라(岡村) 교수가 “콘크리트는 본래 내구적인 재료임에도 불구하고 경화후 여러 가지 내구성이나 신뢰성에 문제가 발생하는 것은 굳지 않은 상태에서 인적 요인이 크게 작용하는 다짐작업이 그 첫째 요인이 되므로 다짐이 필요 없는 콘크리트가 가능하진다면 콘크리트 구조물의 신뢰성에는 상당한 향상을 가져올 수 있다.”라고 밝힌 후 초유동 혹은 고유동 콘크리트에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으나 높은 유동성은 단위수량의 증가를 초래하여 콘크리트의 내구성을 저하시키는 상반된 것으로 각종 혼화제가

발명되면서 현재의 유동화 콘크리트로 발전하게 되었다.

유동화 콘크리트에 있어서는 무엇보다도 혼화제의 역할이 중요한데, 특히 유동화제란 유동화 콘크리트에 이용되는 화학혼화제로서, 즉 고성능감수제를 기본으로 하고 후첨가에 편리하도록 성분조정 등이 가미되어져 있는 것을 말한다.

참고적으로 유동화 콘크리트와 관련하여 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

① 베이스 콘크리트(base concrete) : 유동화 콘크리트를 제조하기 위하여 비벼놓은 유동화전의 콘크리트.

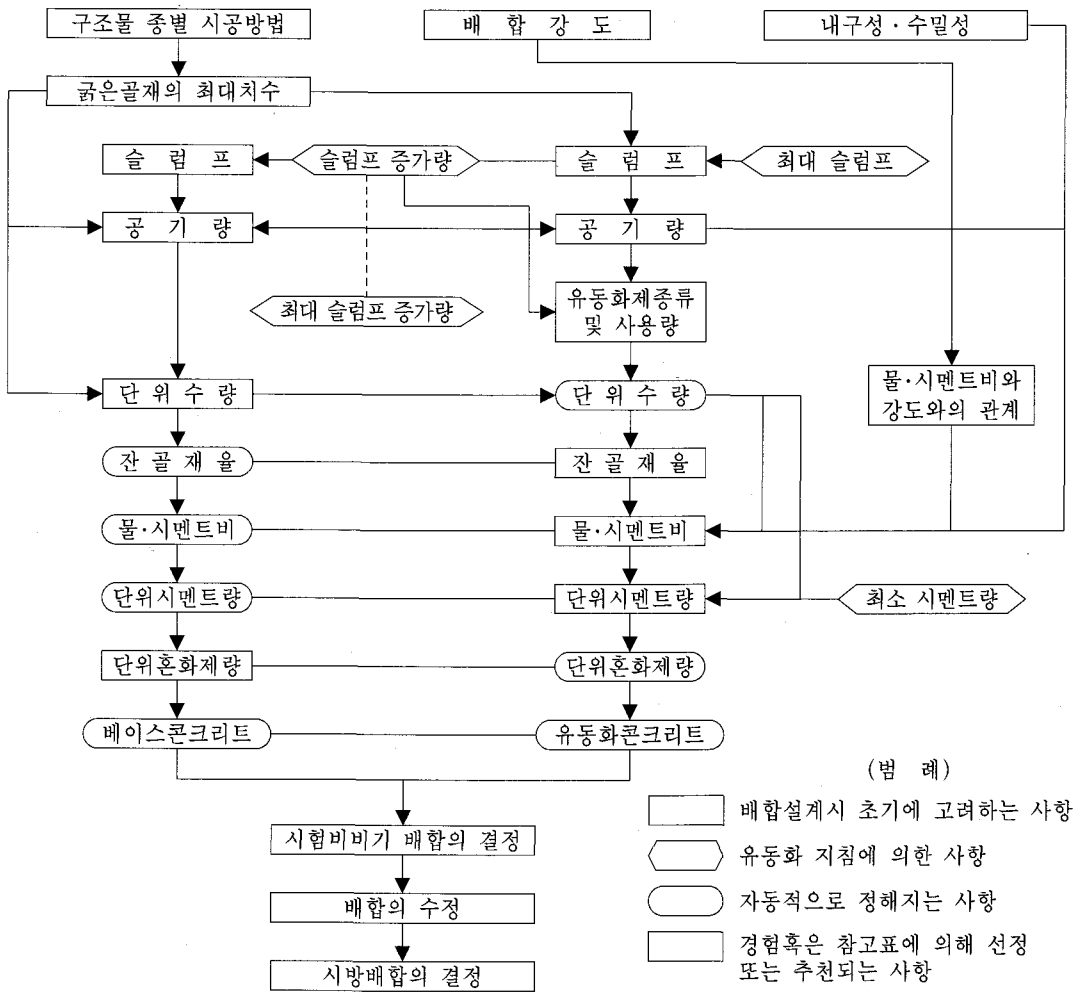
② 유동화 : 미리 비빈 콘크리트에 유동화제를 첨가하고, 이것을 교반해서 유동성을 증가시키는 것.

③ 유동화제 : 미리 비빈 콘크리트에 첨가하여 이것을 교반하므로써, 그의 유동성을 증가시키는 것을 주목적으로 하는 혼화제.

④ 유동화 콘크리트 : 미리 비빈 콘크리트에 유동화제를 첨가하여, 이것을 교반해서 그의 유동성을 증가시킨 콘크리트.

⑤ 슬럼프 증가량 : 베이스 콘크리트의 슬럼프와 유동화 콘크리트의 슬럼프의 차, 즉 유동화 직전과 직후의 슬럼프의 차(cm).

⑥ 유동화제의 첨가량 : 소정의 슬럼프 증가량을 얻기 위해 베이스 콘크리트에 첨가하는 유동화제량으로, 시멘트에 대한 중량비(%) 또는 콘크리트 1m³ 당의 양을 중량(kg) 또는 용적(l)으로 표시한 것.



〈그림-1〉 유동화 콘크리트의 배합설계 흐름도

2. 유동화 콘크리트의 배합설계

가. 배합설계 순서

최근 건설공사 현장에서 적용이 증가하고 있는 유동화 콘크리트 시공은 레미콘 공장에서 베이스 콘크리트를 주문한 다음, 시공자 책임하에 현장에서 유동화제를 첨가하고, 유동화시켜 구조체에 부어넣는 방법이 주로 채택되고 있다. 이 경우 레미콘 생산자는 베이스 콘크리트까지만이 책임 범위로 한정됨에

따라 유동화 콘크리트 생산이라고 하여 특별히 고려하여야 하는 범위는 좁은 것이 현실이다.

그러나 효과적인 유동화 콘크리트를 활용하기 위하여는 유동화후의 품질을 고려하여 베이스 콘크리트를 제조하여야 하는 것으로 일반적인 레미콘 생산과 다른 점이 있는데, 본 절에서는 일반적인 배합설계 요령에 유동화 콘크리트에서 고려할 사항을 특별히 추가하여 고찰하고자 한다.

유동화 콘크리트의 배합설계 흐름은 〈그림-1〉과 같다.

나. 유동화 콘크리트의 배합설계 방법

유동화 콘크리트의 배합설계방법은 보통 콘크리트의 배합설계와 크게 다를 바가 없이 요구성능의 결정, 배합조건의 설정, 사용재료의 선정, 계획배합의 설정의 순으로 이루어진다. 유동화 콘크리트의 경우 배합설계 단계별로 요약하면 다음과 같다. 단, 계획배합의 표시방법이나 현장배합의 결정 등은 일반 콘크리트와 동일하므로 생략한다.

(1) 요구성능의 결정

즉, 유동화 콘크리트를 적용하고자 하는 구조물이나 부재의 용도, 규모, 구조특성, 환경조건 및 사용할 수 있는 재료의 품질, 적용할 수 있는 시공방법, 기대할 수 있는 시공 관리의 정밀도, 시공시의 예상되는 기상조건, 공사기간 등을 고려하여 시공성, 강도 및 내구성 등의 요구성능을 설정하게 된다. 특히 유동화 콘크리트 제조를 위한 베이스 콘크리트의 배합설계는 유동화의 목적을 분명히 하고, 유동화 정도 등을 정하게 된다.

(2) 배합조건의 설정

유동화 콘크리트의 요구성능이 결정되면 배합강도, 슬럼프 및 공기량 등의 배합조건을 설정하게 되는데, 이외에도 경우에 따라 단위용적중량 및 온도 등이 추가되기도 한다. 한편, 건축공사 표준 시방서나 토목공사의 콘크리트 표준 시방서에는 내구성 등의 성능을 확보하기 위하여 슬럼프, 물시멘트비, 단위 시멘트량, 단위수량, 공기량, 염화물량에 대하여 규정치가 설정되어 있으며, 필요에 따라 이들 값을 배합조건으로 설정 또는 참고한다.

또한, 레미콘의 경우에는 레디믹스트 콘크리트 배합 보고서의 서식을 염두에 둔 배합설계 조건의 설정으로서 호칭 방법은 표준품·특주품의 구분과 골재종류에 의한 구분이 있고, 지정 사항은 단위용적중량, 공기량, 콘크리트 온도, 혼화재료의 종류, 호칭강도를 보증하는 재령, 물시멘트비의 상한치, 단

위 시멘트량의 하한치 또는 상한치 및 유동화 콘크리트의 경우는 베이스 콘크리트에 대한 슬럼프 증대량이 포함된다.

(3) 사용재료의 선정

배합조건이 설정되면 재료를 선정(물론 실무에서는 이 순서가 바뀌는 경우가 대부분이다.)하게 되는데, 먼저 시멘트 선정의 경우 유동화 콘크리트라고 하여 특별히 고려할 사항은 없으므로 보통콘크리트의 시멘트 선정시 주의사항을 고려하면 되며, 특수한 시멘트를 사용할 경우 신뢰될 수 있는 자료나 시험에 의하여 유동화 콘크리트에 악영향이 없고 소요 성능이 얻어지는 것을 확인하고 이용하면 된다.

유동화 콘크리트 측면에서 골재의 선정은 시멘트와 같이 특별히 고려할 사항은 없지만 단, 동일 조건의 보통 콘크리트와 비교할 때 유동화 후 시멘트 페이스트의 점성이 낮은 것과 베이스 콘크리트의 골재량이 많게 되는 것으로부터 워커빌리티 및 재료분리의 관점에서 입도, 입형 및 굵은골재 최대치수에 의한 영향이 크게 나타나므로 이점에 특히 주의할 필요가 있다.

일예로 부순돌에서 입형이 불량한 경우, 즉, 입도 분포 중 중간입자부분이나 작은 입자 부분이 적은 경우에는 유동화후의 워커빌리티가 아주 나빠지고, 잔골재의 미립분(0.3mm 이하 또는 0.15mm 이하)이 적게 되면 유동화에 따라 점성이 부족하여 분리하기도 쉽게 되며 불리도도 많게 된다. 특히, 미립분이 적은 해사나 습식제법으로 제조된 미립분이 적은 부순모래를 사용할 경우에는 특히 이 경향이 크게 되므로 주의할 필요가 있다. 이와 같은 경우에는 플라이애쉬 등을 혼화하여 콘크리트 중에 첨하는 0.3mm 이하의 입자량(시멘트 포함)을 400~450kg/m³ 정도로 하면 좋아질 수 있다.

혼화재료로써 특히, 유동화 콘크리트의 경우는 유동화제가 된비빔의 콘크리트를 유동성을 크게 만드는 주요인으로서 혼화제의 성분, 형태뿐만 아니라 혼화제의 첨가량, 첨가 순서, 비빔시간, 첨가시기 및

온도 등에 영향이 크고, 시멘트의 종류, 단위시멘트량 등과도 영향이 크므로 효과적인 선택을 위하여는 각 시공 조건의 내용을 충분히 검토할 필요가 있다.

또한, 유동화 콘크리트의 경우 물에 관한 특별한 고려 사항은 없다. 단, 회수수중 슬러지수를 이용할 경우는 그 중 고형분이 유동화제의 유동화 효과에 어느 정도 영향을 줄 수 있다고 생각되어지는데 규정에 따른 사용량 범위내에서는 실용상 문제가 없는 것으로 알려지고 있다.

(4) 계획배합의 설정 및 결정

계획배합의 설정 및 결정은 요구 성능의 설정으로부터 배합조건의 설정 및 재료의 선정을 거쳐 배합조건으로 필요한 물시멘트비, 굵은골재 최대치수 및 슬럼프, 단위수량, 잔골재율(혹은 단위 굵은골재 용적) 및 혼화제의 양을 설정한 다음, 시험비법을 거쳐 확정된 계획배합을 결정하는 과정으로서 그 세부적인 내용은 다음과 같다.

(가) 물시멘트비의 결정

물시멘트비는 물과 시멘트의 중량 백분율로 물시멘트비의 최대 영향인자는 압축강도이고, 내구성, 수밀성 등과도 연관되어, 물시멘트비 규정도 있는데, 유동화 콘크리트의 경우 건축공사 표준시방서에 따르면 보통 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트 특급, 포틀랜드 포졸란 시멘트 A종, 플라이 애쉬 시멘트 A종을 사용하는 경우 65%를 최대로 하며 고로슬래그 시멘트 1급, 포틀랜드 포졸란 시멘트 B종, 플라이애쉬 시멘트 B종의 경우는 60%를 상한치로 규정하고 있으나, 토목공사의 콘크리트 표준시방서에는 이와 연관한 규정치는 없다.

(나) 굵은골재 최대치수 및 슬럼프의 결정

굵은 골재의 최대 치수는 유동화 콘크리트라고 하여 특별히 고려될 사항은 없고, 일반적인 콘크리트와 마찬가지로 건축공사 표준시방서 혹은 콘크리트 표준 시방서에 따라 결정하면 된다.

슬럼프치의 규정으로 건축공사 표준 시방서에서는 보통 콘크리트의 경우 베이스 콘크리트의 슬럼프

를 15cm, 유동화 후의 슬럼프치를 21cm까지로 제한하고 있으며, 경량 콘크리트의 경우 베이스는 18cm, 유동화후의 슬럼프는 21cm까지로 규정하고 있다.

단, 토목공사의 콘크리트 배합설계인 경우에서, 먼저 굵은골재의 최대치수는 콘크리트를 경제적으로 제조한다는 관점에서 될 수 있는 대로 큰 것을 선택하는 것이 바람직하나 복잡한 철근배근 등에 대한 충전성 향상 등을 고려하여 정한다.

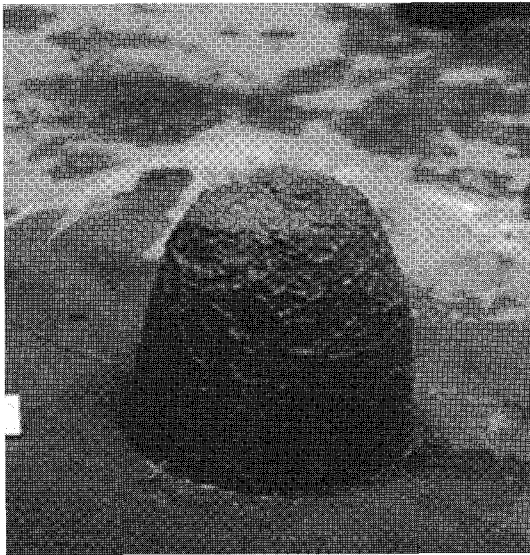
(다) 단위수량의 결정

단위수량의 최대 영향요인은 내구성, 수밀성 외에 슬럼프 등 유동성에 지배적인 영향을 미친다. 단위수량에 관한 건축공사 표준시방서 및 토목공사 콘크리트 표준시방서의 규정은 요구하는 콘크리트의 품질이 얻어질 수 있는 범위내에서 가능한 한 작게 시험비법에 의하여 정하는 것으로 되어 있다. 특히, 유동화 콘크리트의 단위수량은 베이스 콘크리트에서 제한되어야 하는데, 현재는 건축공사 표준시방서에서만 185kg/cm²로 보통콘크리트와 동일하게 규정하고 있으나 유동화후 시멘트 페이스트의 현저한 점성저하 및 블리딩의 증가 등을 고려하면 더욱 낮게 정할 필요가 있다.

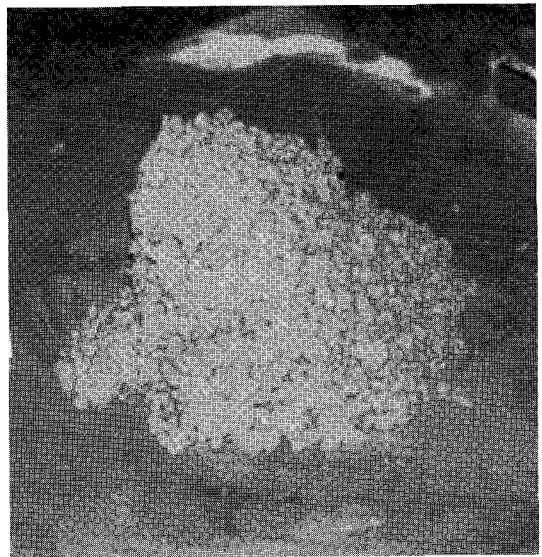
(라) 잔골재율의 결정

잔골재율의 최대 영향인자는 재료분리에 따른 점성 문제와 경제성 배합에 관계한다. 일반적으로 잔골재율을 증가시키면 점성의 증가로 슬럼프가 저하하여 단위수량을 증가시켜야만 되는데 그렇게 되면 단위시멘트량도 따라서 증가되어 결국 비경제적인 배합이 된다. 그러므로 건축공사 표준시방서 및 토목공사 콘크리트 표준시방서의 규정은 요구하는 콘크리트 품질이 얻어질 수 있는 범위내에서(토목의 경우는 단위수량이 최소가 되도록) 시험비법으로 가능한 한 작게 정하는 것을 권장하고 있다.

단, 유동화 콘크리트의 경우 잔골재율 결정시에는 베이스 콘크리트에서 적당한 잔골재율보다는 유동화시킨 후의 상태에서 적합한 잔골재율이 선정되어야만 바람직한 콘크리트 배합이 됨에 이점에 특히



1) 유동화 전



2) 유동화 후

〈사진-1〉 유동화 후 잔골재율 부족에 의한 재료분리

유의하여야 한다.

참고적으로 일본건축학회의 콘크리트 배합설계 지침·동해설에 따르면 슬럼프치에 따른 잔골재율을 그림 2~5와 같이 제시하고 있는데 천연골재에 비하여 부순돌 및 경량 콘크리트의 경우 베이스 콘크리트보다 유동화한 콘크리트는 잔골재율은 더욱 큰 값이 필요함을 알 수 있다. 즉, 유동화 콘크리트의 경우, 베이스 콘크리트 상태에서 이와 같은 차이만큼 잔골재율을 큰 값으로 상향조정하여 제조하지 않으면 유동화제로 유동화한 콘크리트는 〈사진-1〉과 같이 커다란 재료분리를 일으키게 되어 품질이 열악해진다.

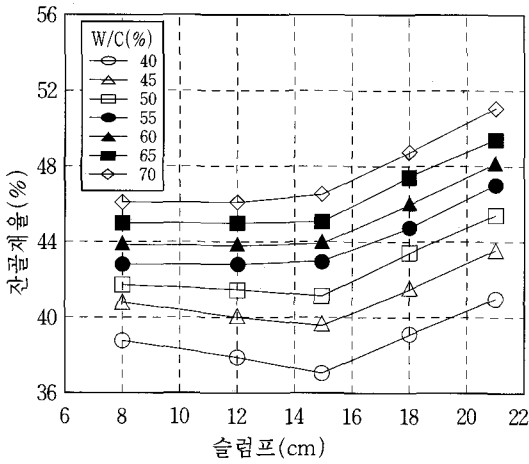
유동화 콘크리트의 경우 유동화후 재료분리를 방지하기 위하여 베이스 콘크리트의 잔골재율은 될 수 있으면 크게 상향조정하는 것이 바람직하나 경제성까지도 고려한다면 강자갈의 경우 약 3~4% 정도, 부순자갈의 경우 약 4~5% 정도 상향조정하여야 하는 것으로 보고되고 있다.

(마) 혼화제량의 결정

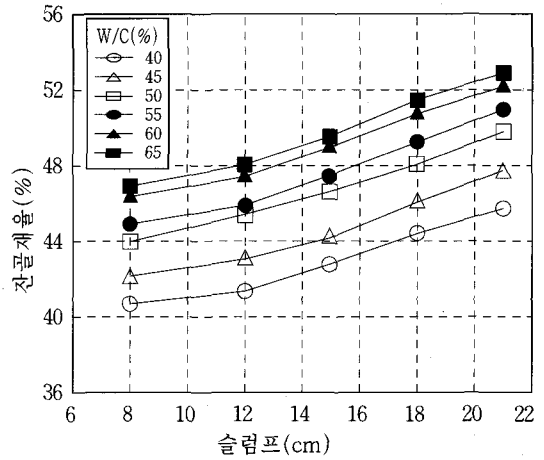
내동해성 향상을 위하여는 AE제의 사용이 불가

피하고, 단위수량 감소, 유동성 증진 및 경제성 목적상 감수제 및 유동화제의 사용도 검토되는데, 복합적인 효과로는 AE감수제, 고성능 AE감수제, 고 유동화제 등도 이용된다.

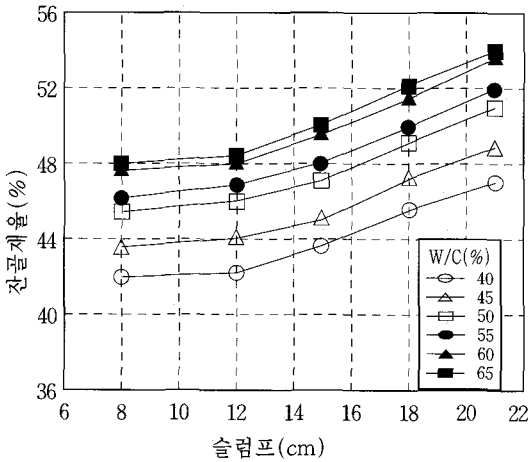
유동화 콘크리트의 경우, 베이스 콘크리트에 이용되는 AE제, AE감수제 및 고성능 AE감수제의 사용량은 소정의 슬럼프 및 공기량이 얻어지도록 하는데 특히 AE공기량의 경우 유동화 전후에 크게 변화하는 것도 있기 때문에 이점을 고려할 필요가 있다. 또한 유동화제의 첨가량은 베이스 콘크리트의 슬럼프와 목표로 하는 유동화 콘크리트의 슬럼프에 따라 유동화 전후에 소요의 워커빌리티 및 슬럼프치가 얻어지도록 신뢰할 수 있는 자료 또는 시험비법에 의하여 정하면 된다. 또한 상기의 AE제류, 유동화제 이외의 혼화재료 사용량은 콘크리트의 소정성능이 얻어지도록 신뢰할 수 있는 자료 또는 시험비법에 의하여 정하게 되는데, 특히 시멘트 및 골재의 종류, 콘크리트의 배합조건, 온도, 운반시간 등에 따라서 다르므로 이 모두를 고려하여야 하고, 특히 과잉 사용은 콘크리트의 응결 지연, 강도저하 등 부작용



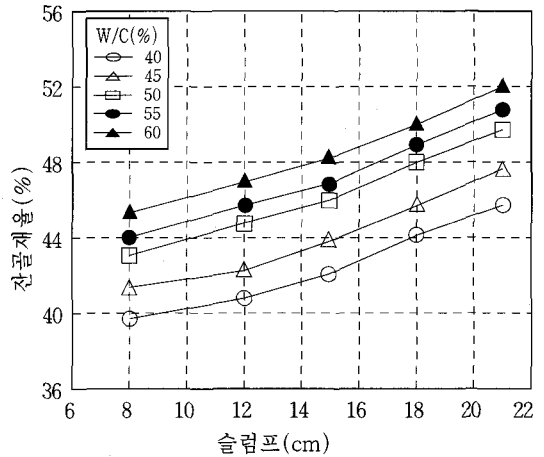
〈그림-2〉 보통 콘크리트의 잔골재율(강자갈 25mm)



〈그림-3〉 보통 콘크리트의 잔골재율(부순돌 20mm)



〈그림-4〉 경량 콘크리트 1종의 잔골재율



〈그림-5〉 경량 콘크리트 2종의 잔골재율

용을 일으키지 않는지 충분히 주의하며, 경제성 면으로도 신중히 검토할 필요가 있다.

3. 유동화 콘크리트의 제조 및 시공

가. 유동화 콘크리트의 시공계획

(1) 설계도서의 사전검토

콘크리트 공사의 시공계획을 세우기 위해서는 사전에 설계도서 및 시방서를 충분히 검토할 필요가 있다. 시방서에 의한 지시사항과 특기사항, 그 외 관

련행정기관의 지침 등에 따라 콘크리트의 소요의 품질을 명확히 하고, 콘크리트의 받아들이기 및 타설가능성 등에 대해 충분히 검토한다. 시공이 곤란하다고 판단되는 부위에 대해서는 설계자 및 공사감리자와 잘 협의하여 설계 또는 콘크리트의 시방을 변경받을 필요가 있다.

(2) 시공계획

설계도서의 사전검토에 의해 명확해진 요구성능의 콘크리트를 타설하기 위한 구체적인 시공계획은 공사전체의 공정계획을 검토하면서 안전성과 경제

성을 고려하여 수립한다. 유동화 콘크리트의 경우에는 일반적인 묽은 비빔 콘크리트에 비하여 경과시간에 따른 슬럼프 손실이 크며, 워커빌리티가 다르다는 등의 특징이 있으므로 이러한 점을 충분히 고려하여 시공계획을 세우고 보다 면밀한 시공계획 및 품질관리를 하는 것이 중요하다.

특히, 유동화 공법 적용시에는 유동화 콘크리트의 슬럼프 증대량, 유동화제의 종류 유동화장소, 유동화제의 최적 첨가량, 유동화제의 계량·투입방법, 교반장소, 교반조건(소음대책), 유동화후의 품질검사 등에 유의하여야 하며, 품질관리 및 검사와 관련하여 베이스 콘크리트의 제조관리사항, 베이스 콘크리트의 반입검사, 베이스 콘크리트의 품질검사, 타설 직전 콘크리트의 품질검사 등에 대하여도 미리 계획하여야 한다.

나. 레미콘 공장의 선정 및 발주

유동화 콘크리트를 시공하기 위한 레미콘 공장의 선정은 일반적인 콘크리트의 레미콘 공장 선정시 고려 사항인 KS 인증 공장인지, 기술자의 상주여부 외에도 다음과 같은 사항을 고려하여 선정한다.

- ① 공장은 소정 품질의 콘크리트를 제조할 제조설비 및 품질관리 능력을 갖추고 있을 것.
- ② 공장은 소정 품질의 유동화 콘크리트가 얻어지는 한도내에서 운반 혹은 유동화가 될 수 있는 거리일 것.

또한, 유동화 콘크리트에서 레미콘의 발주는 일반 레미콘의 발주시에 포함되는 사항, 즉 KS F 4009 (레디믹스트 콘크리트)의 3〈종류〉에 필요한 사항 외에도 다음 (1)~(3)을 포함하여 발주한다.

- ① 베이스 콘크리트를 KS F 4009에 의한 레미콘으로 발주하는 경우는 KS F 4009의 「3(종류)의 표 1」에 정한 것으로 하고, 슬럼프 및 슬럼프 증대량 외에 필요한 지정 사항을 정하여 발주한다.
- ② 베이스 콘크리트를 KS F 4009에 의하지 않는 레미콘으로 발주하는 경우는 콘크리트의 소요품

질을 얻기 위하여 필요한 사항 즉, 호칭강도 및 보증 재령, 슬럼프, 공기량, 단위용적중량 등은 일반 콘크리트에 준하며, 베이스 콘크리트의 검사방법과 레미콘 공장에서 유동화제를 계량 첨가하는 경우 유동화제의 종류 및 첨가량과 계량 및 첨가방법 등에 대하여 공장과 협의하여 지정한다.

③ 레미콘 공장에서 유동화 콘크리트를 발주할 경우는 콘크리트의 소요 품질을 얻기 위하여 필요한 사항에 대하여는 KS F 4009에 따르는 것으로 하고, 그 외에 짐부리기 지점에 있어서 유동화 콘크리트의 호칭강도 및 보증재령, 베이스 콘크리트의 슬럼프 및 짐부리기 지점에 있어서 유동화 콘크리트의 슬럼프와 공기량, 경량 콘크리트의 경우 유동화 콘크리트의 단위용적중량, 베이스 콘크리트의 시방배합, 유동화제의 종류, 첨가량과 유동화 방법 및 품질관리 방법과 검사 방법 등에 대하여 지정한다.

다. 베이스 콘크리트의 제조

베이스 콘크리트의 경우 배치 플랜트에서 실시되는 사용재료의 계량은 정확도와 신속도에 목표를 두고 실시하게 되는데, 구체적인 계량시의 요점은 일반 콘크리트와 동일하다.

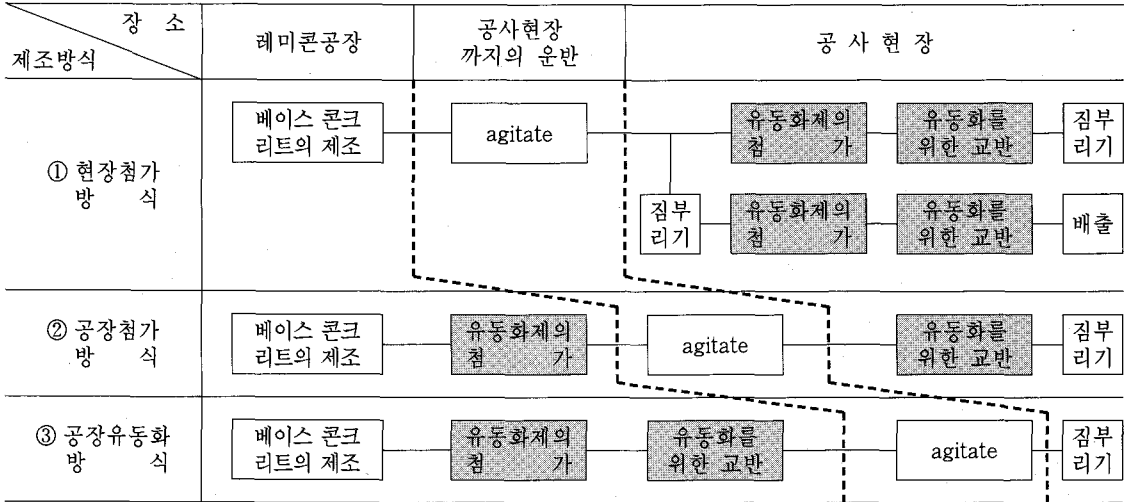
베이스 콘크리트의 혼합은 일반 콘크리트와 동일하게 배치 플랜트의 믹서로 실시하며, 비비기에 있어 유의하여야 할 요점은 일반 콘크리트와 같다.

라. 운 반

유동화 콘크리트의 경우 베이스 콘크리트를 레미콘 공장으로부터 공사현장까지의 운반 시간한도는 소요 품질의 유동화 콘크리트가 얻어지는 시간 한도 내로 합과 동시에 일반 레미콘에서 정한 규정시간 범위내에서 짐부리기를 완료할 수 있는 시간의 한도로 한다.

즉, KS F 4009의 경우는 90분 이내, 건축 및 토목시방서의 경우는 기온이 25℃ 미만일 경우 120분,

〈표-1〉 유동화 콘크리트의 제조 방법



25℃ 이상일 때 90분 이내이다. 단, 현장 도착후 유동화 개시로부터 부어넣기 완료까지의 시간은 25℃ 미만일 때 30분, 25℃ 이상 20분 이내가 바람직한데, 물론 이 시간도 전체 시간에 포함하여 고려되어야 한다.

또한 유동화를 위한 교반에 에지데이터 트럭을 사용하는 경우 콘크리트 적재량은 에지데이터 트럭의 교반성능을 고려하여 정하게 되는데 최대용량보다 적어질수록 혼합효과는 좋다.

마. 유동화 방법

미리 비벼진 된비빔 혹은 비교적 된비빔의 콘크리트에 유동화제를 첨가하여 유동성을 일시적으로 증대시키는 방법에는 크게 3가지로 구분된다. 즉, 유동화 콘크리트의 제조 방식은 다음 (1)~(3)을 표준으로 한다.

(1) 베이스 콘크리트의 제조를 레미콘에 의하여 행하고 시공자가 유동화 시킨다. 이 경우 유동화 책임은 시공자에 있게 되는데 유동화제의 첨가 및 교반은 다음 ①~③(〈표-1〉 참조)의 어느 방법인가를 택한다.

① 시공 현장에 운반된 베이스 콘크리트에 유동화제를 첨가하고, 교반하여 유동화(가장 많이 채택)
 ② 공장에서 베이스 콘크리트에 유동화제를 첨가하고 공사 현장까지 운반한 후 현장에서 교반하여 유동화

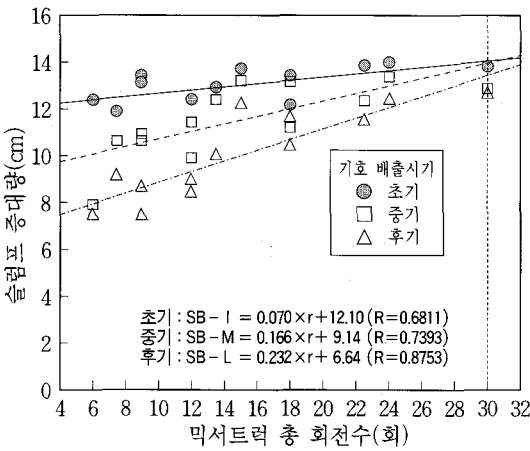
③ 레미콘 공장에서 베이스 콘크리트에 유동화제를 첨가하고 공장에서 교반하고 유동화시킨 다음 현장으로 운반(운반거리가 짧은 경우)

(2) 유동화 콘크리트의 제조를 레미콘에 의한다. 구미 지역에서 많이 채택하는 방식으로 이 경우 유동화의 책임은 레미콘에 있게 되는데, 유동화제의 첨가 및 유동화를 위한 교반은 상기 1)의 ①~③으로 한다.

(3) 베이스 콘크리트를 현장 비빔 콘크리트로 제조하고 공사현장에서 유동화시킨다.

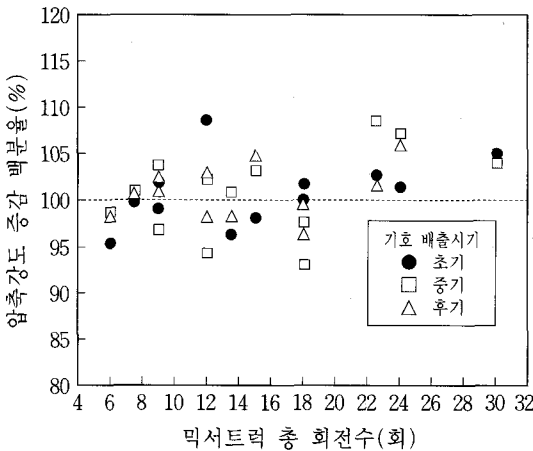
이 경우는 대단위 주택건설공사, 원자력발전소 공사 등 대규모 공사의 경우에 채택되는 방식으로 베이스 콘크리트의 제조로부터 유동화까지의 모든 책임은 시공자측에 있게 된다. 유동화제의 첨가 및 유동화를 위한 교반방법은 공사 현장의 조건에 따라 상기 1)의 ①~③을 참조하여 적절히 정한다.

유동화를 위한 교반은 에지데이터 트럭 혹은 교반



〈그림-6〉 에지테이터 트럭 총 회전수와 슬럼프 증대량

장치로부터 배출되는 유동화 콘크리트의 약 1/4 과 3/4 위치로부터 시료를 채취하여 슬럼프 시험을 행한 경우, 양자의 슬럼프차가 3cm 이내가 될 때까지 실시해야 한다. 즉, 국내의 실험결과에 의하면, 〈그림-6〉과 같이 전중후 차이가 없어지는 총 32회의 회전수 즉, 고속으로 2~3분, 중속으로 3~5분만큼 충분히 혼합한 경우 〈그림-7〉과 같이 전과 후간의 공기량 차이가 작아지며, 압축강도도 〈그림-8〉과 같이 전후간의 차이가 없어지고 전반적으로는 상승하

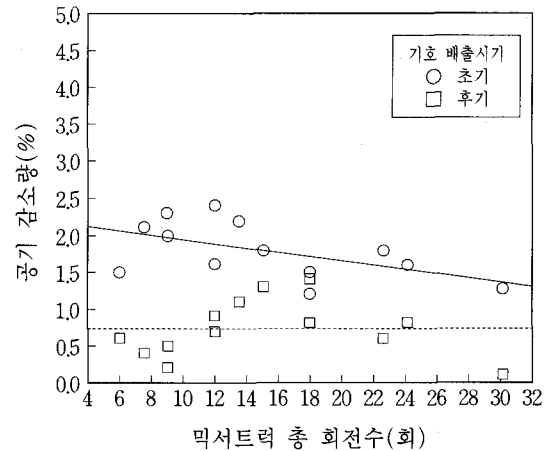


〈그림-7〉 에지테이터 트럭 총 회전수와 공기감소량

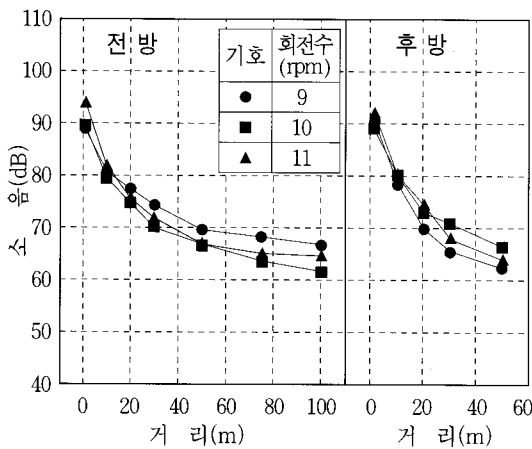
는 결과를 초래한다. 또한, 배출 전후의 슬럼프 차이가 최소가 되도록 혼합하여 주어야 할 것으로 연구되었는데 이는 일본의 경우보다 약간 긴 것으로 이는 레미콘의 용량차에 의한 것으로 분석된다.

한편, 시가지 공사에서는 유동화시 발생하는 소음 공해에 대하여도 충분히 주의할 필요가 있는데, 한 친구 등의 연구에 의하면 국내의 경우 유동화시 발생하는 소음은 유동화시 에지테이터 트럭의 분당 회전수(rpm) 별 거리에 따라 〈그림-9〉와 같이 나타나는 것으로 보고되었다.

이러한 결과를 KS A 1626 규정의 생활 소음 규제 기준의 범위와 비교하여 볼 때 생활소음 규제 기준에 만족하는 유동화 공법 적용시 주거, 녹색, 취락, 관광·휴양지역에서는 주간에서는 50m 이상, 조석에는 75m 이상, 심야에는 100m 이상의 이격거리가 필요한 것으로 나타났다. 또한 상업, 준공업, 취락지역 중 주거지역 이외의 지역에서 주간 경우에는 30m 이상, 아침저녁으로는 50m 이상, 심야에는 100m 이상의 이격거리를 필요로 하며, 12rpm을 초과하는 고속으로의 교반이나 거리의 이격이 불가능한 지역에서의 현장유동화 공법 적용시에는 흡음 성능이 있는 차음시설 등의 설치가 필요할 것으로 사료되며, 우리의 실정에 알맞은 현장 유동화는 교



〈그림-8〉 에지테이터 트럭 총 회전수와 압축강도 증감백분율



〈그림-9〉 거리에 따른 소음의 변화

반속도를 될 수 있으면 낮추고 교반시간을 길게 하여야 할 것으로 보고하였다.

바. 유동화제의 계량 및 취급

유동화제의 취급은 원액을 이용하는 것으로 하고, 첨가는 미리 정한 량을 한 번에 첨가하는 것을 원칙으로 하는데, 유동화제의 1회 계량분은 1회에 유동화할 콘크리트의 용적(m³)에 1m²당 유동화제 첨가량을 곱하여 정하고, 중량 또는 용적으로 계량하며, 그 오차는 1회 계량 분량의 3% 이내로 한다. 계량장치는 소요의 계량정밀도를 갖는 것으로 하고 정기적으로 검교정 받는 것은 물론 유동화제는 납품될 때 이름 및 종류를 확인하고, 품질변화가 일어나지 않도록 저장한다.

사. 부어넣기, 다짐 및 표면 마무리

유동화 콘크리트의 경우 펌프에 의한 부어넣기시에는 유동성이 매우 크므로 거푸집의 설계에 만전을 기하여야 하며, 거푸집의 틈새도 점성이 적은 페이스트가 새어나오지 않도록 수밀하게 하여야 한다. 또한, 유동화 콘크리트의 경우 슬럼프 로스가 심한

점 등을 감안하여 이어붓기 시간을 고려하고, 보통 콘크리트보다 침하가 클 수 있으므로 이를 충분히 고려하여 부어넣는다.

다짐의 경우는 유동화 콘크리트의 경우 충전성이 뛰어나므로 일반 콘크리트보다는 적게 해주어도 된다. 일반 콘크리트와 유사한 다짐을 할 경우 오히려 블리딩의 증가 및 굵은골재의 침강 등으로 콘크리트의 품질에 악영향을 미칠 수 있다.

이외에도 표면 마감이나 양생 및 거푸집 제거 등은 일반 콘크리트와 동일하게 실시하여도 된다.

4. 유동화 콘크리트의 품질관리 및 검사

가. 베이스 콘크리트의 품질관리 및 검사

베이스 콘크리트의 품질관리 및 검사는 원칙적으로 유동화제의 첨가장소에서 유동화제를 첨가하기 전에 행한다. 이 경우 시료채취 방법은 에지테이트 트럭을 약 30rpm 정도로 속도를 높여 교반한 다음 배출시키게 되는데, 처음의 약 50l 정도를 제거한 다음 콘크리트의 흘러내림 전 횡단면에서부터 채취한다.

품질관리 및 검사 방법으로, 베이스 콘크리트를 레미콘 공장에 발주하고 시공자가 유동화를 행할 경우와 유동화 콘크리트를 레미콘 공장에 발주할 경우 및 시공자가 현장에서 베이스 콘크리트제조 및 유동화시킬 경우 등으로 구분되나 시험방법, 판정기준 등 원칙에는 큰 차이가 없다. 베이스 콘크리트를 발주하는 경우와 유동화 콘크리트를 발주하는 경우의 품질관리 및 검사는 <표-2> 및 <표-3>에 나타내었는데, 시험 시기 및 횟수에 있어 굳지 않은 상태의 슬럼프 및 공기량 등의 품질검사 시기는 베이스 콘크리트를 발주하는 경우 압축강도 혹은 구조체 강도 관리용 공시체 제작시 실시하나 유동화 콘크리트를 발주 혹은 시공자가 직접 제조할 경우는 부어넣기 공구마다, 부어넣는 날마다, 150m³ 또는 그 단수마다 1회로 약간의 차이는 있다.

〈표-2〉 베이스 콘크리트를 발주하는 경우 베이스 콘크리트의 품질관리 및 검사

항 목	시 험 방 법	시 기 및 회 수	관 정 기 준								
워커빌리티 및 균일성	육 안 관 찰	처음 부어넣을시 및 중간에 수시	워커빌리티가 좋을 것과 품질이 균일하고 안정 되어 있을 것								
슬 럽 프	KS F 2402	1) 압축강도 시험용 공시체 채취시	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">슬럼프의 허용차(cm)</td> <td>지정슬럼프</td> <td>허용차</td> </tr> <tr> <td>8 미만</td> <td>± 1.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8 이상 18 이하</td> <td>± 2.5</td> </tr> </table>	슬럼프의 허용차(cm)	지정슬럼프	허용차	8 미만	± 1.5		8 이상 18 이하	± 2.5
슬럼프의 허용차(cm)	지정슬럼프	허용차									
	8 미만	± 1.5									
	8 이상 18 이하	± 2.5									
공 기 량	KS F 2409 KS F 2421 KS F 2440	2) 구조체 콘크리트의 강도 검사용 공시체 채취시	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">공기량 허용차(%)</td> <td>구 분</td> <td>허용차</td> </tr> <tr> <td>보통 콘크리트</td> <td>± 1.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>경량 콘크리트</td> <td>± 1.5</td> </tr> </table>	공기량 허용차(%)	구 분	허용차	보통 콘크리트	± 1.5		경량 콘크리트	± 1.5
공기량 허용차(%)	구 분	허용차									
	보통 콘크리트	± 1.5									
	경량 콘크리트	± 1.5									
경량콘크리트의 단위용적중량	KS F 2409	3) 콘크리트의 품질에 변화가 느껴질 때	± 3.5%(KASS 5.15.8 참조)								
압 축 강 도	KS F 2405 단, 양생은 표준 양생으로 하고, 재령은 28일로 한다.	부어넣기 공구마다, 부어넣는 날마다, 동시에 150m³마다 또는 그 단수마다 1회, 1검사롯트에 3회(1회의 시험에는 3개의 공시체를 이용한다.)	1) KS F 4009에 의한 레미콘의 경우 ① 1회 시험결과는 지정한 호칭강도의 85% 이상 ② 3회 시험결과의 평균치는 호칭강도 이상 2) KS F 4009에 의하지 않는 레미콘 및 현장비빔 콘크리트의 경우는 설계도서의 규정에 따른다.								
단 위 수 량	배합표 및 콘크리트 제조관리기록에 의한 확인	1) 처음 부어넣을 시 2) 부어넣기 도중에 품질변화가 감지되었을 때	규정한 값 이하일 것								
염 화 물 량	KASS 5T-501 또는 KASS 5T-502	1) 해사 등 염화물을 함유할 위험성이 있는 골재를 이용할 경우에는 처음 부어넣을 때 및 150m³에 1회 이상 2) 기타의 경우, 1일에 1회 이상	규정한 값 이하일 것								
알 카 리 량	재료의 시험성적서 및 배합표, 콘크리트의 제조관리 기록에 의한 확인	부어넣기 공구마다 부어넣는 날마다 1회 이상	<ul style="list-style-type: none"> • $R_t = (R_2O/100) \times C + 0.9 \times Cl + R_m$(1) (1)에서 계산한 경우 3.0kg/m³ 이하 • $R_t = (R_2O/100) \times C$(2) (2)에서 계산한 경우 2.5kg/m³ 이하 								

(주) 여기서 R_t 는 콘크리트 중의 알카리 총량(kg/m³), R_2O 는 시멘트 중의 알카리량(%), C 는 단위시멘트량(kg/m³), Cl 는 콘크리트 중의 염소이온 총량(kg/m³), R_m 은 혼화제 중의 알카리 총량(kg/m³)을 의미함.

나. 유동화 콘크리트의 품질관리 및 검사

베이스 콘크리트를 유동화시킨 유동화 콘크리트의 품질관리 및 검사는 공사현장의 짐부리기 지점에

서 행한다. 이 경우 시료채취 방법은 베이스 콘크리트의 품질관리 및 검사의 요령과 동일한데, 〈표-4〉 및 〈표-5〉와 같이 요약될 수 있다. 품질관리 및 검사방법으로 베이스 콘크리트를 레미콘 공장에 발주

〈표-3〉 유동화 콘크리트를 발주할 경우 베이스 콘크리트의 품질관리 및 검사

항 목	시 험 방 법	시 기 및 회 수	판 정 기 준
위커빌리티 및 균일성	육 안 관 찰	처음 부어넣을시 및 중간에 수시	위커빌리티가 좋을 것과 품질이 균일하고 안정되어 있을 것
슬 럽 프	KS F 2402	1) 부어넣기 공구마다, 부어넣는 날마다, 동시에 150m ³ 또는 그 단수마다 1회 2) 유동화 콘크리트의 품질에 변화가 감지되었을 때	슬랩프의 허용차(cm)
			지정슬랩프
			8 미만 ± 1.5
			8 이상 18 이하 ± 2.5

하고, 시공자가 유동화를 행할 경우와 유동화 콘크리트를 레미콘 공장에 발주할 경우 또는 시공자가 현장에서 베이스 콘크리트 제조 및 유동화시킬 경우 시험방법, 판정기준 등의 원칙에는 큰 차이가 없다. 단, 시험 시기 및 횟수에 있어 굳지 않은 상태의 슬랩프 및 공기량 등의 품질검사 시기는 베이스 콘크리트의 품질검사 요령과 같다.

5. 결 언

본 고에서는 유동화 콘크리트의 배합설계, 제조 및 시공, 품질관리 및 검사에 대하여 고찰하였는데 이를 요약하면 다음과 같다.

1) 유동화 콘크리트의 배합설계는 일반적인 콘크리트의 배합설계와 다른 점이 없으나 유동화를 위한

베이스 콘크리트를 제조한다는 점에서 약간의 차이가 있다. 즉, 유동화 콘크리트의 경우 유동화 후의 품질을 목표로 베이스 콘크리트를 제조하여야 하는데, 배합사항에서 특히 주의할 것은 된비빔의 베이스 콘크리트 잔골재율이 유동화후에는 낮은 잔골재율로 되어짐에 따라 재료분리 및 공극 등의 원인이 될 수 있으므로 이를 충분히 고려하여 베이스 콘크리트의 잔골재율을 상향조정하는 것이 필요하다.

2) 유동화 콘크리트의 제조 및 시공은 일반 콘크리트와 크게 다를 바가 없다. 단, 현장에서 유동화 하는 경우 에지테이터 트럭을 이용하므로 이에 따른 소음의 대책 마련과 유동화 콘크리트의 특성상 심한 슬랩프 로스에 대한 대책 마련이 요구된다. 한편, 높은 유동성으로 인하여 거푸집의 측압이 증대되므로 이에 대한 대책도 요구된다.

〈표-4〉 베이스 콘크리트를 발주할 경우 유동화 콘크리트의 품질관리 및 검사

항 목	시 험 방 법	시 기 및 회 수	판 정 기 준
위커빌리티 및 균일성	육 안 관 찰	처음 부어넣을시 및 중간에 수시	위커빌리티가 좋을 것과 품질이 균일하고 안정되어 있을 것
슬 럽 프	KS F 2402	1) 부어넣기 공구마다, 부어넣는 날마다, 동시에 150m ³ 또는 그 단수마다 1회	슬랩프의 허용차(cm)
			슬 랽 프
			18 이하 ± 2.5
			18 초과 ± 3.0
공 기 량	KS F 2409 KS F 2421 KS F 2440	2) 유동화 콘크리트의 품질에 변화가 감지되었을 때	공기량 허용차(%)
			구 분
			보통 콘크리트 ± 1.5
			경량 콘크리트 ± 1.5

〈표-5〉 유동화 콘크리트를 발주할 경우 유동화 콘크리트의 품질관리 및 검사

항 목	시 험 방 법	시 기 및 회 수	관 정 기 준								
위커빌리티 및 균일성	육 안 관 찰	처음 부어넣을 시 및 중간에 수시	위커빌리티가 좋을 것과 품질이 균일하고 안정되어 있을 것								
슬 럽 프	KS F 2404	1) 압축강도 시험용 공시체 채취시	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">슬렘프의 허용차(cm)</td> <td>슬 렽 프</td> <td>허용차</td> </tr> <tr> <td>18 이하</td> <td>± 1.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>18 초과</td> <td>± 2.5</td> </tr> </table>	슬렘프의 허용차(cm)	슬 렽 프	허용차	18 이하	± 1.5		18 초과	± 2.5
슬렘프의 허용차(cm)	슬 렽 프	허용차									
	18 이하	± 1.5									
	18 초과	± 2.5									
공 기 량	KS F 2409 KS F 2421 KS F 2440	2) 구조체 콘크리트의 강도 검사용 공시체 채취시	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">공기량 허용차(%)</td> <td>구 분</td> <td>허용차</td> </tr> <tr> <td>보통 콘크리트</td> <td>± 1.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>경량 콘크리트</td> <td>± 1.5</td> </tr> </table>	공기량 허용차(%)	구 분	허용차	보통 콘크리트	± 1.5		경량 콘크리트	± 1.5
공기량 허용차(%)	구 분	허용차									
	보통 콘크리트	± 1.5									
	경량 콘크리트	± 1.5									
경량콘크리트의 단위용적증량	KS F 2409	3) 콘크리트의 품질에 변화가 느껴질 때	± 3.5%(KASS 5.15.8 참조)								
압 축 강 도	KS F 2405 단, 양생은 표준 양생으로 하고, 재령은 28일로 한다.	부어넣기 공구마다, 부어넣는 날마다, 동시에 150m ³ 마다 또는 그 단위마다 1회, 1검사루트에 3회(1회의 시험에는 3개의 공시체를 이용한다.)	1) KS F 4009에 의한 레미콘의 경우 ① 1회 시험결과는 지정한 호칭강도의 85% 이상 ② 3회 시험결과의 평균치는 호칭강도 이상 2) KS F 4009에 의하지 않는 레미콘 및 현장비빔 콘크리트의 경우는 설계도서의 규정에 따른다.								
단 위 수 량	배합표 및 콘크리트 제조 관리 기록에 의한 확인	1) 처음 부어넣을 시 2) 부어넣기 도중에 품질변화가 감지되었을 때	규정한 값 이하일 것								
염 화 물 량	KASS 5T-501 또는 KASS 5T-502	1) 해사 등 염화물을 함유할 위험성이 있는 골재를 이용할 경우에는 처음 부어넣을 때 및 150m ³ 에 1회 이상 2) 기타의 경우, 1일에 1회 이상	규정한 값 이하일 것								
알 카 리 량	재료의 시험 성적서 및 배합표, 콘크리트의 제조관리 기록에 의한 확인	부어넣기 공구마다 부어넣는 날마다 1회 이상	<ul style="list-style-type: none"> • $R_t = (R_2O/100) \times C + 0.9 \times Cl + R_m$(1) (1)에서 계산한 경우 3.0kg/m³ 이하 • $R_t = (R_2O/100) \times C$(2) (2)에서 계산한 경우 2.5kg/m³ 이하 								

(주) 여기서 R_t는 콘크리트 중의 알칼리 총량(kg/m³), R₂O는 시멘트 중의 알칼리량(%), C는 단위시멘트량(kg/m³), Cl는 콘크리트 중의 염소이온 총량(kg/m³), R_m은 혼화제 중의 알칼리 총량(kg/m³)을 의미함.

3) 유동화 콘크리트의 품질관리 및 검사에서 유동화제의 첨가 및 교반과 관련한 부분에서의 주의가

필요하며, 기타의 품질관리 및 검사 등은 일반 콘크리트와 대동소이하다. ▲