

# 고유동화 콘크리트의 특성

정 상 진

〈단국대학교 건축공학과 교수〉

김 성 식

〈(주)우림엔지니어링 건축사사무소 이사, 기술사〉

1. 개 요	5. 콘크리트의 제조
2. 고유동콘크리트의 유구성능	5.1 공장의 선정
3. 재 료	5.2 발주
3.1 시멘트	5.3 제조
3.2 골재	5.4 품질관리
3.3 고성능 AE감수제	6. 콘크리트의 시공
3.4 분리저감제	6.1 운반
3.5 혼화재	6.2 계획수립
4. 배 합	6.3 타설
4.1 배합순서	6.4 타설시간, 타설구획
4.2 슬럼프 플로우	6.5 다짐마감
4.3 공기량	6.6 거푸집
4.4 압축강도	7. 품질관리 · 감사
4.5 단위수량	7.1 슬럼프 플로우시험
4.6 단위조골재 겉보기용적	7.2 강도검사
4.7 세골재율	7.3 반입검사
	7.4 판정

## 1. 개 요

고유동콘크리트는 굳지 않은 콘크리트의 재료분리에 대한 저항성을 손실하지 않고 유동성을 현저하게 높인 콘크리트를 말하고 있다. 고유동콘크리트는 제조, 운반, 타설시에 재료분리를 발생시키지 않고, 콘크리트에 진동 다짐을 하지 않아도 거푸집 속에 충전 시킬 수 있

는 성능을 갖춘 콘크리트를 말한다.

고유동콘크리트는 아주 높은 유동성과 뛰어난 시공성을 갖고 있기 때문에, 공사현장에 있어서 성력화를 할 수 있음과 동시에 프리캐스트 콘크리트조의 접합부와 같이 진동 다짐작업이 곤란한 개소나 강관콘크리트와 같이 진동 다짐이 불가능한 개소에 충전할 수가 있다. 또한 아주 우수한 충전성을 갖고 타설할 때에

구멍등 타설에 불리함을 만들지 않고 시공할 수 있기 때문에 구조체 콘크리트 고품질화에 연결된다고 생각할 수 있다. 또한 대량의 콘크리트를 단시간에 시공할 수 있기 때문에 매스콘크리트에 대한 적용도 증가하고 있다.

고유동콘크리트를 좁은 위치에 타설한 경우나 복잡한 형상의 개소에 타설한 경우에는 유동성이나 간극통과성이 필요하고 강관콘크리트에 압입하는 경우에는 재료분리저항성이나 충전성이 중요하고, 매스콘크리트와 같이 넓은 개소에 타설하는 경우에는 유동성이나 충전성을 중시하지 않으면 안 된다.

그러나 경화콘크리트의 성질에 대해서도 보통 콘크리트와 비교해 워커빌리티를 확보하기 위해서 필요한 물·결합재비에 따른 압축강도가 구조설계에서 요구되는 설계 기준강도를 크게 상회하거나 조골재가 적고 분체량이 많기 때문에 영계수가 적게 되거나 건조수축이 크게 되는 경향을 볼 수 있다.

고유동콘크리트는 아직 사용실적이 많지 않고, 제조계획, 시공계획 및 품질관리계획을 책정한 후에 세부사항에 대해서 충분히 밝혀지지 않은 점도 있다는 것을 고려해서 건설을 시행하고 이에 따른 데이터 등을 통해 실적을 쌓아서 그 후 공사에 반영하는 것이 중요하다.

따라서 본고에서는 고유동콘크리트의 요구 성능, 재료, 배합, 제조, 시공, 품질관리·검사를 중심으로 기술하여 시공현장에서 적용할 수 있도록 중점을 두고 기술하였다.

## 2. 고유동콘크리트의 요구성능

고유동 콘크리트는 아주 높은 유동성과 필요한 재료분리저항성을 갖춘 콘크리트이지만, 유동성을 높이기 위해서 고성능 AE감수제를 다량으로 첨가하기도 하고, 단위수량을 월등히 증진시키므로, 재료분리를 일으키기 쉬운

콘크리트로 된다. 그래서 재료분리를 생기지 않게 하기 위해서 보통콘크리트보다 세골재율을 크게 하거나, 증점작용을 갖춘 혼화제를 사용하기도 하고, 석분과 같은 미분말을 첨가하여 점성을 높이므로서, 일단은 재료분리를 일으키지 않는 유동성이 높은 콘크리트를 만들 수가 있다.

고유동콘크리트는 재료분리저항성을 부여한 방법에 의해서 몇 가지의 종류로 나눌 수가 있고, 크게 나누면 대략 다음과 같은 3가지가 있다.

- ① 시멘트, 고로슬래그미분말 혹은 플라이애쉬등의 미분말(결합재)을 다량으로 사용하는 것.
- ② 분리저감제를 사용하는 것.
- ③ 시멘트, 고로슬래그미분말 혹은 플라이애쉬등의 미분말(결합재)을 다량으로 사용하면서 동시에 분리저감제를 병용하는 것.

단, 각각의 사용하는 결합재(미분말)의 종류 및 그 비율, 분리저감제의 종류에 의해서 다시 세분화 할 수 있다.

콘크리트의 유동성은, 유동을 일으키기 위해서 필요한 최소한의 응력(항복치)과 유동중의 속도에 비례해서 증가하는 저항성을 나타내는 점성(소성점도)에 의해서 평가할 수 있다. 굳지 않은 콘크리트의 변형 또는 유동에 대한 저항성의 정도를 콘시스턴시라고 말하고 그 평가에는 통상 슬럼프가 쓰이고 있지만, 고유동콘크리트의 평가는 슬럼프플로우가 적절하다. 슬럼프시험시에 원형으로 퍼진 콘크리트의 직으로 나타내는 슬럼프플로우는 슬럼프와 함께 굳지 않은 콘크리트의 유동 후에 최종 변형량을 측정하는 것이고, 슬럼프와 슬럼프플로우 모두 콘크리트의 항복치에 관계한 특성치를 나타내고 있다. 또한 슬럼프와 슬럼프플로우 사이에는 대개 선형의 관계가 있다. 그러

나, 슬럼프플로우가 50~70cm의 고유동콘크리트의 슬럼프의 범위가 아주 좁으므로 고유동콘크리트의 경우는 슬럼프보다도 슬럼프플로우를 시험하는 것이 그 유동성을 좀더 높게 평가한다고 생각할 수 있다.

슬럼프플로우가 70cm를 넘으면 콘크리트의 압송중 또는 타설중에 재료분리가 생길 가능성이 크게 되고 슬럼프플로우가 50cm미만이면 타설할 때 충전성에 영향을 줄 가능성이 크게 된다. 그 때문에 슬럼프플로우값은 50cm이상 70cm로 규정하였다.

고유동콘크리트의 유동성중의 점성(소성점도)에 관계하는 특성치로서 슬럼프플로우속도 또는 50cm로 퍼지는 슬럼프플로우시간을 병용해서 평가한다. 슬럼프플로우 속도는 콘크리트 퍼짐 직경이 50cm에 도달할 때까지의 시간을 측정하고 유동거리 15cm를 그 측정시간으로 나누어서 측정한다. 슬럼프플로우속도가 빠른 만큼 유동성은 좋지만, 역으로 빠르게 되면 분리하기 쉽게 된다. 일반적으로 건축용 고유동콘크리트의 50cm 슬럼프플로우시간은 3~8초 정도이고, 토목용 고유동콘크리트는 조금 더 긴 5~15초 정도로 하고 있다.

고유동콘크리트에서 굳지 않은 콘크리트의 재료분리저항성에 대해서 몇 가지 시험방법이 제안되고 있지만 아직 표준시험 방법으로 확립된 것은 없기 때문에 재료분리저항성은 슬럼프플로우 시험후의 콘크리트상태를 육안으로 평가하는 것으로 하였다. 콘크리트 자신의 성질인 재료분리저항성과는 별도로, 거의 진동다짐 없이 콘크리트를 타설하기 위해서는 고유동콘크리트를 타설하는 위치에 따른 단면의 형상이나 배근상황을 고려하여, 충전성이나 간극통과성에 대해서 시험시에 신뢰할 수 있는 시험방법으로 시험하고 확인할 필요가 있다.

고유동콘크리트의 유동성을 높이기 위해서, 어쩔 수 없이 단위수량을 증가시키면 블

리딩량이 늘어나고 콘크리트는 분리하기 쉽게 된다. 그 때문에 블리딩량에 대해서 제한치를 가질 필요가 있다. 블리딩량은 보통 콘크리트에서  $0.5\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하, 고내구성콘크리트에서  $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하로 하는데 고유동콘크리트는 고내구성콘크리트와 같은 값으로 한다. 그러나 고유동콘크리트의 경우는 일반적으로 블리딩량은 적게 되고, 오히려 블리딩량이 너무 적어지기 때문에 표면마감 작업에 문제가 있는 것이 많다.

콘크리트의 블리딩량이 많게 되면 콘크리트의 침하도 크게 되고 프리캐스트 조의 접합부나 강관콘크리트의 충전용으로 쓰는 경우에 문제가 된다. 굳지 않은 콘크리트의 침하량에 대해서는 규정된 시험방법이 없지만 높이 1m 정도의 거푸집에 콘크리트를 타설하고 타설 직후에서 블리딩이 종료하여 응결이 시작할 때까지의 침하량을 측정하고 목표로 정하면 좋다.

고유동콘크리트는 안이하게 콘크리트의 유동성만을 높인다고 하면 그 결과 경화후의 품질이 떨어지게 되는 콘크리트가 될 가능성이 있다. 또, 고유동콘크리트에서는 유동성을 향상시키기 위해서 저열시멘트나 결합재를 사용할 수 있지만, 이런 것의 시멘트나 결합재는 장기강도의 증진은 크지만 보통 콘크리트에 비해서 초기의 강도발현이 늦어질 수가 있다. 그래서, 고유동콘크리트에서는 보통콘크리트에서는 규정하고 있지 않은 포텐셜(potential) 강도의 최저치 기준을 정하는 것으로 한다. 포텐셜(potential) 강도라는 것은 그 콘크리트가 본래 가지고 있는 강도의 것이고, 보통은 표준양생한 공시체의 재령 28일에 있어서 압축강도로 나타내고 있다. 여기서는 사용한 고유동콘크리트의 종류마다 표준양생한 재령 28일에 있어서 압축강도가 모두  $25\text{N}/\text{mm}^2$ 이상이어야 한다.

콘크리트의 압축강도는 구조체 강도가 설계 기준강도 및 내구설계기준강도를 만족하고 초기강도가 시공상의 요구를 만족하는 것이어야 한다.

고유동콘크리트는 보통 콘크리트에 비해서 일반적으로 세골재율이 크고, 단 위조골재량이 적은 콘크리트이며 각종 미분말을 사용하는 것이 많기 때문에 영계수가 값이 낮을 우려가 있다. 그래서, 고유동콘크리트에서 최소한으로 요구되는 영계수의 값을 표준양생한 시험체가 재령 28일에서  $20\text{N}/\text{cm}^2$  이상으로 한다.

콘크리트의 건조수축은 부재의 내구성상 유해한 균열이 생길 우려가 없는 값이어야 한다. 고유동콘크리트는 굳지 않은 콘크리트의 재료 분리저항성을 높이기 위해서 배합에 있어 미분말량을 많게 하거나 분리저항제를 써서 모르터의 점성을 높이는 이외에 단위 조골재량을 적게 하는 경우가 있기 때문에 보통콘크리트와 비교해서 건조수축이 크게 되는 것이 우려된다.

콘크리트의 건조수축율은 재령 7일까지 표준양생한 공시체를 온도  $20\pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $60\pm 5\%$ 의 환경조건에 있어 건조기간 6개월에 있어서  $8\times 10^{-4}$ 이하로 하거나 동일 골재 및 보통포틀랜드 시멘트를 쓰고 물시멘트비가 50%, 슬럼프 18cm, 공기량 4.5%, 단위수량  $185\text{kg}/\text{m}^3$ 이하, 단위조골재 겉보기용적이  $0.620\sim 0.630\text{m}^3/\text{m}^3$ 의 보통 콘크리트와 비교해서 110%이하를 목표로 할 수 있다. 콘크리트의 건조수축율은 사용재료에 따라서 미리 확인할 필요가 있고 과거 시험결과 또는 신뢰할 수 있는 자료 등이 없는 경우는 시험비법에 의해서 정한다.

고유동콘크리트에서는 건조수축과 나란히 콘크리트의 경화에 따른 자기수축이 비교적 큰 것이 염려되고 있다. 콘크리트의 자기수축에 대해서는 아직 표준적인 시험방법은 확립

되어 있지 않고 평가방법도 정해져 있지 않다. 자기수축율은 미분말량이 많은 만큼 크게 되고 균열발생일수가 빨라서 주의가 필요하다.

콘크리트의 중성화에 대한 저항성은 계획내용연수에 달할 때까지의 기간내에 중성화깊이가 피복두께의 위치까지 진행되어서는 안 된다. 고유동콘크리트의 중성화는 사용하는 결합재의 종류에 따라서 다르고 물결합재비만으로 콘크리트의 중성화에 대한 저항성을 평가하는 것은 어렵다.

콘크리트의 중성화에 대한 저항성을 평가하는 시험방법으로는 일본건축학회에서 규정한(안)으로 「고내구성 철근콘크리트조의 설계시공지침(안)·동해설」에 규정된 「콘크리트 축진 중성화시험방법(안)」이 있는데 이의 조건은 재령 28일까지 표준양생한 후 28일간 온도  $20\pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $60\pm 5\%$ 에서 기건상태로 하고, 그 후에 온도  $20\pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $60\pm 5\%$ , 탄산가스농도 5%에서 6개월간 축진 중성화시킨 것이다. 고유동콘크리트의 중성화에 대한 저항성은 이 시험방법에서 시험하고 그 결과가 25mm이하이거나 신뢰할 수 있는 자료에 의해서 계획내용연수에 달할 때까지의 기간내에 중성화 깊이가 피복두께의 위치까지 진행하지 않는 것을 확인한다.

### 3. 재료

#### 3.1 시멘트

시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트), KS L 5210(고로 슬래그 시멘트), JIS R 5212(실리카시멘트) 또는 KS L 5211(플라이애시 시멘트)에 적합한 것을 사용한다.

고유동콘크리트는 높은 유동성과 재료분리 저항성을 갖기 위해서 보통콘크리트에 비해서 모르터의 항복치를 적게 하고 점성(소성점도)

을 크게 할 필요가 있다. 일반적으로 점성을 크게 하기 위해서는 분리저감제를 쓰지만 단위결합재량을 많게 하고 물결합재비를 적게 한다. 이 때문에 고유동콘크리트용 시멘트는 낮은 물시멘트비에 있어서도 콘크리트에 높은 유동성을 줄 수 있는 시멘트가 바람직하다.

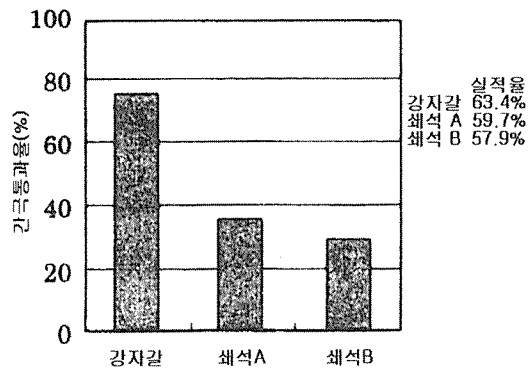
고유동콘크리트에 포틀랜드 시멘트를 사용한 경우 시멘트의 구성화합물인 C<sub>3</sub>A 및 C<sub>4</sub>AF 양에 의해서 모르타의 항복치 즉 유동성이 다르고 조강 보통 < 중용열 < 저열(벨라이트)계의 순서로 유동성이 크게 되기 때문에 중용열 포틀랜드 시멘트나 저열 포틀랜드 시멘트(벨라이트계 시멘트)가 고유동콘크리트에는 바람직하다고 생각할 수 있다. 그러나 저열 포틀랜드 시멘트는 이것을 사용한 콘크리트 경화 물성에 관한 연구 결과나 시공실적이 적기 때문에 강도발현 성상이나 내구성에 대해서는 시험에 의해서 확인함과 동시에 소정의 품질을 얻기 위해서 양생 등의 시공방법을 충분히 검토할 필요가 있다.

고유동콘크리트에는 혼합시멘트를 쓰는 경우 그 종류 및 품명에 의해서 시멘트 중의 결합재 분량이 다르기 때문에 콘크리트 성능의 차이가 생길 수 있다. 이 때문에 사용하는 시멘트 중 고로슬래그미분말 혹은 플라이애쉬등의 결합재 미분말을 시험성적표등에 의해서 미리 확인할 필요가 있다.

### 3.2 골재

콘크리트의 워커빌리티는 골재입자의 형상의 영향을 받지만, 특히 진동·다짐을 하지 않는 고유동콘크리트는 철근사이나 철근과 거푸집의 간극을 통과하기 위하여 골재입도가 크게 영향을 받는다고 생각할 수 있다. [그림 1]은 세종류의 조골재에 대해서 단위조골재나 겉보기용적을 동일하게 한 고유동콘크리트의

간극통과율을 나타낸 것이다. 여기서 사용한 간극통과율 시험기는 폭×높이×높이가 280×100×400mm의 직육면체 상자의 정면 하부에 높이 80mm의 개구부를 설치하고 거기에 직경 10mm의 둥근 강을 같은 간격으로 소정의 본수로 배근한 것이다. 상자에 플라이애쉬콘크리트를 충전한 후 바로 개구부에 설치한 뚜껑을 열어서 콘크리트를 유출시켜 콘크리트의 유출량, 유출시간, 조골재의 유출량등을 측정하는 것이다. [그림 1]에서 쇠석 A나 쇠석 B를 쓰는 경우에 간극통과율은 어느 쪽도 강사를 쓴 경우에 비해서 낮은 것을 알 수 있다. 고유동콘크리트의 간극통과성을 확보하기 위해서는 사용한 조골재에서 실적율이 큰 것을 쓰는 것이 바람직하다고 생각할 수 있다.



(그림 1) 조골재의 종류와 간극통과율

### 3.3 고성능AE감수제

고유동콘크리트는 고성능AE감수제의 사용이 불가피하다.

현재 시판되고 있는 고성능AE감수제를 주성분으로 크게 분류하면 폴리카본산계, 나프탈렌계, 아미노설폰산계 및 멜라민계로 구분될 수가 있다. 고성능AE감수제를 사용하는 경우 이 주성분이나 사용량, 배합조건 혹은 사

용시기등에 의해서 고유동콘크리트의 성상이 크게 변할 수가 있다.

따라서 그 사용에 있어서는 신뢰할 수 있는 자료를 참고로 하여 시험에 의해서 정하는 것이 바람직하다.

### 3.4 분리저감제

고유동콘크리트의 재료분리저항성을 확보하는 방법에는 미분말의 구성에 의한 방법과 분리저감제를 사용하는 방법이 있다. 현재 고유동콘크리트에 사용하는 분리저감제로 시판되고 있는 것은 셀룰로스에테르를 주성분으로 하는 셀룰로스형, 폴리아크릴아미드를 주성분으로 하는 아크릴형, 다당류 폴리머, 미생물균체등을 주성분으로 하는 바이오폴리머형, 특수수용성고분자를 주성분으로 하는 글리콜계 및 흡수폴리머를 주성분으로 하는 것 등이 있다. 이런 것들의 사용에 대해서는 신뢰할 수 있는 자료 혹은 실적등을 참고로 하던가 시험에 의해서 확인하는 것이 필요하다. 또한 고성능 AE감수제와 분리저감제 사이에는 서로 반대 성질이 있는 것으로 알려지고 있고 조합에 의해서는 소요의 유동성을 얻을 수 없는 등 바람직하지 않는 현상을 인정하고 있기 때문에 이런 조합에는 주의가 필요하다.

### 3.5 혼화재

혼화재로 플라이애쉬, 팽창재 및 고로슬래그미분말은 각각 KS L 5405(플라이애시), KS F 2562(콘크리트용 팽창재) 및 JIS A 6206(콘크리트용 고로슬래그미분말)에 품질 규준이 정해져 있고, 이런 것에 적합한 것을 사용한다. 고로슬래그미분말은 분말도에 의해서 4000, 6000 및 8000급의 세종류로 나눌 수가 있고, 고유동콘크리트의 용도나 요구성능등을

고려하여 그 종류를 정할 필요가 있다.

이외에 수경성 또는 잠재수경성을 가진 무기질분말 및 석회석미분말과 같은 비수경성의 무기질분말은 콘크리트의 응결·경화, 강도, 내구성에 악영향을 미치지 않는 것이 확인되었기 때문에 철근을 부식시킬 우려가 없는 것으로서 하고 공사감리자의 승인을 받는다.

## 4. 배합

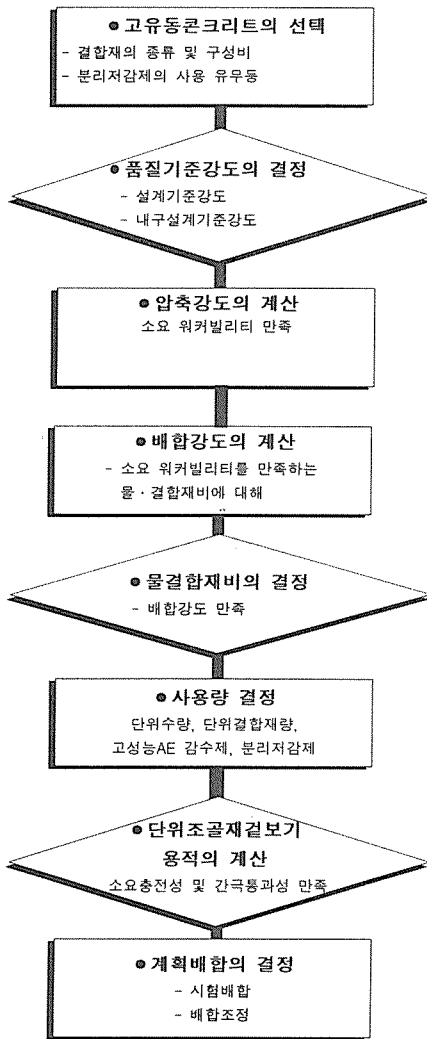
### 4.1 배합순서

고유동콘크리트는 분리저감제를 사용하지 않고 미분말구성에서 재료분리저항성을 확보하는 종류의 것, 분리저감제를 사용하여 재료분리저항성을 확보하는 종류의 것 및 양자를 병용하는 것등이 있다. 또한 결합재의 종류도 많고 결합재의 미분말구성도 다양하기 때문에 계획배합을 정함에 있어서 사용재료의 선정이 특히 중요하다.

고유동콘크리트 배합설계의 일반적인 순서는 [그림 2]와 같다.

고유동콘크리트는 소요 강도를 만족하는 것 이외에 굳지 않은 콘크리트가 높은 유동성과 재료분리를 일으키지 않는 성질을 갖는 것이 요구된다.

단위시멘트량이나 단위결합재량을 많게 해서 소요의 재료분리저항성을 얻도록 하는 경우에는 물시멘트비나 물·결합재비가 낮게 되어 있고, 콘크리트 압축강도는 “KASS 5 보통 콘크리트의 배합”에서 정한 배합강도 이상으로 높게 되는 것이 있다. 따라서 고유동콘크리트의 배합강도는 “KASS 5 보통 콘크리트의 배합” 정한 배합강도와 소요 워커빌리티를 얻기 위해서 물결합재비에서 정한 강도 중에서 큰 쪽의 값으로 하고 이것을 배합의 목표로 하는 것으로 한다.



(그림 2) 고유동콘크리트의 배합설계의 일반적인 순서

## 4.2 슬럼프플로우

고유동콘크리트의 슬럼프플로우는 콘크리트를 타설하는 구조물의 형상·치수, 배근상태, 시공조건등을 고려해서 최적의 유동성이 얻어질 수 있도록 결정할 필요가 있다. 고유동콘크리트의 유동성을 평가하는 지표는 슬럼프플로우이지만, 목표슬럼프플로우가 50cm이하

의 콘크리트는 유동성이 결여되어 있는 경우가 있고 또 70cm를 넘는 경우에는 재료분리 저항성을 일으킬 우려가 있기 때문에 특기에 없는 한 목표치를 55, 60 또는 65cm의 세 수준으로 한다.

현재의 기술에서는 고유동콘크리트의 슬럼프플로우와 진동다짐하는 것 없이 시공할 수 있는 구조물에 형상·치수, 배근상태등의 관계를 정확하게 나타내는 데까지는 도달되어 있지 않다. 콘크리트 타설 개소가 비교적 큰 단면을 갖고 배근상태도 그 만큼 과밀하지 않은 경우나 유동거리가 그 만큼 길지 않은 경우 등에 대해서는 비교적 적은 슬럼프플로우에서도 진동다짐없이 시공하는 것이 가능하다. 또한 타설위치가 막힌 공간이 있거나 단면이 적은 경우나 배근 조건이 아주 과밀한 경우 또는 긴 거리를 유동시키지 않으면 안될 경우의 진동다짐없는 시공에서는 슬럼프플로우 목표치를 크게 할 필요가 있다. 한편 슬럼프플로우의 값에 따라서 적당한 점도를 주는 것도 진동다짐하지 않고 시공을 실현하기 위해서 중요한 과제가 되기 때문에 주의가 필요하다.

## 4.3 공기량

공기량은 고유동콘크리트에 있어서도 플라이애쉬 콘크리트의 콘시스턴시, 압축강도 및 동결융해작용에 대한 저항성 등에 영향을 주는 것이 명확하게 되어 있다. 이 때문에 목표 공기량은 4.5%정도로 하는 것이 좋다. 그러나 미분말계 고유동콘크리트의 경우 압축강도는 비교적 고강도로 되고 보통강도의 콘크리트에 비해서 내구성 면도 뛰어나고 한편 미분말을 구성하는 재료의 조합에 의해서는 공기가 연행되기 어려운 경우도 있기 때문에 이 경우는 공기량의 목표치를 3.0%로 하면 좋다. 또한 심한 동결융해작용을 받을 우려가 있는 경우

는 “KASS 5 동결융해작용을 받는 콘크리트”에 의한 것으로 한다.

#### 4.4 압축강도

고유동콘크리트에 있어서도, 압축강도는 물결합재비와 직선관계에 있는 것을 확인하고 있고 강도상 필요한 물결합재비는 일반적으로 이 관계를 사용해서 정한다.

현재, 고유동콘크리트의 물결합재비는 30~50% 정도의 범위가 많이 사용되고 있다. 단위조골재겉보기용적이 적은 만큼, 또한 물결합재비가 적은 만큼 간극통과성은 양호하게 된다. 한편, 단위조골재겉보기용적이 크고 물결합재비가 큰 콘크리트에서 정량의 분리저감제를 쓰지 않는 경우에는 모르터와 조골재가 분리하는 경향을 보이고 있다. 고유동콘크리트의 물결합재비는 원칙적으로 50%이하로 한다. 다만 결합재량을 저감해서 온도상승을 억제하는 경우나 고유동콘크리트와 보통콘크리트를 연결하는 경우 등에서 강도차가 현저하게 크게 되어 불합리가 생기지 않도록 하고자 하는 경우에는 물결합재비를 50% 이하로 한정하지 않는 쪽이 바람직한 경우도 있다고 생각된다. 이와 같은 경우는 시멘트나 고로슬래그미분말등의 결합재 대신에 석회석 미분말과 같이 무기질분말로 치환해서 재료분리를 생기지 않도록 하는 것을 생각할 수가 있는데, 그 경우도 물결합재비는 55% 이하로 하고 신뢰할 수 있는 자료 또는 시험등으로 “2. 고유동콘크리트의 요구성능”에서 나타내는 콘크리트의 요구성능에 있어서 문제가 없는 것을 확인하지 않으면 안 된다.

#### 4.5 단위수량

단위수량을 많게 하면 콘크리트의 재료분리

저항성은 부족하고 운반중이나 타설중에 재료분리를 일으키고 펌프압송중에 막히거나 타설 후 재료분리를 일으켜서 조골재만을 침하시키는 것 등을 생각할 수 있다. 또한 경화콘크리트의 수밀성이 저하하기도 하고 건조수축이 증가해 균열이 발생하기 쉽게 되는 등 콘크리트의 내구성을 저하시키는 원인이 된다. 따라서 단위수량은 소요의 슬럼프플로우가 얻어질 수 있는 범위 내에서 가능한 작게 되도록 시험비법 해서 결정하는 것을 원칙으로 한다.

고내구성콘크리트의 단위수량 규정치에 맞추어 고유동콘크리트의 단위수량은  $175\text{kg}/\text{m}^3$  이하로 한다. 한편, 단위수량이 너무 적은 경우에는 소요의 슬럼프플로우를 얻기 위해서 고성능AE감수제의 사용량이 과다하게 되고 응결시간이 현저하게 지연되기도 하고 재료분리를 일으키기도 하는 경우도 있다. 또한 소요 슬럼프플로우가 얻어져도 점성이 크게 되어 슬럼프플로우속도가 작게되고, 간극통과성이나 충전성이 저하하는 것도 있다. 이와 같은 경우 단위수량을 증가시키는 것이 생각되고 그 경우에도 단위수량은  $185\text{kg}/\text{m}^3$  이하로 하고 신뢰할 수 있는 자료 또는 시험등에 의해서 “2. 고유동콘크리트의 요구성능”에서 나타내는 콘크리트 요구성능에 있어서 문제가 없는 것을 확인하지 않으면 안 된다. 고성능AE감수제는 주로 단위수량을 감소시킬 목적으로 사용되고 있지만 사용량의 다소(多少)에 따라 굳지 않은 콘크리트의 성질이 크게 영향을 받기 때문에 고성능AE감수제의 적절한 사용량과 단위수량의 조합에 대해서는 충분히 검토할 필요가 있다.

#### 4.6 단위조골재겉보기용적

단위조골재겉보기용적은 소요의 간극통과성이 얻어질 수 있도록  $0.500\text{m}^3/\text{m}^3$ 를 하한으



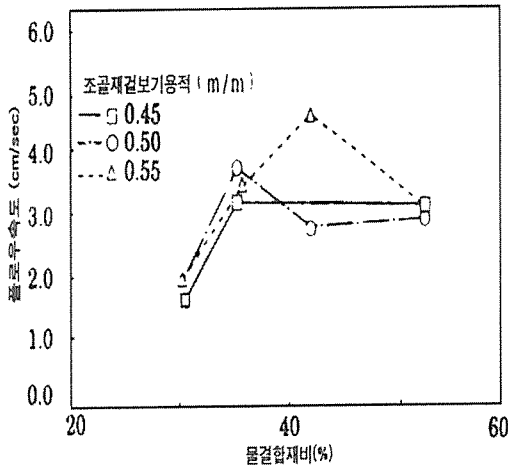
로 해서 시험비빔에 의해 결정하는 것이 좋다.

고유동콘크리트의 경우 양호한 유동성 및 재료분리저항성을 가지고 있어도 구조물의 배근상태에 대해서 단위조골재겉보기용적이 큰 경우에는 간극통과성이 낮다는 것이 알려지고 있다. 한편 단위조골재겉보기용적이 적은 경우에는 콘크리트의 수축량이 크게 되기도 하고 골재의 성질에 의하지만 콘크리트의 영계수가 적게 되는 경우도 있기 때문에 단위조골재겉보기용적을 과도하게 적게 한 것은 적절

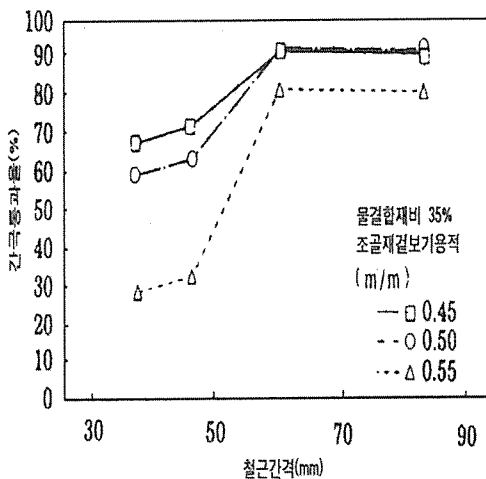
하지 않다고 지적하고 싶다.

[그림 3]은 단위조골재겉보기용적을 변화시킨 경우에 물결합재비와 슬럼프플로우속도의 관계를 나타낸 것이고, [그림 4]는 단위조골재겉보기용적과 간극통과성의 관계를 나타낸 것이다. [그림 3]과 [그림 4]에 의하면 단위조골재겉보기용적은 슬럼프플로우속도에는 그다지 영향을 받지 않고, 간극이 좁은 경우에 간극통과성은 단위조골재겉보기용적이 큰 경우만큼 급격히 저하하는 경향이 있는 것으로 알려지고 있다.

또한 고유동콘크리트의 간극통과성은 조골재 형상의 영향을 크게 받는 것으로 알려지고 있다. 일반적으로 슬럼프 18cm의 보통콘크리트의 단위조골재겉보기용적은  $0.630\text{m}^3/\text{m}^3$  정도이지만 고유동콘크리트의 경우는 기존의 실험결과나 실시공 보고등을 참조하면 단위조골재겉보기용적을  $0.500\text{m}^3/\text{m}^3 \sim 0.550\text{m}^3/\text{m}^3$  정도로 하고 있는 경우가 많다.



(그림 3) 단위조골재겉보기용적과 슬럼프플로우속도의 관계



(그림 4) 단위조골재겉보기용적과 간극통과율의 관계

#### 4.7 세골재율

세골재율은 물·결합재비, 단위수량 및 조골재절대용적에서 산출되지만 세골재율의 대소에 의해 워커빌리티는 크게 영향을 받고 세골재율이 적은 경우는 재료분리가 생기기 쉬운 한편 큰 경우는 소요의 유동성을 확보할 수 없는 경우도 있다. 고유동콘크리트의 세골재율은 48~52% 정도로 하고 있는 것이 많다.

#### 5. 콘크리트의 제조

고유동콘크리트의 제조는 설비가 정비되어 엄밀한 제조관리 및 품질관리를 하고 있는 레디믹스트 콘크리트공장에서 행하고 고유동콘크리트는 실적이 아주 많지 않기 때문에 제조에 있어서는 생산자와 자주 협의할 필요가 있다.

## 5.1 공장의 선정

레디믹스트 콘크리트공장은 소정품질의 고유동콘크리트를 안정하게 공급할 수 있는 공장을 선정하지 않으면 안 된다. 일반적으로 레디믹스트 콘크리트공장을 선정하는 경우는 공사현장주변의 공장을 대상으로 해서 사용재료, 제조설비 및 품질관리상태등에 있어서 공사조사표를 작성하여 조사하지만 그 때 고유동콘크리트를 제조한 실적이나 기술자의 의욕등도 조사해서 고유동콘크리트의 제조능력이 있다고 판정되는 공장을 선정한다.

또한 비빔에서의 경과시간이 길게 되면, 슬럼프는 그다지 변화가 없어도 슬럼프플로우는 큰 폭으로 저하하는 경우가 있고 자기충전성이 상실되기 때문에 콘크리트의 품질변화가 그다지 크지 않게 되는 시간 내에 콘크리트가 운반될 수 있는 거리에 있는 공장을 선정한다. 게다가 동일 구역에 타설되는 콘크리트는 동일 공장에서 발주하는 것이 중요하다.

콘크리트의 품질은 공장기술자의 기술수준에 좌우되는 경향이 크기 때문에 자격을 갖춘 기술자가 상주해서 제조관리를 행하고 있는 공장을 선정한다.

## 5.2 발주

고유동콘크리트를 발주한 경우 보통 레디믹스트 콘크리트와 같이 압축강도와슬럼프만을 지정하고 있는 방법에서는 소정품질의 고유동콘크리트를 얻는 것이 어렵다. 고유동콘크리트에서는 콘크리트에 요구되는 품질항목이 아주 많고 보통콘크리트보다도 사용하는 재료의 종류가 많고 계량방법, 믹서의 투입방법, 비빔방법등도 복잡하다. 또한 일반의 레디믹스트 콘크리트공장에서의 제조실적이 적기 때문에 시공자가 주도해서 공장과의 공동작업에 의해

서 품질을 확보하는 것이 중요하다.

고유동콘크리트의 발주에 있어서는 배합을 지정하는 경우 소요의 워커빌리티가 얻어질 수 있는 물결합재비에 대응하는 강도, 또는 물결합재비, 배합강도를 지정하고, 또한 품질관리를 위해서 배합관리강도를 지정한다. 물결합재비를 지정하는 경우는 그 물결합재비에서 콘크리트를 제조한 경우에 적당한 생산자위험율에서 배합관리강도가 만족되는 것을 확인하지 않으면 안 된다.

발주에 있어서는 실내 및 실기에 의한 시험비빔을 행하고 상세에 대해서는 협의하여 정한다.

## 5.3 제조

고유동콘크리트의 제조설비는 KS F 4009(레디믹스트 콘크리트)의 규정을 준용하면 좋지만 그 외에 고유동콘크리트 제조에 특유의 각종 결합재 저장설비나 분리저감제의 계량 정밀도 등에 대해서는 미리 정할 필요가 있다. 또한, 고유동콘크리트 제조에 있어서 균일한 콘크리트로 하기 위해 필요한 비빔시간은 믹서의 종류, 용량, 콘크리트의 배합, 혼합재의 종류 등에 의해서 다르기 때문에 시험비빔을 하고 비빔량, 비빔시간을 결정한다.

고유동콘크리트의 제조에 있어서는 요구품질의 항목이 아주 많고 사용재료의 종류도 많고 계량방법, 믹서의 투입방법, 비빔방법등도 일반의 레디믹스트 콘크리트에 비해서 복잡하게 되어 있다. 이 때문에 소요의 유동성과 재료분리저항성을 가진 고유동콘크리트를 안정적으로 공급하기 위해서는 가능한 연속해서 제조하는 것이 바람직하고 다른 콘크리트와 상호출하에 의해서 빈번하게 고유동콘크리트의 제조가 중단되지 않도록 하지 않으면 안 된다.

또한 분리저감제를 사용한 고유동콘크리트

가 믹서 내에 남아 있으면 다음 비빔의 보통콘크리트에 영향을 준다. 이 때문에 고유동콘크리트의 제조에서 다른 콘크리트의 제조로 바꾸는 경우는 믹서 내에 고유동콘크리트가 남아 있지 않을 것 및 배합설정을 변경한 것을 확인해야 한다.

## 5.4 품질관리

제조시 품질관리항목과 내용 및 출하시의 관리기준 항목과 내용을 미리 검토해 둘 필요가 있다. 고유동콘크리트 관리에는 레디믹스트 콘크리트공장의 제조관리에 대해서 충분한 정보를 갖고 관리상태를 확인하여 두는 것이 중요하다. 또한 시공자의 기술지도가 중요하고 제조 당시에는 반드시 품질의 안정을 기하고, 필요에 따라서 품질관리 담당자를 공장에 파견한다.

# 6. 콘크리트의 시공

## 6.1 운반

고유동콘크리트는 운반 중에 유동성이 변하는 경우가 있다. 특히 펌프압송의 경우에는 슬럼프플로우치가 낮게 되는 경우가 있기 때문에 시험적으로 압송하는 것에 의해서 그 변화를 확인하는 것이 바람직하다. 현재에는 고유동 콘크리트의 압송성이나 압송이 콘크리트의 품질에 주는 영향에 있어서 충분한 데이터가 정리되어 있지 않다. 그래서 사용할 예정의 고유동콘크리트에 대해서는 그 콘크리트의 개발단계에서 축적한 충분한 검토 데이터를 토대로 해서 압송계획을 세우거나 이것이 불충분한 경우는 시험압송의 실시를 통해 압송계획을 정할 필요가 있다.

고유동콘크리트를 바켓에 의해서 운반하는

경우 바켓의 배출구에 틈이 있으면 운반 중에 콘크리트의 페이스트가 빠지기 때문에 틈이 없도록 사전에 충분히 점검해 둘 필요가 있다.

## 6.2 계획수립

고유동콘크리트는 보통콘크리트와 비교해서 유동성이나 재료분리저항성이 뛰어나기 때문에 다짐은 원칙적으로 불필요하나 고유동콘크리트의 특성이나 시공조건에 의해서 다짐이 필요한 경우도 발생하기 때문에 미리 고유동콘크리트의 특성이나 시공조건을 알고 있는 중에서 다짐여부와 그 방법 및 노무조직 등을 검토해 둘 필요가 있다. 또한 고유동콘크리트는 보통콘크리트보다도 응결이 지연되기 때문에 마감을 개시하는 시기가 늦게 되는 경우가 있다. 또한 미분말계 고유동콘크리트에서는 타설 후 빠른 시기에 표면이 굳어지는 경우가 있어 마감작업이 어렵게 되는 것도 있다. 이와 같은 고유동콘크리트의 응결이나 초기성상을 잘 파악하는 중에서 마감의 방법이나 관리계획을 수립한다.

## 6.3 타설

고유동콘크리트는 아주 유동하기 쉽기 때문에 한 개소에서 연속해서 타설하면 자유유동 거리가 크게 되기 쉽기 때문에 재료분리가 생기고 예상하지 않았던 방향으로 콘크리트가 유동해서 콘크리트가 새는 등의 곤란함이 생기는 경우가 있다. 또한 개구부 하단에 좌우 동시에 콘크리트가 흘러 들어가서 중앙부에 큰 공기주머니가 생기는 경우가 있다. 이와 같은 문제점을 막기 위해서 고유동콘크리트의 유동구배, 유동속도 및 유동거리에 의한 성상변화라고 하는 유동특성을 잘 파악해서 타설계획을 세우지 않으면 안 된다.

이어 치기 방법은 보통콘크리트의 경우와

동일한 이어 치기 재료를 사용해도 지장이 없지만 아주 견고하게 만들고 누수가 없도록 해야 한다. 일단 콘크리트가 빠지기 시작하면 이것을 막는데는 아주 곤란한 경우가 많다.

## 6.4 타설시간, 타설구획

고유동콘크리트는 고성능AE감수제를 다량으로 쓰기 때문에 응결시간이 길게 되는 경우가 많다. 이 때문에 비빔에서 타설종료까지의 시간 한도는 KASS 5에서 정하고 있는 외기온도 25℃미만의 경우와 동일한 시간으로 하였다. 그러나 조건에 따라서는 경시변화가 큰 경우도 있기 때문에 사전에 실제시험에 의해서 경시변화 특성을 파악하지 않으면 안 된다.

고유동콘크리트는 거푸집에 타설한 경우 고유동방향이나 유동거리를 제어할 수 없는 경우가 있기 때문에 그것을 사전에 타설구획, 타설순서, 타설방법, 타설속도등을 검토해야 한다.

한 개소에서 고유동콘크리트 타설을 계속하면 고유동콘크리트의 유동구배는 1/10정도이기 때문에 타설 높이를 4m로 하면 40m 가까이 수평으로 유동하여 가는 것이다. 그러나 이 경우 고유동콘크리트가 재료분리를 일으키지 않는 것을 전제로 하고 있기 때문에 재료분리 여부를 확인할 필요가 있다. 지금까지의 연구에서는 자유유동거리와 재료분리의 관계가 충분하게 파악되어 있지 않기 때문에 자유유동거리가 그다지 크게 되지 않도록 돌려 치는 것이 바람직하다.

콘크리트의 타설 구획이 넓은 경우 또한 긴 경우 등에서는 한층분 타설을 끝내고 2층타설을 계속할 때까지는 장시간을 요한다. 이와 같은 경우에 하층의 고유동콘크리트 표면에 굳어지는 현상이 생기고 콜드조인트가 생길 우려가 있다. 따라서 각층의 콘크리트가 일체되기 위해서 시간 내에 상층의 콘크리트를 타설하지 않으면 안 된다. 이와 같은 이어 치기 시

간 간격은 짧으면 좋고, 시간간격이 길게 되면 콜드조인트가 발생하기 쉽기 때문에 90분을 넘지 않도록 주의해야 한다.

## 6.5 다짐, 마감

고유동 콘크리트의 타설에 있어서는 콘크리트가 재료분리하는 것 없이 원활하게 유동하고 있는 경우는 특히 다짐이 불필요하지만 철근이 과밀하게 배근되어 있는 경우나 부재단면이 복잡한 형상을 하여 충전이 곤란하다고 생각되는 경우는 콘크리트의 유동을 보조하는 정도의 진동이나 다짐·두드림을 행하는 등의 조치가 필요로 하는 경우가 있다.

또한 마무리에 있어서도 필요에 따라서 콘크리트용 봉형진동기, 그 외 용구를 사용한다. 게다가 콘크리트 마감면의 미관을 보다 향상시키고 싶은 경우는 두드림 등을 병용해서 타설하는 것도 생각할 수 있다. 다음은 두드림을 강하게 수회 반복하면 콘크리트 표면에 기포를 유도 할 수도 있기 때문에 주의가 필요하다.

또한 고유동콘크리트는 응결시간이 지연되는 경향이 있기 때문에 표면마무리시기에는 주의를 요한다. 응결지연의 정도는 사용한 결합재나 혼화재료의 종류 및 시공시기등에 의해서 다르기 때문에 사전 시험을 통해 응결시간을 확인할 필요가 있다.

고유동콘크리트는 블리딩이 거의 없기 때문에 보통콘크리트에 비해서 표면에 건조가 빨라지는 경우가 많다. 그 때문에 슬럼프등 콘크리트의 상면은 타설 후 건조하지 않도록 덮거나 살수 양생을 한다.

## 6.6 거푸집

### 1) 측압

고유동콘크리트에서는 거푸집이 작용하는

측압에 안전하도록 측압이 작용하는 것도 산출해서 거푸집의 배부름, 파괴가 생기지 않도록 견고하게 조립할 필요가 있다. 거푸집이 파괴되어 고유동콘크리트가 유출하기 시작하면 이것을 막는 것은 불가능에 가깝고, 다량으로 콘크리트가 유출되면 그 처리에는 지대한 노력을 요하므로 그 날의 콘크리트공사는 정지하지 않으면 안되기 때문에 충분히 검토해서 거푸집을 조립할 필요가 있다.

둘러 치기에 의해서 콘크리트의 타설 속도가 늦어질 때에는 측압으로 계산하지 않아도 좋은 경우가 있고 이 경우에는 측압을 모니터해 가면서 타설하던가 사전에 측압의 작용방식을 확인할 필요가 있다.

## 2) 보강

고유동콘크리트는 흐르기 쉽기 때문에 거푸집에 약간의 변화가 있어도 콘크리트가 누출되고 그 누출을 수복하는 것은 아주 곤란하다. 이와 같은 사태를 미연에 방지하기 위해서는 거푸집을 조립할 때 보통 이상의 주의를 기울이고 걱정된다고 생각되는 위치에 적당하게 나무나 퍼티등으로 덧대어 둘 필요가 있다.

## 3) 거푸집해체

보통 콘크리트의 경우 거푸집 존치기간은 콘크리트의 압축강도가  $5\text{N}/\text{mm}^2$  이상으로 될 때까지라고 하는 규정이외에 재령에 의해서 거푸집존치기간을 정할 필요가 있다. 그러나 고유동콘크리트는 재령이 진행함과 동시에 강도발현성상이 콘크리트의 특성, 양생온도등으로 아주 달라지고 거푸집 제거시기를 명확하게 나타내는 데에 충분하게 데이터가 있지 않은 것이 현실이다. 따라서 구조체 콘크리트의 압축강도시험을 행하던가 신뢰할 수 있는 자료에 의해서 그것이  $5\text{N}/\text{mm}^2$  이상으로 된 것을 확인해서 널판을 제거하는 것으로 한다.

## 7. 품질관리 · 검사

### 7.1 슬럼프플로우시험

부림시의 반입검사에서는 수시 콘크리트 상태를 육안으로 관찰하고 콘크리트의 워커빌리티가 양호하고 재료분리가 없고 균일하고 안정되어 유동되고 있으면서 진동·다짐없이 타설가능한 것을 확인한다.

슬럼프플로우시험에서는 굳지 않은 콘크리트의 유동성뿐만 아니고 재료분리저항성도 판단한다. 고유동콘크리트의 재료분리저항성이나 충전성을 평가하는 시험방법으로는 표준으로서 확립되어 있는 것은 아니지만 여러 종류의 방법이 제안되고 있고 슬럼프플로우가 너무 커서 분리할 염려가 있는 경우나 적어서 충전이 곤란한 경우를 생각해서 적절한 시험방법에 의해서 품질의 판정을 할 필요가 있다.

시험회수는 타설 개시시나 타설을 재개할 때에는 슬럼프플로우나 공기량의 변화가 쉽기 때문에 품질이 안정할 때까지 최초의 차량의 수는 바로전에 시험한 차량에 대해서 시험하여 비교하는 것이 좋다.

### 7.2 강도검사

고유동콘크리트에서는 분리저감제는 사용하지 않고 미분말구성에 의해 재료분리저항성을 확보하는 방법, 분리저감제를 사용하여 재료분리저항성을 확보하는 방법, 양자를 병용하는 방법이 있다. 이 중 미분말구성에 의한 방법이나 양자를 병용한 방법에 있어서 미분말로 시멘트나 고로슬래그미분말등의 결합재를 사용하는 경우는 물결합재비가 아주 낮게 되는 경우가 있다. 이와 같은 콘크리트에서는 소요 워커빌리티를 확보하기 위해서 필요한 물결합재비에 대한 압축강도는 “KASS 5 보통 콘크리트의 배합”에

서 정한 배합강도(품질기준강도에 강도편차 및 기온에 의한 강도보정치를 가한 값)보다 아주 큰 것이다. 그 경우 부림시에 반입검사에서 고유동콘크리트의 배합강도를 바탕으로 산정한 배합관리강도를 만족하고 있어 구조체 콘크리트강도가 설계기준강도나 내구설계기준강도보다 낮지 않다면 구조체 콘크리트강도 시험을 행하는 의의는 아주 적다고 생각할 수 있다. 따라서 소요 워커빌리티를 얻기 위한 물결합제비에 대응하는 강도가 "KASS 5 보통 콘크리트의 배합"에서 정하는 배합강도보다 어떤 값이상 큰 경우 반입검사에 있어서 배합관리강도를 만족하면 구조체 콘크리트강도를 판정하기 위한 공시체의 강도는 품질기준강도를 만족하고 있다고 간주하고 구조체 콘크리트강도의 시험은 생략해도 좋다고 하였다. 또한 구조체 콘크리트강도 시험을 생략해도 좋은 것은 설계기준강도 또는 레디믹스트 콘크리트의 호칭강도에서 6N/mm<sup>2</sup>을 초과해서 상회하고 있는 경우로 하였다.

### 7.3 반입검사

부림시의 반입검사에 있어서 공시체의 채취는 보통콘크리트의 반입검사와 동일하게 하지만 고유동콘크리트를 프리캐스트콘크리트조의 패널과 패널의 접합부나 기둥·보의 접합부 등에 소량 타설하는 경우 보통콘크리트 검사와 같이 1일 타설에 대해서 150m<sup>3</sup>당 1회의 공시체 채취는 적다고 생각할 수 있다. 그 때문에 1일 타설량이 30m<sup>3</sup>미만인 경우는 채취 회수를 1회 이상 2회 이하로 할 수가 있다.

### 7.4 판정

구조체콘크리트강도의 검사는 타설구획마

다 설계기준강도 및 내구설계기준강도를 만족하고 있는 것을 확인하는 것이 중요하다.

구조체콘크리트강도의 검사에 표준양생한 공시체를 사용하는 경우는 배합관리강도이상 또는 현장수중양생한 공시체 또는 현장밀봉양생한 공시체를 사용하는 경우는 품질기준강도 이상이면은 합격으로 한다.

## 參 考 文 獻

1. 飛判基夫 外 2人：高流動コンクリートの力學特性・耐久性に關する研究(その6. ヤング係數・ポアソン比). 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 291~292, 1995.8)
2. 梶谷智樹 外 4人：高流動コンクリートの力學特性・耐久性に關する研究(その9. 自己收縮とひび割れに關する試験), 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 297~298, 1995.8)
3. 名和豊春 外 3人：高ビ-ライト系セントを用いた高流動・高强度コンクリートに關する研究, 콘크리트工學年次論報告集, pp.143~148,
4. 飛判基夫 外 6人：高流動コンクリートの調合に關する實驗的研究(その2. スランプフロー速度, 間隙通過性に及ぼす調合要因の影響), 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 575~576, 1994.9)
5. 飛判基夫 外 1人：高流動コンクリートの力學特性・耐久性に關する研究(その12. 中性化), 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 303~304, 1995.8)
6. 和泉意登志 外 6人：各種高流動コンクリートの特性評價及び實大規模打設實驗(その5. ヤング係數實大規模打設實驗のフレッシュコンクリート品質), 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 1153~1154, 1993.9)
7. 建築工事標準施方書, 大韓建築學會, 1994.