

병용계 고유동 콘크리트의 품질성능에 관하여

권 영 호

(동양대학교 건축공학과 교수, 공박, 시공/품질시험 기술사)

이 현 호

(동양대학교 건축공학과 교수, 공박)

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. 머리말 | 3.6 증성화 |
| 2. 굳지 않은 고유동 콘크리트의 특성 | 4. 고유동 콘크리트의 품질관리 |
| 2.1 응결특성 | 4.1 재료의 품질변동에 따른 품질관리 |
| 2.2 블리딩 | 4.2 제조에 따른 품질관리 |
| 2.3 수화열 | 4.3 운반에 따른 품질관리 |
| 3. 병용계 고유동 콘크리트의 역학적 특성 | 4.4 고유동 콘크리트의 시험항목 |
| 3.1 강도특성 | 4.5 펌프압송에 따른 품질관리 |
| 3.2 동결융해 저항성 | 4.6 타설에 따른 품질관리 |
| 3.3 알칼리-골재반응 | 4.7 마감·양생·이어치기에 따른 품질관리 |
| 3.4 내산성 및 내해수성 | 4.8 경화후의 품질에 대한 조사방법 |
| 3.5 건조수축 | 5. 맺음말 |

1. 머리말

병용계 高流動 콘크리트는 일반적으로 물/분체비(W/B)가 낮은 粉體系 고유동 콘크리트와 물/분체비가 높고 증점제를 비교적 많이 사용한 증점계 고유동 콘크리트의 중간적 특성을 갖는 콘크리트로 분류할 수 있다.

구조물의 조건에 따라 분체계 고유동 콘크리트를 사용하면 콘크리트의 재료분리 저항성

및 수화열 등의 문제가 발생하거나, 증점계 고유동 콘크리트를 사용하면 재령강도 및 경계성 등의 문제가 우려될 경우에 병용계 고유동 콘크리트를 사용한다.

특히, 굴착 및 콘크리트의 타설깊이가 매우 깊은 대용량 지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽과 같은 구조물은 대부분 高強度로 설계될 뿐만 아니라 자기충전성, 재료분리 저항성이 중요하기 때문에, 병용계 고유동 콘크리트

가 사용된다. 병용계 고유동 콘크리트는 결국 분체계 고유동 콘크리트에 증점제가 추가되기 때문에 재료 및 굳지 않은 콘크리트의 특성은 동일하게 간주하여도 될 것으로 사료된다.

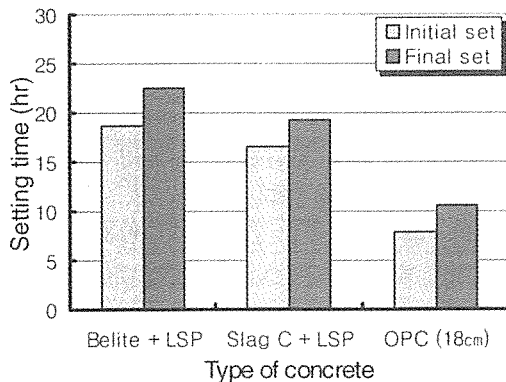
따라서, 본 고에서는 병용계 고유동 콘크리트의 역학적 특성 및 품질관리에 관한 중요사항을 정리하여 본 연구에 참고자료로 활용하고자 한다.

2. 굳지 않은 병용계 고유동 콘크리트의 특성

2.1 응결특성

병용계 고유동 콘크리트는 고성능 AE감수제와 混和材를 많이 사용할 뿐만 아니라 증점제를 사용하기 때문에, 콘크리트의 응결시간 및 초기강도의 발현이 지연되는 경향이 있다. 따라서, 응결시간 및 초기강도가 구조물에 미치는 영향이 클 경우에는 반드시 사전에 재료 및 배합조건에 대한 응결시험과 초기강도의 발현을 실험적으로 고찰해야 한다.

특히, 이는 거푸집 側壓의 설계 및 콘크리트 구조물의 공정관리에도 중요한 영향을 미치기 때문에, 사전에 면밀히 검토하여 이를 반영해야 한다.



(그림 1) 병용계 고유동 콘크리트의 응결시간

[그림 1]은 슬럼프 18cm의 일반 콘크리트와 3成分系 및 벨라이트系 시멘트를 사용한 병용계 고유동 콘크리트에 대한 각각의 응결시간을 측정하여 결과를 나타낸 것이다.

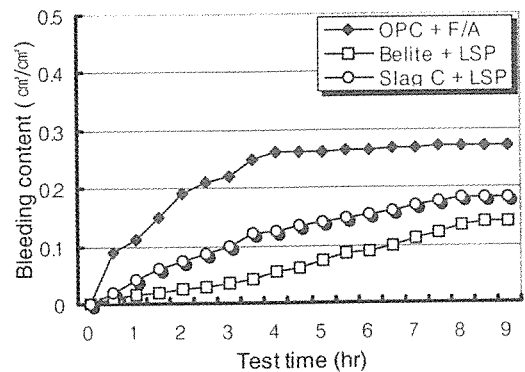
벨라이트계 시멘트를 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 응결시간은 가장 지연되는 것으로 측정되었다. 즉, 초결이 18:40(hr:min), 종결이 22:30으로 나타났으며, 반면에 3성분계 시멘트의 경우에는 초결이 16:30, 종결이 19:20으로 약간 빠른 경향을 보였다.

특히, 초결이 7:45, 종결이 10:30인 일반 콘크리트와 비교해 볼 때, 고유동 콘크리트의 응결시간이 매우 지연되는 것을 알 수 있다. 이는 시멘트의 수화속도, 석회석 미분말의 치환율 및 고성능 AE감수제의 사용에 따른 영향으로 사료된다.¹⁾

따라서, 고유동 콘크리트의 적용을 위하여 거푸집 설계를 할 경우에는 초기에 액압으로 간주하는 것도 중요하지만, 응결시간에 따라 거푸집에 應力이 작용하는 시간도 함께 고려해야 할 것으로 사료된다.

2.2 블리딩

[그림 2]은 보통 포틀랜드 시멘트에 플라이 애쉬를 사용한 분체계 고유동 콘크리트와 3성



(그림 2) 사용재료에 따른 고유동 콘크리트의 블리딩량

분계 및 벨라이트계 시멘트를 각각 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 블리딩량을 측정 한 결과이다.

플라이애쉬를 사용한 분체계 고유동 콘크리트의 블리딩량이 가장 큰 것으로 측정되었다. 즉, 플라이애쉬를 사용한 분체계 고유동 콘크리트의 블리딩량은 $0.27\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이고 종료시간은 7시간으로 나타났으며, 벨라이트계의 블리딩량은 $0.14\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이고 종료시간은 8시간이며, 3성분계의 블리딩량은 $0.18\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이고 종료시간은 7.5시간으로 측정되었다.

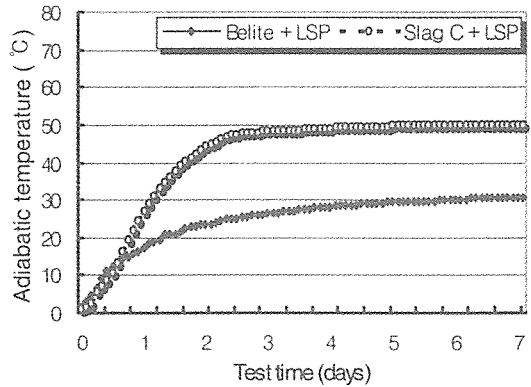
이는 시멘트 및 사용된 분체의 종류, 고성능 AE감수제의 사용량에 따른 영향도 있지만, 증점제를 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 경우에는 점성이 안정적으로 유지되기 때문에 블리딩량의 억제효과도 있는 것으로 사료된다.

그러나, 대부분의 실험결과는 日本 建築學會의 건축공사 표준 사양서(JASS-5)에서 제시한 기준($0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 이하)을 만족하는 것으로 나타났다.

2.3 수화열

[그림 3]은 3성분계 및 벨라이트계 시멘트를 각각 사용한 병용계 고유동 콘크리트에 대한 단열온도 상승시험의 측정결과를 나타낸 것이다.

일반적으로 콘크리트의 단열온도 상승량은 단위시멘트량에 비례하기 때문에, 이를 저감시키기 위하여 본 실험에서는 고로슬래그 시멘트 및 벨라이트 시멘트에 각각 석회석 미분



[그림 3] 병용계 고유동 콘크리트의 단열온도 상승시험

말을 사용하였다.

실험결과, 벨라이트계 시멘트(Belite+LSP)를 사용한 병용계 고유동 콘크리트의 단열온도는 3성분계 시멘트(Slag C+LSP)에 비해 매우 낮게 측정되었다.

이는 벨라이트계 시멘트가 수화열이 높은 C_3A 및 C_3S 의 함량이 적고, 수화열이 낮은 C_2S 의 함량이 많기 때문이다. 또한, 3성분계의 경우에는 석회석 미분말의 치환율이 13.5%인 반면에 벨라이트계는 석회석 미분말의 치환율이 42.7%로 매우 높기 때문에, 단열온도 상승량이 낮게 나타났다.

여기서, 단열온도 상승시험에서 측정된 실험결과는 [표 1]과 같다.

분체계 및 병용계 고유동 콘크리트의 단열온도 상승시험 결과를 비교해 볼 때, 단열온도 상승량(K)은 3성분계 > 분체계 > 벨라이트계 순으로 나타났으며, 온도상승 속도를 나타내는 정수(α)는 분체계 > 3성분계 > 벨라이트계

[표 1] 고유동 콘크리트의 단열온도 상승시험 결과

구 분	배합조건 (%)				측정결과			비 고
	W/C	W/B	Gv	Sr	$K(^{\circ}\text{C})$	α	β	
3성분계	41.0	35.5	53	47	49.9	0.62	2.05	Slag cement+LSP(13.5%)
벨라이트계	51.0	29.2	53	43	30.8	0.42	1.17	Belite cement+LSP(42.7%)
분체계	53.0	37.0	51	47	49.1	0.64	2.75	OPC+Fly ash(30%)

순으로 나타났다.

이는 시멘트의 종류 및 단위 시멘트량에 따른 영향으로 사료되며, 벨라이트 시멘트를 사용한 병용계 고유동 콘크리트가 수화열 저감에 대해 가장 우수한 것을 알 수 있다. 또한, 고로슬래그 미분말과 보통 포틀랜드 시멘트를 혼합한 고로슬래그 시멘트에 석회석 미분말을 사용한 3성분계는 플라이애쉬를 사용한 2성분계와 유사한 단열온도 상승량을 나타내었다.

특히, 잠재수경성이 없는 석회석 미분말은 고유동 콘크리트의 단열온도 상승량(K) 및 수속도(α)를 거의 직선적으로 감소시키는 효과가 있기 때문에, 강도발현을 고려하여 치환율을 높이는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3. 병용계 고유동 콘크리트의 역학적 특성

3.1 강도특성

병용계 고유동 콘크리트의 강도특성은 사용된 결합재의 종류 및 물/결합재비에 따라 다르다. 콘크리트의 압축강도는 경화 콘크리트의 가장 기본적인 성질이기 때문에, 사용할 재료로 시험배합을 실시하여 요구강도가 얻어질 수 있는지 확인해야 하며 시멘트/물비의 線型關係를 이용하여 최종적으로 만족하는 시멘트/물비를 정해야 한다.

압축강도 외에 인장강도 및 탄성계수는 일반 콘크리트와 마찬가지로 압축강도의 관계에서 추정할 수 있지만, 고유동 콘크리트는 자기충전성의 관점에서 굽은골재량을 감소시켰기 때문에 탄성계수가 일반 콘크리트에 비해 낮은 경우도 있다. 따라서, 중요한 구조물일 경우에는 시험을 통해 탄성계수, 크리프 등과 같은 역학적 특성을 반드시 확인해야 한다.

3.2 동결융해 저항성

일반적으로 콘크리트의 동결융해 저항성에 영향을 미치는 요인은 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 경화체의 내부에 물이 침투할 수 있는 공극의 여부
- (2) 硬化體에 침투한 물이 동결될 때, 膨脹應力에 저항할 수 있는 조직의 여부
- (3) 팽창응력을 緩和시킬 공극의 여부

이러한 요인중에 (1)과 (2)는 콘크리트 조직의 밀실화, 즉 물/결합재비와 밀접한 관계가 있으며, (3)은 콘크리트 내부에 직경이 10~90 μm 인 세공량, 즉 연행된 공기량과 관계가 있다. 따라서, 콘크리트의 동결융해 저항성은 주로 물/결합재비 및 연행 공기량에 의해 결정된다.

병용계 고유동 콘크리트에서도 이러한 원칙이 적용되기 때문에, 일반적으로 물/결합재비가 낮을수록 동결융해 저항성이 높아진다. 따라서, 물/결합재비가 낮을수록 동일한 동결융해 저항성을 확보하는데 요구되는 공기량은 적어지는 경향이 있으며, 특히 물/시멘트비가 30%일 경우 공기량 2%이하에서도 양호한 동결융해 저항성을 갖는 것으로 나타났다.²⁾

100nm~1 μm 의 모세관 공극에 존재하는 물은 동결팽창에 의해 경화체 조직을 파괴하지만, 고로슬래그 미분말을 사용할 경우에는 고로슬래그 미분말의 수경반응에 의해 이러한 공극이 수화물로 충전되기 때문에, 일반적인 치환율 범위에서 시멘트만 사용한 콘크리트에 비해 동결융해 저항성은 같거나 우수하다.

또한, 플라이애쉬를 치환하면, 고로슬래그 미분말과 마찬가지로 비교적 큰 모세관 공극을 충전하는 효과도 있지만, 플라이애쉬의 활성도가 낮을 경우에는 주의해야 한다.

석회석 미분말을 치환할 경우에도 물/결합재비가 낮아질수록 동결융해 저항성은 개선된다. 또한, 동결융해 저항성은 동결초기의 콘크

리트 강도와 매우 밀접한 관계가 있기 때문에, 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬 등과 같이 초기강도 발현이 지연되는 혼화재를 사용할 경우에는 초기의 양생관리에 유의해야 한다.

특히, 병용계 고유동 콘크리트는 고성능 AE감수제와 증점제의 적합성을 검토해야 하며, 이러한 혼화제의 적합성이 콘크리트의 동결융해 저항성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 사전에 동결융해시험을 실시해야 하며, 펌프압송후의 유동과정에서 기포의 안정성에 미치는 영향도 검토해야 할 것으로 사료된다.

3.3 알칼리-골재반응

병용계 고유동 콘크리트는 포졸란 재료 및 고로슬래그 미분말을 사용하기 때문에 알칼리-골재반응을 억제하는 효과가 있을 것으로 평가된다. 그러나, 단위시멘트량이 높은 고유동 콘크리트에 반응성 골재를 사용하면 알칼리-골재반응이 일어날 위험성이 높아지기 때문에, 무해한 것으로 판정된 골재를 사용해야 한다.

3.4 내산성 및 내해수성

고유동 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 콘크리트내의 수화물 조직이 치밀하지만, 정량적으로 나타내기 어렵다. 따라서, 일반 콘크리트와 마찬가지로 물/결합재비의 최대값은 [표 2]를 표준으로 한다.³⁾

SO₄로 0.2%이상의 硫酸鹽을 함유한 흙과

[표 2] 해양조건에서 고유동 콘크리트의 최대 물/결합재비(%)

시공조건 환경구분	일반 현장시공	공장제품 또는 동등조건
(a) 海上大氣中	45	50
(b) 飛沫帶	45	45
(c) 海中	50	50

물에 접하는 고유동 콘크리트에 대해서는 [표 1]의 (c)에 물/결합재비(50%) 이하로 선정해야 한다.

3.5 건조수축

고유동 콘크리트의 수축은 건조수축과 자기수축으로 나눌 수 있지만, 현재는 이에 대한 충분한 조사방법이 없기 때문에 각각의 수축을 조사하는 방법을 사용해야 한다. 콘크리트의 乾燥收縮은 “모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험법”에 따르거나 “콘크리트의 건조수축 균열시험법” 또는 일본 콘크리트학회(JCI)의 초유동 콘크리트 연구위원회가 제안한 “고유동 콘크리트의 건조수축 균열시험방법-전기식 변형게이지법”을 사용하면 보다 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있다.⁴⁾

콘크리트의 자기수축은 JCI의 초유동 콘크리트 연구위원회가 제안한 “고유동 콘크리트의 자기수축 시험방법”이 있으나, 이에 따른 자료축적이 필요하다.

고유동 콘크리트가 응결하여 경화될 때, 수축에 의한 변형의 완화성상이 일반 콘크리트와 다를 경우에는 콘크리트내부에 축적되는 변형의 차이가 발생하기 때문에, 경화후의 건조수축 변형에 대해 큰 차이가 없는 것으로 균열의 억제성능을 평가하는 것은 매우 위험하다.

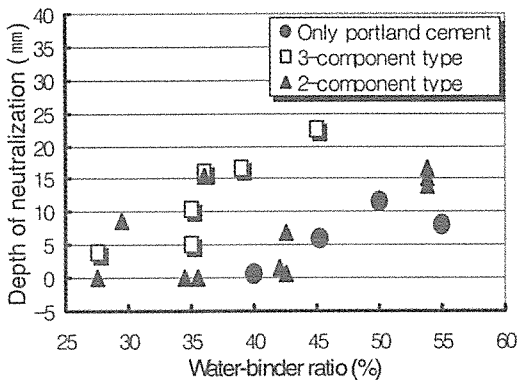
또한, 온도변형도 동일한 관점에서 고려해야 할 것이다. 즉, 溫度應力과 아울러 自己收縮에 의한 自己應力을 평가하는 것이 필요하다. 따라서, 균열의 억제성능에 대한 조사는 기존방법 및 새로운 시험방법을 병행하는 것이 바람직하다.

3.6 중성화

고유동 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해

물/시멘트비가 낮고, 단위결합재량이 많기 때문에 내부 매트릭스의 조직이 密室하여 鋼材의 부식을 방지할 수 있지만, 혼화재를 많이 사용하기 때문에, 이에 따른 부식성능에 주의해야 한다.

고로슬래그 미분말의 치환율이 70%정도일 경우, 2성분계 및 3성분계 고유동 콘크리트에 대한 중성화 깊이는 [그림 4]에 나타난 바와 같이 일반 콘크리트에 비해 현저히 증가되는 것으로 나타났다.⁵⁾



(그림 4) 물/결합재비에 따른 촉진중성화 시험결과

고로슬래그 미분말을 사용하면, 슬래그의 잠재수경성에 의해 장기재령에서 콘크리트의 조직이 밀실하게 되어 탄산가스, 염화물 이온의 침입에 대한 저항성이 우수해지기 때문에 내구성을 향상시킬 수 있다.⁶⁾ 그러나, 콘크리트 내부에 존재하는 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)은 고로슬래그 미분말이 수화할 때에 소비되어 알칼리성이 저하되기 때문에 중성화 속도가 증가될 수 있다.

특히, 플라이애쉬를 사용한 경우에는 고로슬래그 미분말에 비해 알칼리의 소비량이 더 큰 것으로 나타났는데, 이는 플라이애쉬의 활성도가 낮아 수화하는데 장기간이 요구되기 때문이다. 따라서, 고유동 콘크리트에 플라이애쉬를 다량으로 사용할 경우에는 초기의 콘

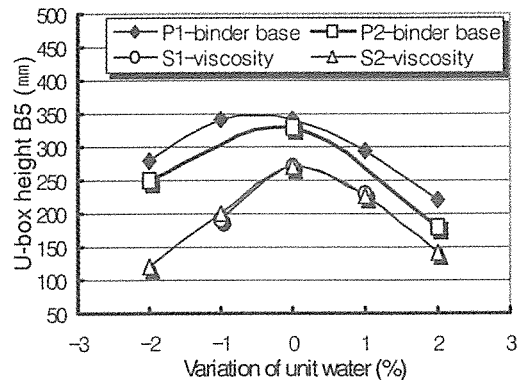
크리트 조직이 거칠어 강재를 부식시킬 우려가 있기 때문에, 물/결합재비를 낮추고 초기의 양생관리에 유의해야 할 것으로 사료된다.

4. 고유동 콘크리트의 품질관리

4.1 재료의 품질변동에 따른 품질관리

[그림 5]는 단위수량의 변동이 고유동 콘크리트의 충전성 및 유동성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여, U형 Box 충전성 높이를 측정 한 결과이다.

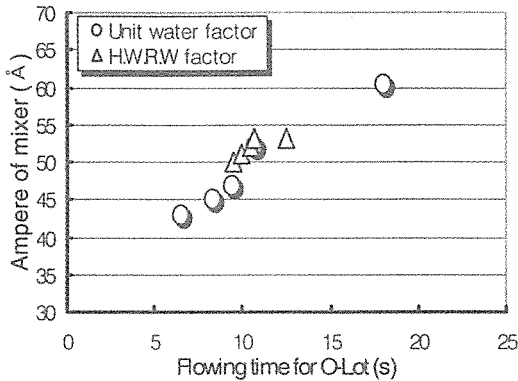
실험결과, 표면수율 1%오차(단위수량 7~9kg/m³)에 대해 U형 Box 충전성 높이는 30~200mm범위로 저하되었다. 특히, 골재의 표면수율 변동은 초기에 가장 큰 것으로 나타났기 때문에, 골재의 표면수율을 안정화시키기 위한 방안으로 골재의 저장일수를 충분히 늘리던가 遠心力에 의한 수분안정화 장치를 설치해야 한다.



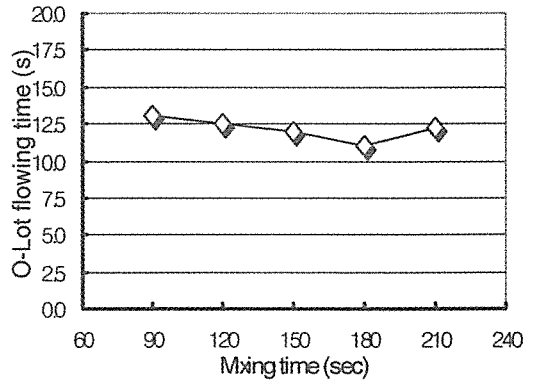
(그림 5) 단위수량의 변동에 따른 box 충전성 높이

4.2 제조에 따른 품질관리

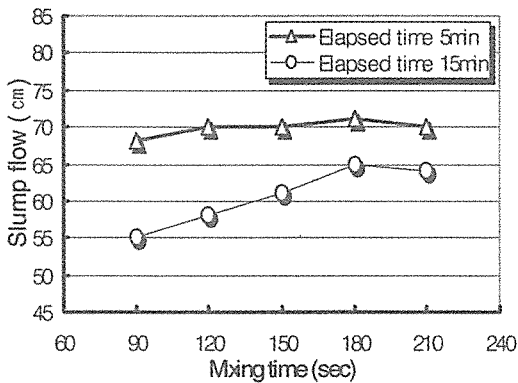
[그림 6]는 믹서부하(전류값과 토오크)가 고유동 콘크리트의 O형 깔대기 유하시간에 미



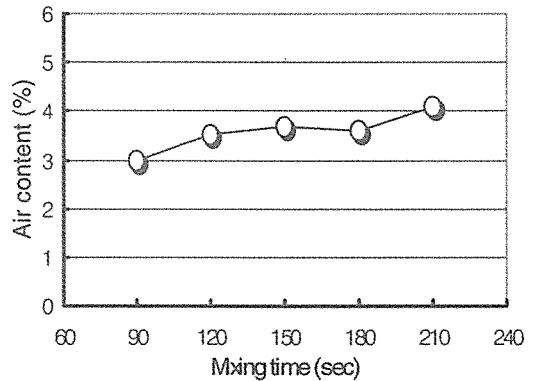
(그림 6) 믹서부하에 따른 O형 깔대기 유하시간



(그림 7) 배합시간에 따른 O형 깔대기 유하시간



(그림 8) 배합시간에 따른 슬럼프 플로우



(그림 9) 믹서의 배합시간에 따른 공기량

치는 영향을 고찰한 것이다.

또한, [그림 7] 및 [그림 8]은 배합시간에 따른 고유동 콘크리트의 流動特性을 나타낸 것이며, [그림 9]는 공기량에 대한 실험결과를 나타낸 것이다.

측정결과, 최종 부하전류에 따른 O형 깔대기 유하시간은 거의 비례하기 때문에, 믹서부하로 고유동 콘크리트의 變形性을 관리할 수 있을 것으로 사료된다.

또한, 배합시간이 증대될수록 배합직후의 슬럼프 플로우가 증대되는 반면에 경시변화에 따른 손실은 작은 것으로 나타났으며, 공기량은 약간 증대하는 경향이 있지만 압축강도의 영향은 거의 없었다.

따라서, 믹서에서의 배합시간은 품질에 직접적으로 영향을 미치기 때문에, 사전에 시험 배합을 실시하여 적합한 배합시간을 선정하는 것이 바람직하다.

4.3 운반에 따른 품질관리

4.3.1 운반에 따른 관리사항

고유동 콘크리트도 일반 콘크리트와 마찬가지로 트럭 에지테이터를 사용하여 타설될 현장으로 운반한다. 물론, 고유동 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 운반시의 진동에 의해 굽은골재의 침하가 우려되지만, 지금까지의 시공사례에서 보면 큰 영향이 없는 것으로 나타

났다.

또한, 일반 콘크리트는 배합에서 타설종료까지의 시간한계가 원칙적으로 외기온이 25℃ 이상일 때 1.5시간, 25℃이하일 때 2시간을 초과할 수 없지만, 고유동 콘크리트는 굳지 않은 콘크리트의 품질이 시공성, 구조물의 내구성 등에 큰 영향을 미치기 때문에, 경시변화에 따른 콘크리트의 품질을 충분히 검토하여 가능한 한 짧은 시간에 타설하는 것이 바람직하다.

시공사례를 통해 고찰한 운반에 따른 관리 항목은 다음과 같다.⁷⁾

- (1) 연속타설에 따른 콘크리트 수량을 고려한 에지테이터의 댓수 설정
- (2) 콘크리트의 可使時間 설정
- (3) 타설한도 시간의 설정
- (4) 콘크리트 도착 후부터의 타설개시 시간의 설정

4.3.2 운반에 따른 유의사항

고유동 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 단위 굵은골재량이 적기 때문에 에지테이터로 운반할 때 재료분리가 발생할 가능성이 높다. 특히, 재료분리가 발생한 고유동 콘크리트는 에지테이터에서 배출될 때 모르타르 부분이 먼저 배출되고 굵은골재 부분이 나중에 배출되는 경향이 있기 때문에, 펌프압송성 및 자기충전성에 영향을 미친다.

따라서, 고유동 콘크리트를 에지테이터로 운반할 경우에는 여러 가지 조건에 따른 콘크리트의 품질변화를 사전에 파악하는 것이 바람직하다. 경시변화에 따른 고유동 콘크리트의 품질변화는 사용된 결합재 및 고성능 AB감수제의 종류에 따라 다르며, 같은 배합조건에서도 외기온에 따라 다르기 때문에, 시공시기를 고려하여 운반시간에 따른 품질변화를 사전에 충분히 파악해야 한다.

4.4 고유동 콘크리트의 시험항목

현장에서 실시하는 일반 콘크리트 및 고유동 콘크리트의 일반적인 품질관리 시험항목은 [표 3]과 같다.

[표 3] 고유동 콘크리트의 현장 품질관리 시험항목

시험항목	일반 콘크리트	고유동 콘크리트
(a) 시공성 (충전성)	슬럼프	- 유동성 : 슬럼프 플로우, L형 플로우 - 분리저항성 : V 또는 O형 깔대기 유하시간 - 간극통과성 : U형 Box 충전성 시험장치
(b) 강도	압축강도 (계령은 91일 기준)	
(c) 내구성	공기량, 염화물 함유량	

고유동 콘크리트의 강도 및 내구성에 대한 시험항목은 일반 콘크리트와 같지만, 시공성은 무다짐(No-vibrating) 작업을 전제로 하기 때문에 일반 콘크리트와 다르다. 즉, 일반 콘크리트는 워커빌리티 측면에서 슬럼프 시험이 필요하지만, 고유동 콘크리트는 유동성, 분리저항성 및 자기충전성이 요구되기 때문에 충전성이 매우 중요한 항목이다.

자기충전성은 사용재료 및 배합조건에서 정한 유동성, 분리저항성, 간극통과성 등과 같은 요구품질과 부재의 형상, 치수, 배근조건 등과 같은 시공조건에 의해 결정되지만, 본 장에서는 주로 要求品質에 대한 사항을 정리하고자 한다.

4.4.1 고유동 콘크리트의 요구품질

고유동 콘크리트의 충전성은 주로 유동성, 분리저항성, 간극통과성으로 평가하며, 유동성은 자중에 의한 변형·유동을 나타내는 특성으로 슬럼프 플로우, L형 플로우 시험에 의한 유동거리로 평가한다. 또한, 분리저항성은 모르타르의 점성에 좌우되는 특성으로 V형 깔대기 유하시간을 측정하여 평가한다. 즉, 모르타르의 점성차이에 따른 콘크리트의 점성을

평가하는 것이다.

간극통과성은 철근 및 거푸집 간극의 통과 성능을 평가하는 것으로, L형 플로우 및 U형 box 충전시험을 이용하여 철근간극의 통과 성능을 측정하여 평가한다.

따라서, 구조물에 요구되는 요구품질을 선정하여, 이에 적합한 고유동 콘크리트의 재료 및 배합조건을 시험으로 고찰해야 할 것으로 사료된다.

4.4.2 고유동 콘크리트의 시험방법에 대한 개선사항

고유동 콘크리트는 주로 다짐이 어려운 부재 또는 지하연속벽과 같은 특수조건에 사용되며, 시공사례도 증가하는 추세에 있다. 따라서, 이에 대한 시험방법을 정량화·간략화하는 방안이 필요하다. 지금까지 고유동 콘크리트와 관련된 시험방법을 토대로 향후 개선시켜야 할 사항을 정리하면 다음과 같다.

(1) 시험방법의 확립과 기준값의 설정

고유동 콘크리트의 자기충전성을 적절하게 평가할 수 있는 시험방법과 시공조건에 맞는 기준값의 설정이 필요하다.

(2) 전량 검사방법의 확립

고유동 콘크리트는 일반 콘크리트와 같이 진동다짐으로 다짐정도를 조정하는 것이 어렵기 때문에, 자기충전성을 만족하지 않는 고유동 콘크리트가 타설될 경우에는 대책이 없다. 그렇지만, 현장에 고유동 콘크리트를 시공하면서 요구품질을 전량으로 확인하는 것은 불가능하다. 특히, 콘크리트의 품질은 소량의 시료를 채취하여 평가하기 때문에, 배치내의 모든 품질을 나타내는 것은 아니다.

같은 배치내에서도 콘크리트의 품질이 다른 경우도 있기 때문에, 고유동 콘크리트의 요구

품질을 대표할 수 있는 검사방법이 확립되어야 한다.

(3) 불량품에 대한 대처방안

현장에 반입된 고유동 콘크리트가 요구품질을 만족하지 못한 경우에는 폐기하는 것을 원칙으로 한다. 그러나, 불량품이 출하된 경우에도 자원의 유효이용, 폐기물의 저감이라는 관점에서 이용할 수 있는 방안을 검토하는 것도 중요한 과제이다.

예를 들면, 콘크리트의 충전성이 부족한 경우에는 고성능 AE감수제를, 과대한 경우에는 증점제를 후첨가하여 요구품질을 만족시키는 방안이 필요하다. 이때, 콘크리트의 품질을 조기에 판정할 수 있도록 고성능 AE감수제 또는 증점제를 후첨가하기 전·후의 품질에 대해 판정할 수 있는 시험방법 및 사용량의 증대에 따른 콘크리트의 품질변동을 파악할 필요가 있다.

(4) 과잉강도에 대한 강도관리와 설계반영

고유동 콘크리트는 자기충전성을 목표로 정한 배합조건이기 때문에, 일반 콘크리트에 비해 결합재량이 많고 배합조건도 매우 다르다. 따라서, 고유동 콘크리트는 설계상에 요구되는 강도보다 높은 강도발현을 하는 경우가 많다.

일반 콘크리트는 배합강도가 설계기준강도 이하로 되는 확률을 정하고 이에 따른 강도관리를 실시하지만, 고유동 콘크리트는 굳지 않은 콘크리트의 요구품질을 먼저 확보한 후에 실제의 강도분포를 고려하여 강도관리를 실시하는 방안이 필요하다.

4.5 펌프압송에 따른 품질관리

고유동 콘크리트는 점성이 높기 때문에, 펌프압송에 의한 압송부하 및 압력손실이 높을

것으로 예상된다. 시공사례에 따르면, 고유동 콘크리트의 압송부하는 일반 콘크리트와 같거나 5배 이내의 범위에서 증대되며, 점성이 높을수록 압력손실이 증대된다.⁸⁾ 그러나, 고유동 콘크리트의 컨시스턴스와 압송부하의 관계는 아직 정량적으로 평가하기 어렵다.

일반 콘크리트에서 슬럼프로 최대 압송부하를 예상하는 것처럼 고유동 콘크리트에서도 굳지 않은 콘크리트의 요구품질과 압력손실의 관계를 정량적으로 평가할 수 있다면, 펌프기종의 선정 및 配管計劃 등을 세우는데 유용할 것이다.

4.5.1 고유동 콘크리트의 압송부하에 대한 정량화

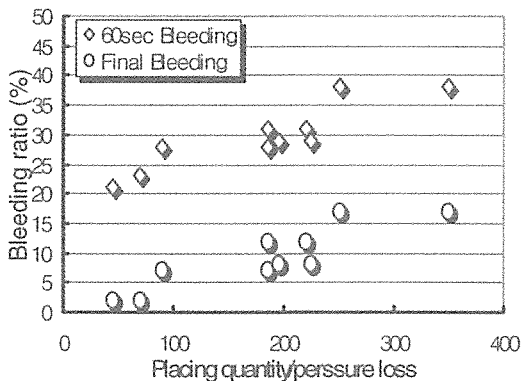
(1) 가압 블리딩율과 타설량 및 압력손실의 관계

[그림 10]은 가압 블리딩율과 타설량 및 압력손실의 관계를 나타낸 것이다.⁹⁾

가압 블리딩율은 60초 및 最終 脫水率로 구분할 수 있지만, 최종 탈수율을 자료로 활용하는 것이 바람직하다.

(2) V형 깔대기 유하시간과 압력손실의 관계

V형 깔대기 유하시간과 압력손실은 매우 밀



[그림 10] 고유동 콘크리트의 타설량/압력손실과 가압 블리딩율

접한 상관성을 갖는다. 즉, V형 깔대기 유하시간이 크면(즉, 점성이 높으면) 동일한 토출량의 조건에서 관내압력 및 압력손실은 증가된다. 이를 이용하면 고유동 콘크리트의 펌프압송을 위한 펌프기종에 따른 한계압송거리를 추정할 수 있을 것이다.

(3) 빙함유체의 특성값(항복값, 소성점도)을 이용한 압력손실 예측

빙함유체를 관내에 압송할 경우, 압력손실과 유량의 관계는 빙함유체의 특성값인 항복값 및 소성점도를 고려한 Buckingham-Reiner식으로 나타낸다. 슬럼프 플로우로 환산한 항복값 및 깔대기 유하시간으로 환산한 소성점도를 이용하여, 이러한 이론식으로 고유동 콘크리트의 관내유동을 해석할 수 있다.

총유량에 대한 빙함유체의 비율을 추정한 후, 빙함유체의 압력손실을 이용하여 관내의 압력분포를 예측한 결과는 실측값과 매우 일치하는 것을 확인하였다.¹⁰⁾

4.5.2 압송에 따른 고유동 콘크리트의 특성

(1) 슬럼프 플로우

펌프압송에 따른 고유동 콘크리트의 슬럼프 플로우는 일반적으로 감소되는데, 이는 펌프 압송시의 가압에 의해 물과 페이스트의 분리에 의한 것으로 사료된다. 또한, 점성이 높은 콘크리트일수록 슬럼프 플로우의 감소는 줄어들며, 압송 콘크리트의 경시변화에 따른 영향도 있는 것으로 나타났다.

따라서, 압송후의 슬럼프 플로우를 확보하기 위해서는 증점제를 첨가하고 사전에 슬럼프 플로우를 높게 설정할 필요가 있다.

(2) V형 깔대기 유하시간

증점제계 고유동 콘크리트는 펌프압송에 따른 V형 깔대기 유하시간의 변화가 크지 않지

만, 분체계 고유동 콘크리트는 2~3초 감소하는 경우와 3초 정도 증가한 경우도 있다. 또한, 깔대기 유하시간으로 소성점도를 산정한 연구 결과에 따르면, 펌프압송에 의한 소성점도는 저하되는 것으로 나타났다.

(3) 50cm 플로우 도달시간

분체계 고유동 콘크리트는 펌프압송에 따른 50cm 플로우 도달시간이 약간 감소하는 것으로 나타났다.

(4) 공기량

펌프압송에 따른 고유동 콘크리트의 공기량 변화는 시공사례에 따라 다르지만, 약간 증가하는 경우가 많다. 공기량이 증가하는 요인은 펌프압송시의 공기함유에 따른 것으로 알려져 있다. 또한, 고유동 콘크리트를 펌프압송할 경우의 함유공기는 양뿐 만 아니라 세공직경의 용적분포와 기포간극계수도 변화한다.

(5) 압축강도

펌프압송에 따른 콘크리트의 압축강도는 거의 차이가 없지만, 강도편차는 증가되는 것으로 나타났다. 또한, 압송후의 중성화 깊이는 약간 증가하는 것으로 나타났으나, 동결융해에 대한 시험결과는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

4.6 타설에 따른 품질관리

고유동 콘크리트의 현장타설에 있어서 품질 관리에 미치는 영향은 다음과 같다.

4.6.1 유동거리 및 유동구배

고유동 콘크리트를 현장에 타설할 때, 재료 분리가 발생하지 않고 유동할 수 있는 거리는 동일한 배합조건에서도 구조물의 형상·크기,

배근조건 등에 따라 다르지만, 실대시험의 결과를 보면 타설지점에서 16m 지점에서도 굽은골재의 분리가 발생하지 않았다.¹¹⁾

또한, 길이가 27m인 벽체의 경우, 타설구에서 12m 지점에서는 재료분리가 없었지만, 21m지점에서는 굽은골재량이 약간 감소되었으며, 강도 및 탄성계수도 약간 감소되는 것으로 나타났다.

슬럼프 플로우가 65cm 정도인 고유동 콘크리트를 길이 15m, 폭 50cm의 무근 거푸집에 유동시킨 실험에서 타설속도가 30m³/hr인 경우에 1/25구배로 유동되며, 유동정지후의 구배는 1/100로 되었다. 한편, 벽체의 경우, 0-18m구간에서의 유동구배는 약 1/10, 18-27m구간에서는 약 1/15로 나타났다.

4.6.2 타설높이 및 타설속도

고유동 콘크리트의 타설높이는 일반 콘크리트에 비해 증대되며 높이 8m에서도 충분히 시공할 수 있다. 그러나, 타설부위에 먼저 타설된 콘크리트가 없거나 철근이 조밀하게 배근된 경우에는 굽은골재의 분리가 발생할 수도 있다. 한편, 타설높이를 증대시키면 공기함유로 인하여 표면기포가 발생할 수 있기 때문에 유의해야 한다.

타설속도는 전체적으로 볼 때 일반 콘크리트에 비해 낮다. 이는 기본적으로 다짐을 하지 않고 콘크리트 自重으로 충전시켜야 하기 때문에, 타설속도와 자기충전 속도를 일치시켜야 한다. 시공사례에 따르면, 고유동 콘크리트의 타설속도는 10-20m³/hr가 전체의 1/3을 차지하고 있다.

4.7 마감·양생·이어치기에 따른 품질관리

4.7.1 마감에 따른 품질관리

고유동 콘크리트는 일반적으로 점성이 높고 블리딩이 적기 때문에 일반 콘크리트에 비해 표면마감이 어려울 뿐만 아니라, 표면의 급격한 건조에 따라 소성수축 균열이 발생할 수 있으므로 早期乾燥를 방지하면서 시공하는 것이 중요하다.

또한, 응결이 진행되면 골재를 누르기가 어려워 마감작업이 곤란하기 때문에, 콘크리트의 점성, 마감면의 구배, 표면형상 등을 고려하여 조기마감을 하는 것이 효과적인 경우도 있다.

일반 콘크리트의 경우, 타설이 완료된 콘크리트는 블리딩이 거의 종료된 후에 표면을 마감하기 때문에 마감완료에 많은 시간이 필요하지만, 고유동 콘크리트에서는 마감작업을 하기 어렵지만 조기마감이 가능하므로 콘크리트의 제품 등에서는 제조공정의 단축이 가능하다.

고유동 콘크리트의 표면성상은 일반적으로 표면불량 및 곰보 등이 없어 양호하지만, 타설할 때 함유되는 기포가 표면에 남기 쉬우므로 미관상 표면기포에 대한 대책이 필요하다.

4.7.2 양생에 따른 품질관리

고유동 콘크리트는 블리딩이 거의 없고 표면건조가 빠르기 때문에, 타설 직후에 양생을 실시하는 것이 중요하다. 균일하게 마감한 직후에 살수양생을 실시하더라도 페이스트의 점성 때문에 양생수에 시멘트가 용출되지는 않는다.¹²⁾

따라서, 구조물의 종류, 타설시기에 따라 다르지만, 3~7일간 습윤양생을 실시하여 건조수축 균열이 발생하지 않도록 한다.

4.7.3 이어치기에 따른 품질관리

고유동 콘크리트는 비해 블리딩 및 골재의 침강이 없기 때문에, 먼저 타설된 콘크리트와

부착강도를 확보하기 쉬울 뿐만 아니라, 타설 이음부를 별도로 처리하지 않더라도 표면처리한 일반 콘크리트에 비해 이어치기 면의 품질 관리가 쉽다.

또한, 고유동 콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 응결시간이 길기 때문에, 이어치기 간격이 길어질 경우에도 이음부에 콜드조인트가 발생하지 않는다. 즉, 고유동 콘크리트 이어치기 또는 고유동 콘크리트 위에 일반 콘크리트를 이어치기할 경우, 이어치기의 시간이 10시간 정도 경과하더라도 휨(인장)강도비는 0.7 이상이며, 이는 일반 콘크리트가 3시간 후에 0.7~0.8정도인 것과 동일하다. 특히, 이어치기에 따른 고유동 콘크리트의 품질관리를 위해서는 먼저 타설된 콘크리트의 표면이 건조되지 않도록 양생하는 것도 매우 중요하다.

4.8 경화후의 품질에 대한 조사방법

[표 4]는 경화된 고유동 콘크리트의 요구품질과 품질에 영향을 미치는 배합요인, 요구품질의 기본값 및 조사방법에 대하여 정리한 결과이다.

일반적으로 분체계 고유동 콘크리트는 시멘트 외에 플라이애쉬, 고로슬래그 미분말 및 석회석 미분말과 같은 분체를 다량으로 사용하지만, 보통 콘크리트와 마찬가지로 물/시멘트비와 강도관계를 적용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

그러나, 장기재령에 있어서는 물/결합재비와의 관계도 중요하기 때문에 함께 적용하는 방안도 필요하며, 기존의 자료가 없을 경우에는 시험으로 확인하는 것이 바람직하다.

또한, 균열제어를 위한 역학적 시험도 병행하여 최적배합 조건을 선정하는 것이 매우 중요하다.

5. 맺음말

지금까지 분체계, 증점계 및 병용계 고유동 콘크리트의 특성에 대하여 정리하였다. 현재, 국내에서 사용되고 있는 고유동 콘크리트는 거의 대부분 플라이애쉬를 사용한 분체계 고유동 콘크리트로 조사되었지만, 결합재량의

증대에 따른 수화열 관리, 수축성, 중성화 속도 및 공기량 흡착성능 등과 같은 문제점으로 사료된다.

강도발현 측면에서 볼 때, 분체계 고유동 콘크리트는 결합재량의 증대로 인하여 높은 강도를 발현하기 때문에, 비경제적인 것으로 나타났다. 따라서, 강도범위의 범용화를 위하여 증

(표 4) 경화 콘크리트의 품질에 대한 조사방법

요구품질		배합요인	일반콘크리트		고급 콘크리트	
			기준값	조사방법	기준값	조사방법
강도 및 역학적 특성	응결특성	- 결합재량 · 종류 - 온도	시공에 적합한 값	기존자료	시공에 적합한 값	필요시 시험확인
	압축강도	- 물/결합재비(W/B)	소요강도	시험확인	소요강도	시험확인
	인장강도	- 물/결합재비(W/B)	소요강도	압축강도로 추정	소요강도	시험확인
	휨강도	- 물/결합재비(W/B)				
	탄성계수 크리프	- 물/결합재비(W/B) - 단위굵은골재량	-	-	소요품질	시험확인 압축크리프
내구성	동결융해	- 물/결합재비(W/B) - 공기량	- 최대W/B - Air≒4.5%	- 배합검토 - JIS A 1128	- 최대W/B - Air≒5.5%	- 배합검토 - JIS A 1128 - JSCE G 501
	알칼리 골재반응	- 알칼리 총량 - 골재품질, 혼화제	시방서 대책	골재시험	- DF ₃₀₀ >85% A급 골재 사용	- 화학법 - 몰탈-바법
	내산성	- 물/시멘트비(W/C)	W/B<50% 또는 45%	배합검토	W/B<50% 또는 45%	배합검토
	내해수성	- 물/결합재비(W/B)	W/B<55%	배합검토	W/B<55%	배합검토
수 밀 성		- 물/결합재비(W/B)	W/B<55%	배합검토	W/B<55%	배합검토
균열 제어 성능	건조수축	- 단위수량/ 단위굵은골재량	- 수축총량 800×10 ⁻⁶ 이하	- 단위수량 185kg/m ³ 이하 - 기존 자료로 추정	- 수축총량 800×10 ⁻⁶ 이하 - 6개월	- JIS A 1129 - JIS 原案 - 자기수축 시험 (JIS심의)
	자기수축	- 물/결합재비(W/B) - 미분말량 - 결합재의 종류				
	발열특성	- 단위시멘트량 - 시멘트 종류	- 균열지수 1.2이상	- 단열온도상 승식 추정 - 응력해석	- 균열지수 1.5이상	- 단열온도 상승시험 - 응력해석
강재 보호 호성능	중성화	- 단위시멘트량 - 시멘트의 종류	W/B<60%	배합검토	- W/B<50% - 촉진중성화 깊이<25mm	- 배합검토 - JASS 5
	염분 투과성	- 물/결합재비(W/B) - 시멘트의 종류	W/B	배합검토	W/B	배합검토
기타	단위중량	-	요구값	배합검토	요구값	중량시험

점계 고유동 콘크리트의 개발 및 실용화가 시도되었지만, 가격적인 측면에서 비경제적인 조건을 가지고 있기 때문에, 아직 현장에 적용하기에는 적절하지 않은 것으로 평가된다.

그러나, 병용계 고유동 콘크리트는 지하식 LNG 저장탱크와 같이 굴착심도가 깊고 매시브한 구조물에 반드시 필요한 성능을 만족하기 때문에, 최근에 많이 적용되고 있는 실정이다.

특히, 일반적으로 가격이 비싼 증점제량을 최소화시키고 수화열에 의한 온도균열의 방지도 효과적이기 때문에 앞으로도 많이 사용될 것으로 사료된다.^{13),14)}

따라서, 본 고에 정리한 병용계 고유동 콘크리트의 특성 및 현장의 품질관리 사항에 대하여 콘크리트 기술자들의 깊은 관심과 기술적 정보교류가 되기를 바라면서 이 글을 갈음하고자 한다.

참고문헌

- 1) 權寧鎬., “併用系 高流動 콘크리트의 配合設計 要因 및 工學的 特性에 關한 研究”, 충남대학교 건축공학과 박사학위 논문, 2001년
- 2) 添田政司·大和竹史·左東有次·江本幸雄., “高爐スラグ微粉末を用いた早強性を有する高流動コンクリートの耐凍害性に關する研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, No.1, Vol.18, 1996.6
- 3) 콘크리트標準示方書[施工編], 平成8年制定, 土木學會
- 4) “(假稱) 高流動コンクリートの乾燥收縮ひびわれ試験方法-電氣式ひずみゲージ法-”, 高流動コンクリート委員會報告書(Ⅱ), pp.211~215, 日本コンクリート工學協會, 1994.5
- 5) 宇野洋志城·中川岳·弘中義昭., “二-三成分系セメントを用いた高流動コンクリートの耐久性”, 土木學會 第50回 年次學術講演會講演概要集-第5部, pp.1110~1111, 1995.9
- 6) 高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針(案), 콘크리트ライブラリ-第86號, 1996.
- 7) 中島由貴·小島朗史·城代高明·高橋秀樹., “サンドイッチ合成構造沈埋函の高流動コンクリートの施工”, 콘크리트工學年次論文報告集, No.1, Vol.18, pp.177~182, 1996.7
- 8) 佐原晴也·竹下治之·壓司芳之·尾上修., “高流動コンクリートの高所壓送實驗”, 콘크리트工學年次論文報告集, No.1, Vol.16, pp.225~230, 1995.6
- 9) 大八木崇·峯本守·梶原雄三., “掘削覆工併進工法コンクリートの壓送性に關する研究”, 콘크리트工學年次論文報告集, No.1, Vol.17, pp.45~50, 1995.6
- 10) 竹田宣典·平田隆祥·近松龍一., “高流動コンクリートのポンプ壓送性に關する考察”, 高流動コンクリートシンポジウム論文集, pp.91~96, 1996.3
- 11) 阿部保彦·江口清·大池武., “高流動コンクリートの實大施工實驗(その7 流動距離によるコンクリートの性狀變化)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集(北海道) pp.331~332, 1995.8
- 12) 今井昌文·高橋光紀·手塚正道., “高流動コンクリートのプレキャストPC 桁への適用”, 콘크리트工學年次論文報告集, No.1, Vol.17, pp.261~266, 1995.6
- 13) 權寧鎬, 全成根, 金武漢., “LNG Tank용 超流動 콘크리트의 要求性能”, 한국콘크리트학회 봄학술발표 논문집 제11권1호, 1999.5, pp.463~467
- 14) 金武漢, 權寧鎬., “使用材料의 品質變動이 高流動 콘크리트의 特性에 미치는 影響”, 한국콘크리트학회 논문집 제12권2호, 2000.4, pp.99~107