

고유동콘크리트 개발 및 실용화를 위한 실험적 연구

- 거푸집 설계를 중심으로 -

An Experimental Study for Development and Application of High-Flow Concrete

안 상 기* 김 상 철** 엄 태 응*** 최 수 흥**** 이 두 재****
Ahn, Sang-Ki Kim, Sang-Chel Eom, Tae-Yong Choi, Soo-Hong Rhee, Doo-Jae

ABSTRACT

Due to high increase of labor charge and necessity of better quality control on concrete, various studies have been carried out to improve a flowability of concrete without the use of mechanical vibrator. As a result of enthusiastic study, one can closely access to the development of high flowable concrete in a laboratorial view.

Application to practical field, however, is still far as long as a regulation for construction is not properly specified. Based on the idea that lateral pressure measured from high flowable concrete will be larger than those from general typed concrete, we read a series of lateral pressure from mechanical pressure plate and compared those with the values calculated from specified formula.

1. 서 론

근래들어 일련의 대형붕괴사고가 발생한 이후로 콘크리트의 품질에 대해 사회적인 경각심이 일고있고, 특히 해가 다르게 인건비가 계속해서 상승하고 있어 가능한한 노동력을 줄이려는 일환으로 고성능콘크리트의 한 분야인 고유동콘크리트의 개발 및 연구가 활발히 추진중이다. 그러나 실제로 지금까지 재료개

발에는 상당한 진전을 보이고 있으나 현장실용화 측면에서는 아직 미흡한 실정이다.

고유동콘크리트의 실용화를 위해서는 먼저 콘크리트의 유동성 증가에 따른 압력분포의 정확한 예측을 하여야하고 이와 더불어 기존 공법에서 사용되고 있는 거푸집으로는 고유동 콘크리트의 측압에 대한 대비가 어려우므로, 재질이 우수하고 증가된 측압을 충분히 수용할 수 있는 새로운 거푸집 설계가 필요하다. 또한 신재료의 첨가에 따른 초기 수화발열 성상과 강도 및 내구성에 대한 검증이 뒤따라야 한다고 사료된다.

본 실험에서는 이러한 문제점들의 해결을 위하여 현장 모형 타설 부재를 대상으로 강도 및 수화열을 측정하였으며, 고유동콘크리트 타설시 계측된 측압과 콘크리트시방서에서 제시한 측압공식을 이용하여 산정한 값들과 비

- * 동아건설 기술연구소 시험실장
- ** 동아건설 기술연구소 책임연구원, 공박
- *** 동아건설 기술연구소 주임연구원
- **** 동아건설 기술연구소 연구원

교하고 구조해석을 실시하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화제

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 S사 보통포틀랜드시멘트이며, 혼화제로는 충남 보령산 플라이애쉬로써 그 화학성분 및 물리적 성질은 다음과 같다.

표 1. 시멘트 및 혼화제의 화학성분 및 물리적 성질

항목 종류	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	비중	비표면적 (cm ² /g)
시멘트	20.57	5.64	3.26	63.1	3.35	2.11	1.21	3.15	3.150
플라이애쉬	52.09	25.36	12.90	2.58	1.37	0.07	2.20	2.15	4.230
석분		0.3	0.2	54.8	0.4			3.05	#300통과

2.1.2 골재

본 실험에 사용된 굵은 골재는 최대치수가 19mm인 쇠석을 사용하였으며, 잔골재는 한강산 강모래로서 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 골재의 물리적 성질

항목	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위중량 (kg/m ³)	실적률 (%)	유기불순물
잔골재	2.61	0.79	2.88	1.625	59.8	양호
굵은골재	2.63	0.93	6.91	1.670	52.3	-

2.1.3 혼화제

폴리칼본산계 고분자 계면활성제의 성분을 가진 고성능 AE감수제를 사용하였으며, 증점제는 셀레로이스 에테르계로서 비중이 1.06±0.02인 혼화제를 사용하였다.

2.2 실험방법

모형타설 부재의 압축강도 측정을 위하여

코어를 상중하 위치별로 각 3개씩 채취하여 재령별로 측정하였고, 수화열 및 측압은 모형 타설 부재에 적정 위치를 선정하여 설치하였다. 이때 계측된 측정값은 Data Logger를 이용하여 단위구간별로 구해진 수치를 연속적으로 기록하였다.

2.3 실험용 벽체

실험용 벽체는 가로 9m, 높이 2.5m, 두께 0.3m로 기계적 진동기를 사용하지 않고 설계 강도 240kg/cm²인 고유동콘크리트로 타설하였다.

거푸집면의 두께는 10cm인 합판이고 폼 타이는 길이 3cm, 직경 3mm인 철제제품을 사용하였고, 띠장은 외경이 5cm이고, 두께가 2mm의 알루미늄 제품을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 거푸집에 작용하는 측압 및 모멘트

3.1.1 기존 측압계산 방법

콘크리트 시방서에 나타난 측압의 계산 공식은 보통 포틀랜드시멘트를 사용하고 단위중량이 2.4t/m³, 슬럼프 10cm 이하의 콘크리트에 내부 진동기를 사용하여 쳐넣었을 경우에 사용하는 식이다. 그러나 본 연구에서와 같이 고유동콘크리트를 사용할 경우 슬럼프치를 사용하지 않고 슬럼프 프로우치를 사용하므로 고유동 콘크리트의 측압 계산에 사용하는 것에 무리가 있을 것으로 사료된다.

다음의 그림 1은 보통포틀랜드 시멘트를 사용할 때 거푸집 설계에 가정하고 있는 일반적인 측압을 도시한 것이고, 표 1은 일반콘크리트 타설시 거푸집에 작용하는 최대측압공식을 나타낸 것이다.

그림 2는 경과시간에 따른 모형타설 시험에서 계측한 벽체에 걸리는 측압을 나타낸 것으로 일반적으로 타설직후에 가장 높은 측압이 발생할 것으로 예상되나 계측결과에 따르면 타설 후 1시간 경과 후에 가장 높은 측압이

표 3. 일반콘크리트의 측압 산정공식
(벽체의 경우)

타설속도	공식(콘크리트 시방서)
$R \leq 2\text{m/h}$ 일 때	$P = 0.8 + \frac{80R}{T+20} \leq 10(t/m^2)$ 또는 $2.4H(t/m^2)$
$R \geq 2\text{m/h}$ 일 때	$P = 0.8 + \frac{120+25R}{T+20} \leq 10(t/m^2)$ 또는 $2.4H(t/m^2)$

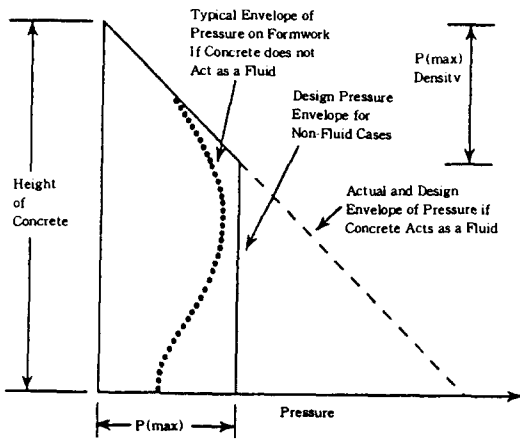


그림 1 콘크리트에 작용하는 일반적인 측압

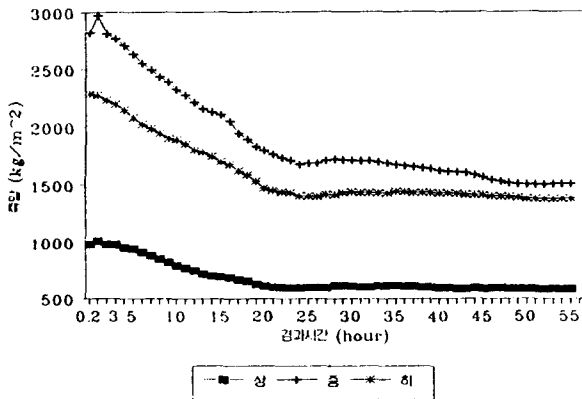


그림 2 시간대별 계측한 측압분포

발생한 것으로 나타났다.

또한 시간이 경과할수록 하부심도로 내려갈수록 측압이 급격히 떨어지나 14시간이 경과한 후부터는 그 변화폭이 감소함을 알 수 있다. 14시간 이후에도 측압이 지속적인 감소현상을 나타내고 있는 것은 콘크리트 내부에 존재하는 플라이 애쉬가 뒤늦게 수화작용을 하여 경화되면서 서서히 측압이 감소하는 것으로 사료된다.

일반설계시 최대측압이 작용하기 시작하는 위치점은 시방서에 나타낸 식을 이용하여 계산한 최대측압을 콘크리트 단위중량값으로 나누어줌으로써 산정할 수 있는데 이에 따라서 최대측압작용위치 D를 계산하면 다음과 같다

$$D = \frac{2.97}{2.4} = 1.24\text{m}$$

따라서 이값과 그림 3의 실제 계측한 최대측압에 대응하는 위치점을 비교하여 보면 작용 위치가 거의 일치하는 것으로 나타났다

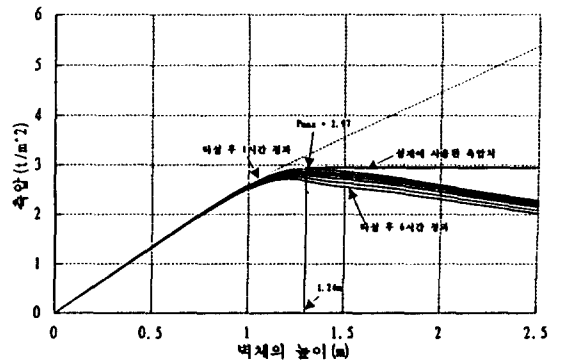


그림 3 벽체에 작용하는 측압
(계측에 의해 측정된 값)

3.1.2 구조해석방법

고유동콘크리트에 있어서는 벽체에서 계측된 최대측압을 이용하여 거푸집의 띠장에 작용하는 모멘트를 계산하였고, 또한 일반콘크

리트에 대해서는 콘크리트 시방서상에 나타난 식을 이용하여 측압값을 구한 다음 이 값을 이용하여 거푸집의 띠장에 작용하는 모멘트를 구하여 이 두값을 비교 검토 하였다.

본 연구에서 사용된 실험용 벽체의 높이는 2.5m이지만, 벽체의 높이가 증가할수록 거푸집의 띠장에 작용하는 힘은 증가할 것으로 예상되므로 벽체의 높이를 5m, 10m로 증가시켜 해석을 수행하였다.

이때, 벽체 높이 2.5m인 경우 띠장의 간격은 가로방향으로 30cm, 높이방향으로 60cm 간격으로 배치하였고, 벽체높이 5m인 경우는 가로방향으로 30cm간격, 높이 방향으로 71cm간격으로 배치했으며, 벽체높이 10m인 경우는 가로방향으로 30cm간격, 높이 방향으로 143cm 간격으로 배치된 것으로 가정하였다.

측압에 있어서 2.5, 5, 10m인 경우 최대 측압을 동일한 값으로 가정하였는데 그 이유는 시방서상에 나타난 측압 산정공식은 타설온도와 타설속도에 관한 함수이므로 벽체의 높이에 상관이 없는 것으로 사료되어 이와 같이 가정한 것이다. 그러나, 실제로 이에 대한 가정이 타당한지 검증하기 위해서는 벽체의 높이 변화에 따른 실지 계측이 필요한 것으로 사료된다.

해석에 사용될 측압의 분포는 실제 설계에서 사용되는 방법으로써 그림 1과 같이 거푸집 꼭대기부터 최대측압작용지점까지는 선형적으로 증가시키고 최대작용지점부터 거푸집 하단까지는 최대측압값으로 일정하게 작용하는 것으로 가정하였다.

3.1.3 해석모델

실제의 거푸집을 모델링하는데 있어서 거푸집 자체는 쉘 구조로, form tie 및 띠장은 프레임 요소로 이상화 하여 3차원을 이용한 FEM해석을 실시 하였다. 경계조건으로 폼 타이나 바닥부분은 힌지로하고, 벽체상단은 자유단으로 모델화 시켰다.

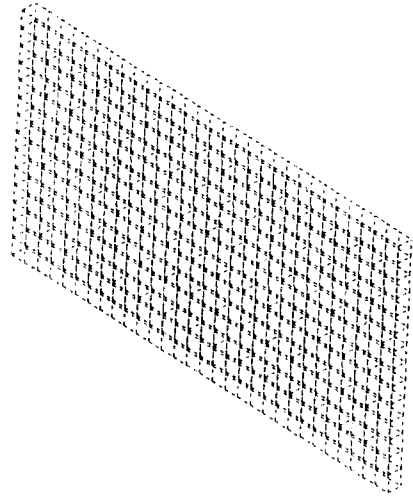


그림 4 거푸집의 유한 요소모델

표 4는 벽체높이별 거푸집에 작용하는 최대 모멘트값을 나타낸 것으로 벽체 높이 10m인 경우 모멘트가 상당히 크게 나타났다. 이 경우는 콘크리트를 타설할 때 구조적인 힘을 받는 띠장의 간격을 좀더 조밀하게 배치해야 할 것이다.

표 4. 거푸집에 작용하는 모멘트

단위 : kg-m

모멘트	벽체높이		
	2.5m	5m	10m
고유동콘크리트	17.9	38.8	304
콘크리트 시방서 공식 사용	11	24.8	133

표 5. 폼 타이에 작용하는 인장력

단위 : kg

인장력	벽체높이		
	2.5m	5m	10m
고유동콘크리트	130	283	1967
콘크리트 시방서 공식 사용	83.3	181.2	526

표 5는 폼 타이에 작용하는 인장력값을 콘크리트 타입별로 나타낸 것으로 고유동콘크리트 타설시 인장력값은 일반보통콘크리트에 비해 크게 작용하고 있어, 고유동 콘크리트 타설시에는 폼 타이의 간격을 줄이던지 직경이 큰 타이로 조정하여야 함을 알 수 있다. 표에 나타낸 값을 비교하면 고유동콘크리트에 의한 인장력은 보통콘크리트에 비해 2배이상 증가하고 특히 높이가 높아질수록 그 값의 차가 큰 것으로 나타났다. 따라서 기존 콘크리트 타설처럼 경험에 의해 폼 타이 및 띠장을 고유동콘크리트 타설시 설치하면 위험성이 클 것으로 판단된다.

3.2 압축강도특성

코어채취에 의한 재령별 압축강도는 표 6과 같으며, 초기 재령시의 강도발현율이 일반 콘크리트에 비해 약간 낮은 이유는 플라이애쉬의 첨가에 따른 포졸란반응 때문으로 추정된다. 그러나 28일 이후의 강도는 설계강도를 상회하는 양호한 결과를 보이고 있다. 시험실에서 공시체를 제작한 경우와는 달리 충분한 양생이 이루어지지않은 벽체로부터 코어를 채취하여 얻은 강도값이라는 것을 감안한다면 실제 강도값은 더욱 높아질것으로 예상된다.

3.3 수화열 특성

수화열 발열 성상은 그림 5와 같은 형태를 보이고 있다. 수화열의 발생은 일반적으로 초기에 많이 발생하지만 본 실험에서는 포졸란재로서 플라이애쉬와 첨가재로서 석분을 사용하므로써 수화열의 발생이 지연되면서 종래

의 콘크리트 수화발열 상태와는 조금 다른 양상을 보이고 있다.

표 6. 재령별 압축강도

단위 : kg/cm²

재령 위 치	7일	28일	91일
	좌 상	134	217
좌 중	131	212	240
좌 하	133	217	241
중 상	138	223	248
중 중	134	219	248
중 하	134	222	252
우 상	140	222	244
우 중	137	216	241
우 하	134	218	242

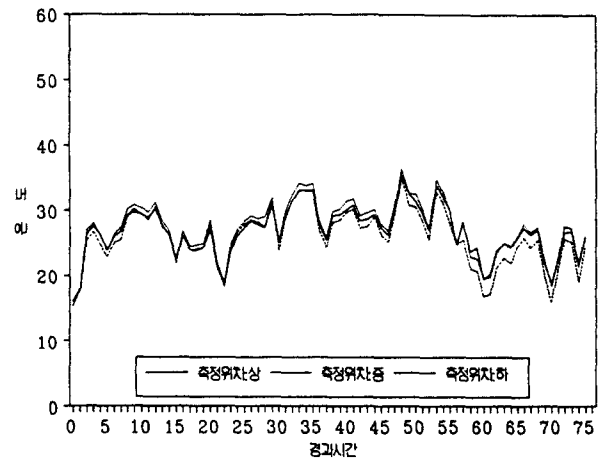


그림 5 고유동 콘크리트의 수화열 측정값

4. 결론

(1) 코아 압축강도에 의한 강도시험결과에서 보는바와 마찬가지로 설계강도 발현에는 문제가 없었지만 플라이애쉬 첨가에 따른 초기강도 발현이 어려운 점이 있으므로 구조물의 특성에 따라서는 단위시멘트량 및 분체량을 조절하여 사용하여야 할 것으로 본다

(2) 수화발열 성상은 포졸란 혼화제의 석분 첨가로 초기에 다량의 수화열 발생을 억제할 수 있게되어 단위시멘트량을 적게하고 분체량을 늘림으로써, 앞으로 대형구조물 등의 매스콘크리트에도 그 적용이 기대된다.

(3) 고유동콘크리트의 경우 거푸집에 작용하는 모멘트는 시방서상 공식을 사용하여 구한 거푸집에 작용하는 모멘트 값보다 벽체의 높이가 2.5m인 경우 62%, 5m인 경우 56%, 10m인 경우 138% 큰 것으로 나타났다.

(4) 타이에 걸리는 인장력의 경우 벽체의 높이가 2.5m인 경우 56%, 5m인 경우 56%, 10m인 경우 274% 큰 것으로 나타났다.

따라서 고유동콘크리트의 경우 시방서상에 나타난 공식을 사용하여 측압을 계산할시에는 무리가 있을 것으로 사료된다. 그러므로 고유동콘크리트를 사용할 경우는 측압 산정에 있어서 상당한 주의를 요한다. 또한 고유동 콘크리트사용시 form tie나 띠장의 설계에 있어서도 경험에 의하기 보다는 좀더 정밀한 해석을 통하여 폼 타이와 띠장의 설치 위치를 결정하여야 할 것이다.

추후의 연구방향은 거푸집의 폼 타이에 스트레인 게이지를 설치하여 폼 타이에 작용하는 응력을 계측하고, 이 값을 이용하여 거푸집에 작용하는 측압을 역으로 예측하는 방법에 대한 연구가 필요하고, 근래에 많이 사용되는 혼화제와 혼화재료의 사용이 측압에 미치는

영향에 대한 연구도 추천된다.

참고문헌

- (1) 노재호 외, "초유동콘크리트의 유동성능에 미치는 배합요인의 영향", 한국콘크리트학회 논문집, 제6권2호, pp.115-120, 1994
- (2) 초유동콘크리트에 관한 심포지움(논문보고집), 일본콘크리트공학협회, 1993
- (3) 竹田宣典 외, "超流動コンクリートの流動性と分離抵抗性に関する考察", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.381-386, 1992.6
- (4) T. C. Powers, The Properties of Fresh Concrete
- (5) 岸清 외, "ミキサの種類と練りませ時間が" 콘クリートの品質に及ぼす影響, 土木學會論文集 No.402/V-10, pp.53-60, 1989.2
- (6) 콘크리트 시방서 pp. 479-482
- (7) 신영수 "벽체의 거푸집 측압측정" 한국콘크리트학회지, 제 7권, pp. 90-100