

고유동콘크리트의 거푸집측압 예측을 위한 실험적 연구

An Experimental Study on Estimation for Formwork Pressures with High Flowable Concrete

김종우* 이대근* 김기수** 강지훈*** 이영욱****
Kim, Jong Woo Lee, Dae Keun Kim, Ki Soo Kang, Ji Hun Lee, Young Uk

Abstract

The design of formwork system for vertical form faces is controlled by pressures predicted to act against the formwork by fresh concrete. An overestimation of pressure results in heavy, and expensive formwork. An underestimation results in malformed structure, or in some cases, it causes the failure of the formwork. This study is a preliminary step in determination lateral pressures with High flowable concrete. To estimate lateral formwork pressures, we measured tensile strain of formtie in the movable part of the form. From the experimental results maximum lateral pressure and the location at which maximum pressures occurs, were determined.

The experimental results are compared with the results predicted by the Gardner & Qureshi's proposed equation and the accepted Korean Standard Specification for concrete and ACI equation

1. 서 론

최근들어 각종 대형, 특수구조물에 콘크리트의 사용이 빈번해지면서 고강도, 고유동콘크리트의 요구가 날로 확대되어감에 따라 콘크리트의 고유동, 고강도화 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 이에따라 재료적인 연구는 상당한 실적을 보이고 있으나 실용화를 위한 설계, 시공분야의 제반연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 고유동콘크리트를 실제 구조물에 적용하기 위해서는 가장 먼저 유동성증가에 따른 압력분

* 쌍용중앙연구소 건설기술연구실 연구원
** 쌍용중앙연구소 건설기술연구실 실 장, 공학박사
*** 쌍용건설기술연구소 연구원
**** 쌍용건설기술연구소 선임연구원, 공학박사

포를 예측하여 기존 거푸집 설계에 따른 문제점을 분석하고 고유동 콘크리트의 특성에 맞는 새로운 거푸집의 설계가 필요하다. 이때 측압의 과대평가는 비경제적인 거푸집공사를 유발하고 반대로 과소평가하게 되면 거푸집의 이동, 배부름 등의 변형이 발생할 뿐아니라 심한 경우 거푸집의 붕괴를 유발할 수 있다.

본 실험에서는 고유동화제 및 증점제를 첨가하여 생산된 고유동 콘크리트를 실물모형벽체에 타설하고, 이때 폼타이(Form-tie)에 부착된 변형물게이지에서의 변형률값을 측정하는 방법을 이용하여 고유동 콘크리트의 타설중 거푸집의 측압을 산정하였고, 실험결과와 기존 국내외 시방규준식과의 비교를 수행하였다.

2. 실험

2.1 사용재료 및 배합

(1) 시멘트

본 실험에는 타종 시멘트에 비해 비교적 수화발열이 적고 유동성이 우수한 高 Belite계 시멘트(이하 Belite시멘트)를 사용하였는데 그 주요성분을 타종 시멘트와 비교하여 나타내면 아래의 표 1과 같다.

표 1 각 시멘트의 주요 구성성분 비율

구 분	조성비율(%)			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Type I	49	25	12	8
Type II	46	29	6	12
Type III	56	15	12	8
Type V	57	21	0.3	12
高Belite시멘트	32	45	3.5	9.5

(2) 골재

본 실험에 사용된 굵은골재는 단양산 쇄석으로 최대치수는 25mm이며 비중은 2.72이다. 또한 잔골재는 부강산 강모래를 세척하여 사용하였는데 비중은 2.57이었다.

(3) 혼화제

고강도 콘크리트의 생산시 유동성의 확보를 위해서는 고유동화제의 사용이 필수적인데, 본 실험에서는 일본 게이오드사의 폴리 카르본산 계 Mighty-2000을 사용하였다.

또한 슬럼프치가 크고 결합재량이 상대적으로 작으므로 잔골재율을 높이고 Kelco사의 증점제를 소량첨가하여 재료분리를 방지하였다.

(4) 사용배합

본 실험에서는 설계기준강도 500kg/cm²의 고강도 콘크리트가 사용되었는데, 시험에 사용된 콘크리트의 배합은 아래의 표 2와 같다.

표 2 사용 콘크리트배합

시멘트	물	굵은골재	잔골재	잔골재율(s/a)	고유동화제	증점제
516kg	180kg	793kg	859kg	52%	1.3%	0.0125%

2.2 실험체

벽체 W1 및 W2의 거푸집 제원 및 변형률게이지의 부착위치는 아래의 그림 1과 같다.

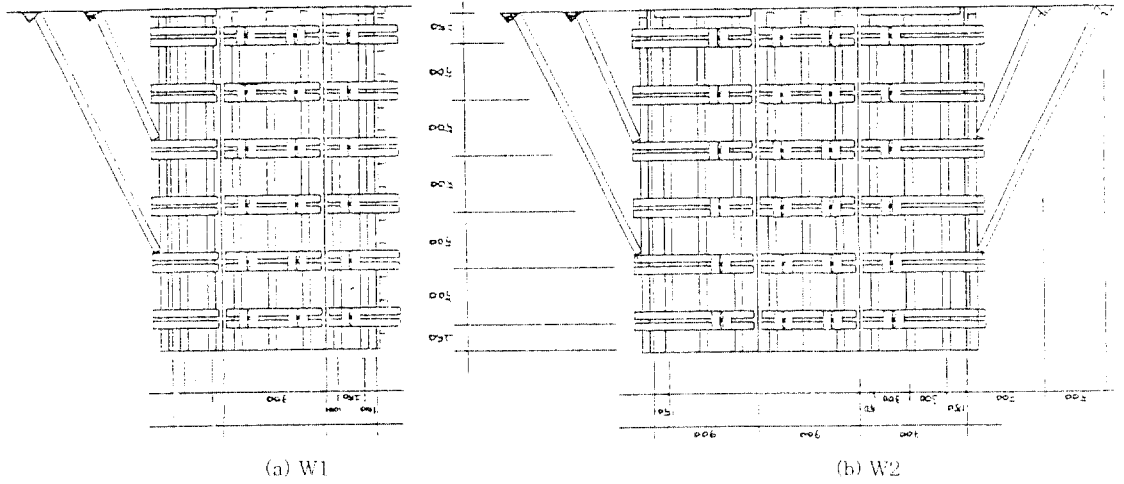


그림 1 거푸집제원 및 게이지 부착위치

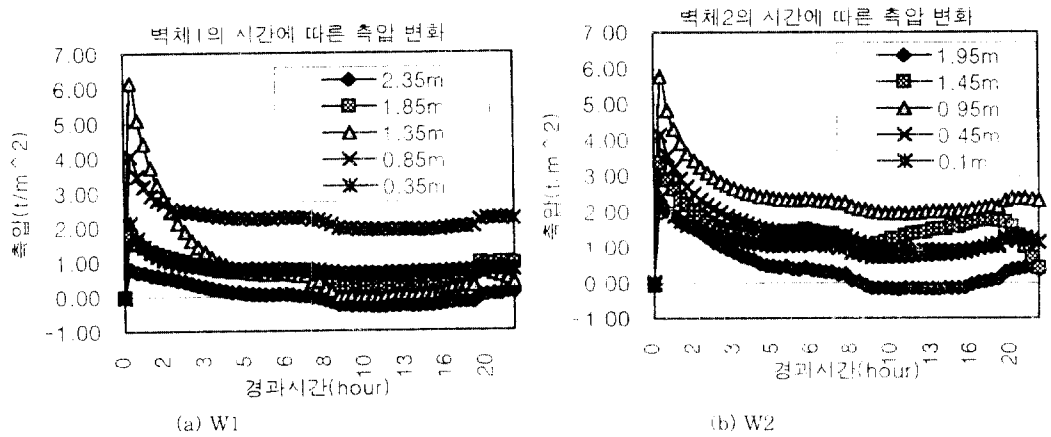


그림 2 변형률게이지를 통한 각 실험체의 시간별 축압분포

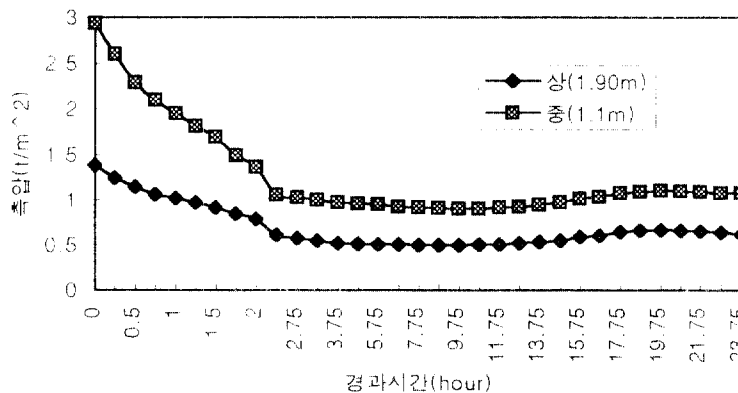


그림 3 토압계를 통한 W2 실험체의 시간별 축압분포

3. 실험결과

거푸집에 작용하는 균지않은 콘크리트의 시간별 압력분포는 아래의 그림 2에서와 같이 타설초기에 (약 15분후) 가장 큰 값을 보였으며, 시간이 경과하여 콘크리트가 경화되면서 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다. 또한 위치별로 압력분포를 살펴보면, 벽체의 중간부에서 가장 큰 압력이 작용하고 하부로 갈수록 줄어드는 것으로 나타났는데 이는 거푸집과 콘크리트사이의 마찰이나 수직부재 변형의 누적에 의한 것으로 추정된다.⁽⁴⁾

4. 이론식과의 비교분석

실험값과의 비교를 위해서 사용된 국내 콘크리트표준시방서식과⁽⁶⁾ ACI committee 347⁽¹⁾ 및 Gardner & Qureshi의 제안식⁽³⁾은 아래의 표 3에 나타내었다.

표 3 거푸집 최대측압의 계산식

구분	사용식	기호
ACI	□ $R < 7 \text{ ft/hr}$ $P_{\max} = 150 + \frac{9000R}{T}, \text{psf} \leq 2000, \text{psf or } 150h$ (식1)	d: 최소 거푸집간격 (in)
	□ $7 < R < 10 \text{ ft/hr}$ $P_{\max} = 150 + \frac{43,400}{T} + \frac{2800R}{T}, \text{psf} \geq 2000 \text{ psf}$ (식2)	h: 거푸집높이 (ft)
	□ $R > 10 \text{ ft/hr}$ $P_{\max} = 150h \leq 2000 \text{ psf}$ (식3)	
콘크리트 표준시방서	□ $R \leq 2\text{m/hr}$ $P_{\max} = 0.8 + \frac{80R}{T+20} \leq 10\text{t/m}^3$ (식4)	γ : 콘크리트의 단위중량 (kg/m^3)
	□ $R > 2\text{m/hr}$ $P_{\max} = 0.8 + \frac{120+25R}{T+20} \leq 10\text{t/m}^3$ (식5)	R: 타설속도 (m or ft/hr)
Gardner & Qureshi 제안식	$P_{\max} = 153h_i + \frac{2467HP}{d} + 13.26d + \frac{8305R^{1/2}}{T} + 53(\text{slump}-3), \text{psf}$ (식6)	T: 타설온도 ($^{\circ}\text{C}$ or $^{\circ}\text{F}$)

여기서, 국내의 콘크리트표준시방서와 ACI의 추천식은 타설시 반죽온도(T)와 타설속도(R)를 변수로 하여 계산하도록 되어 있는데 슬럼프 10cm이하, 다짐봉의 삽입깊이가 1.25m일때의 실험자료를 근거로 하고 있으며 혼화제를 첨가하거나 타종의 시멘트를 사용한 경우, 슬럼프가 10cm이상의 경우에는 입의로 최대측압을 수정하여 사용하도록 하고 있으나 구체적인 규준은 마련되어 있지 않다.^{(1),(6)} 한편 Gardner & Qureshi의 제안식⁽³⁾은 많은 현장시험을 통해 다짐봉의 출력과 콘크리트의 슬럼프 및 벽체의 최소단면을 변수로 고려하여 계산하도록 제안하고 있다. 계산을 위해 사용된 조건은 아래의 표 4와 같다. 또한 거푸집 위치에 따른 측압분포는 아래의 그림 6에 나타내었다.

이 중 각 벽체에서 측정된 최대측압과 표 3.의 이론식에 의한 계산결과를 아래의 표 5에 나타내었다. 여기서, Hydrostatic*은 단위중량을 2.4t/m^3 으로 가정하여 계산하였으며, Gardner & Qureshi

의 제안식⁽³⁾은 다짐봉을 사용하지 않았으므로 다짐봉 깊이, 출력의 항을 모두 '0'으로 계산하였다. 따라서 다소 과소평가될 것으로 판단되었으나 다른 기준식과 달리 타설속도, 콘크리트온도이외에 슬럼프를 변수로 고려하여 제안된 식이므로 향후 참고자료로 활용키 위해 산정하여 비교해 보았다.

표 4 콘크리트 타설조건

실험체	단면	슬럼프 (슬럼프 flow)	타설속도	타설온도	다짐봉 깊이
W1	180×260	27cm (61×62cm)	6 m/hr (19.68ft/hr)	26°C (78.28° F)	사용없함
W2	270×220				

표 5 최대측압의 비교 (단위 t/m²)

구분	Hydrostatic	ACI (식 3)	콘크리트 표준시방서	Gardner & Qureshi제안식	실험값
W1	6.24	6.21	5.99	4.76	6.15
W2	5.28	5.26			5.76

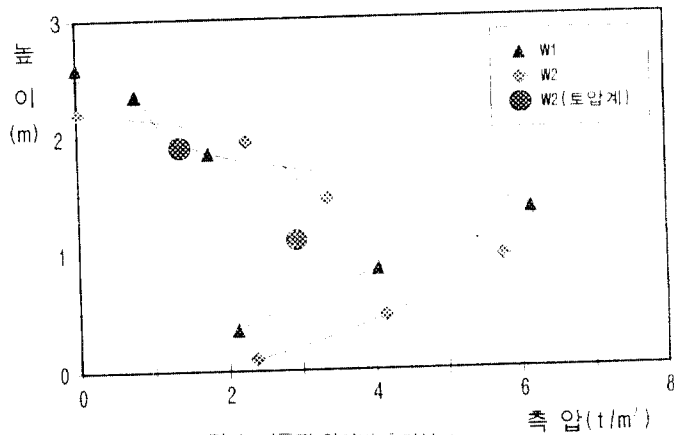


그림 4 거푸집 위치별 측압분포

5. 결 론

- 1) 본 실험에서는 거푸집의 측압측정을 위해 폼타이의 인장력을 측정하여 거푸집의 유효분담면적이 부담하는 압력을 구하였고 이의 비교를 위해 토압측정용 압력계를 설치하였다. 그러나 시험여건 상 거푸집 제작후 30일가량 시험이 지연되어 거푸집 자체의 변형과 게이지를 부착한 폼타이의 국부적 변형 등에 의해 오차를 포함할 수 있으나 측정개수를 늘리고 거푸집제작후 단시간에 실험을 실시한다면 비교적 합리적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 실험결과 W1의 경우는 기존의 모든 이론식보다 큰 측압이 발생하는 것으로 예측되며 W2의 경우에도 국내의 콘크리트표준시방서를 제외하고 모두 이론치를 상회하는 결과가 나타났다. 또한 토압계의 측정결과와 비교해 볼때 170%정도 큰 값이 나타났으나 이는 거푸집 널판의 배부름현상 등 국부적변형에 의한 차이로 생각된다. 실험결과만을 근거로 평가할때, 본 실험에서 타설한 수준

의 유동성을 갖는 콘크리트를 3m이상의 벽체에 타설할 경우 대체로 기존 설계이론치를 넘는 측압이 발생할 것으로 예측된다.

- 3) 기존의 국내외 규준은 굳지않은 콘크리트에 의한 거푸집의 측압의 영향인자를 타설속도와 타설 온도에만 국한하여 제시하고 있으나 콘크리트의 슬럼프, 고유동화제의 사용유무, 혼화재의 혼입시 특성의 변동, 펌핑에 의한 영향등도 측압의 산정에 고려해야 할 것으로 판단된다.

● 참고문헌 ●

1. ACI Committee 347, "Guide to Formwork for Concrete (347 - 88R)," ACI Structural Journal Vol. 85 Sep.-Oct. 1988, pp.530~562
2. ACI Committee 622, "Pressures on Formwork," ACI Structural Journal Vol. 55., No. 2, Aug. 1958, pp.173~190
3. Gardner, N.J., "Pressures of Concrete on Formwork-A Review," ACI Structural Journal Vol. 82, Sep.-Oct. 1985, pp. 744~753
4. Gardner, N.J., "Pressures of Concrete agaist Formwork," ACI Structural Journal Vol.77, No. 4, July-Aug. 1980, pp.279~286
5. Phillip, S., Dunston, David, W., Johnston, and Paul P, McCain, "Form Pressures in Tall Wall with Extended Set Concrete," Concrete International, Nov. 1994, pp. 21~25.
6. 건설교통부, "콘크리트표준시방서 (시공편)," 1996, pp. 111~127
7. 안상기 외, "고유동 콘크리트 개발 및 실용화를 위한 실험적 연구," 콘크리트학회 논문집, 제8권 (통권 제14집), 1996년 5월, pp.42~47.