

고강도콘크리트의 고속펌핑을 위한 압송성평가 및 예측모델에 관한 연구

Development of Evaluation and Prediction Model for Concrete High Speed Pumping

김형래*

조호규**

정웅택***

Kim, Hyung-Rae

Cho, Ho-kyoo

Jeong, Woong-Taek

Abstract

The establishment of the technology for evaluating friction resistance and pipe pressure and the relation of the fluid characteristics and pumpability of concrete is essential for the evaluation of concrete pumping performance for high speed construction of super-tall building. So, this study focuses on quantitative evaluation of concrete fluid characteristics and surface friction resistance under the change of concrete mix proportion and pumping condition. In this study, we measured the rheology of concrete and pipe pressure and surface friction characteristics when pumping. And, relations between the rheology characteristics of concrete and pumping performance was investigated by experiment. As the result of the experiment, high regression between the surface friction and pressure gradient was confirmed. And, prediction model to evaluate the friction resistance coefficient and pipe pressure reduction coefficient was suggested.

키 워 드 : 레올로지, 콘크리트 펌핑, 관내마찰저항력, 압력손실계수

Keywords : rheology, concrete pumping, inside surface friction, pipe pressure reduction coefficient

1. 서 론

초고층으로의 콘크리트 펌프 압송성은 콘크리트의 배합조건과 압송속도 및 배관직경 등의 펌핑조건 등에 따라 크게 달라지며, 이에 대한 충분한 검토와 예측을 하지 않을 경우 압송 후에 콘크리트의 유동성이 저하되어 시공성을 확보할 수 없거나 반대로 재료분리가 발생하여 구조체의 품질불량을 초래하고 균열발생의 원인이 되기도 한다. 뿐만 아니라, 콘크리트의 점성 증대에 따른 압송부하의 상승은 펌프의 성능한계 내에서 최적의 압송이 가능한 토출량에도 영향을 미치므로, 시공속도를 저하시키기도 한다. 이러한 문제점을 해결하고 초고층 건축물에서의 고속시공이 가능하도록 펌핑기술을 확보하기 위해서는 콘크리트의 유동특성과 펌프 압송성의 관계를 정량화하고 펌프 압송시 관내마찰 저항력을 평가하는 기술이 필수적이라 할 수 있다.

특히, 콘크리트의 재료적 특성에 기인하는 배관 내의 압송 메커니즘을 규명하고 정량화함으로써, 사전에 펌프 압송성을 예측하고 압송부하를 산정할 뿐만 아니라 적절한 수준의 펌프장비 선정이 가능하도록 하는 것이 매우 중요하다. 최근 들어 고강도콘크리트의 적용에 따라 콘크리트의 점성이 증가되고 관내에서의 유동특성이 복잡해짐에 따라 유동학(레올로지)적 특성에 기반을 둔

평가 및 해석이 필수적으로 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 펌프 압송시 콘크리트의 배합조건과 펌핑조건에 따른 유동특성과 관내의 마찰력을 정량적으로 평가하고, 이를 토대로 관내 마찰저항계수를 추정함으로써 펌프 압송성을 예측하기 위한 모델을 제시하고자 하였다. 이를 위해 콘크리트용 레올로지 측정장치와 기계발한 관내마찰저항 평가시험장치를 이용하여 유동특성 평가실험과 펌프압송실험을 수행하였다.

2. 실 험

본 연구에서는 콘크리트의 배합조건 및 펌핑조건을 달리하면서 콘크리트의 레올로지 특성이 펌핑시 관내마찰저항에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 또한, 이로부터 마찰저항계수 및 관내압력손실을 추정하기 위한 예측모델을 제시하는 것을 목표로 하였으며, 실험인자 및 수준은 Table 1에 나타난 바와 같다. 실험에 사용한 콘크리트는 압축강도를 30~100Mpa, 플로우값을 500~700mm로 하였으며, 배합표는 Table 2에 나타냈다.

Figure 1은 콘크리트용 포터를 레오미터를 사용한 굳지 않은 콘크리트의 레올로지 특성의 측정을 나타낸다.

* 현대건설(주) 부장대우, 공학박사 (hrkim@hdec.co.kr)

** 현대건설(주) 부장

*** 현대건설(주) 과장



Figure 1. Rheology test for concrete

Table 1. Experimental factors

	Factor	Level
Concrete	Compressive strength (MPa)	30, 50, 60, 80, 100
Mix	Slump flow (mm)	500, 600, 700
Proportion	Fine aggregate ratio (%)	42, 44, 45, 47
Pumping		4 levels
Condition	Pumping interval (sec.)	(3~12 sec.)

Table 2. Mix proportion of concrete

strength (flow)	W/B	S/a	Mix proportion(kg/m ³)						AD (%)
			W	OPC	BFS	SF	S	G	
20-30-600	38.5	48.5	165	343	86		850	916	4.29
20-50-600	28.9	46	165	388	182		752	894	4.56
20-60-500		44.1					315	914	5.1
20-60-600	27.2	44.3	163	432	168		316	912	5.4
20-60-700		44.5					317	908	5.7
20-80-700(42%)		42					655	924	11.22
20-80-700(45%)~1	23.9	45	158	521	105	34	701	876	11.22
20-80-700(47%)		47					732	844	11.22
20-80-700(45%)~2	24.7	45	158	506	102	32	708	884	10.88
20-100-700~1	20.7	42	145	504	112	84	647	912	16.8
20-100-700~2	21.3	42	145	489	109	82	655	922	16.32

수평배관에 대한 펌프압송실험에는 Figure 2에 나타난 바와 같이 약 40m 길이의 배관과 관내마찰저항력 평가시험장치로 구성된 압송성 평가시스템이 사용되었으며, 압송속도를 변화시켜가면서 관내압력과 관내마찰저항력을 측정하였다. 한편, 배관에 작용하는 마찰저항력은 수평배관 펌프압송성 평가시스템의 일부로서 구축한 관내마찰저항측정 장치를 통해 얻어진 마찰저항력으로부터 식(1)과 같이 산정하였다.

$$f_R = F/2\pi Rl \quad \text{식(1)}$$

여기서, f_R : 마찰저항력(N/cm²)

F : 압송관에 작용하는 저항력(N)

R : 배관 반지름(cm)

l : 배관 길이(cm)



Figure 2. Pumping test for concrete

3. 콘크리트의 레올로지와 펌프압송 특성 고찰

펌핑시 관내에서 콘크리트의 유동속도와 마찰저항력의 관계로부터 식(2)와 같이 마찰저항계수(α)를 구할 수 있으며, 배관내부에 작용하는 압력과 배관내벽에 있어서의 콘크리트의 최대전단력의 관계로부터 식(3)과 같이 압력손실 값을 구할 수 있다.

$$f_R = \alpha V_R + C \quad \text{식(2)}$$

$$\Delta P = \frac{2l}{R} (\alpha V_R + C) \quad \text{식(3)}$$

여기서, f_R : 미끄럼 저항응력(Pa)

α : 마찰저항계수,

또는 미끄럼 소성점도(Pa · s/cm)

V_R : 미끄럼 속도(m/s)

C : 미끄럼 항복응력, 또는 미끄럼 부착력(Pa)

Figure 3~Figure 7에 나타난 바와 같이, 펌핑속도 및 콘크리트의 소성점도의 증가에 따라 관내압력손실계수는 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 콘크리트의 소성점도가 증가함에 따라 관내마찰저항계수도 비례하여 증가하였다. 본 연구에서 제시된 예측모델식에 의한 펌핑관내압력손실의 예측값과 실측에 의한 압력손실의 관계는 Figure 7에 나타난 바와 같이 기존의 베르누이 방정식을 이용한 압력손실계수 산정식에 의한 추정결과보다 더 높은 상관계수를 나타냈다.

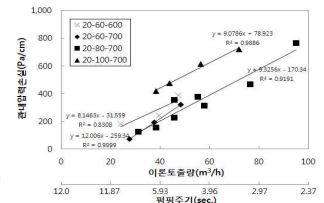
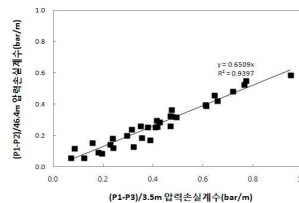


Figure 3. Pipe pressure reduction coefficient Figure 4. Pumping speed - pressure

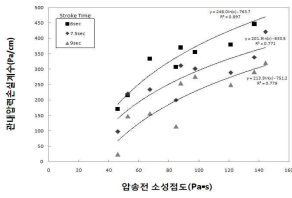


Figure 5. Viscosity - pressure reduction coefficient

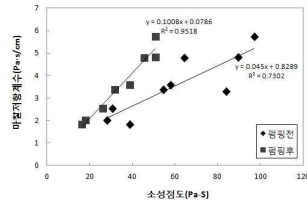


Figure 6. Viscosity - friction

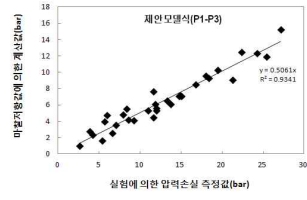
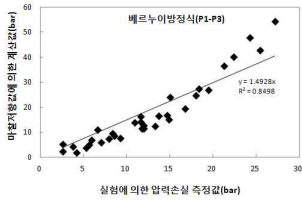


Figure 7. Result of prediction

4. 결 론

본 연구에서 사용한 펌프압송성 평가시스템에 의한 압력특성 및 관내마찰 저항력의 예측모델은 높은 상관성을 보였으며, 굳지 않은 콘크리트의 레올로지 특성값으로부터 압송부하를 추정하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년도 첨단도시개발사업에 의해 수행되었습니다.