

고유동 콘크리트의 품질변동 요인에 관한 연구

A Study on the factors of Quality variation for High Flowing Concrete in Site

○ 權 寧 鎬 李 賢 浩 李 華 振 河 在 潭
Kwon, Yeong-Ho Lee, Hyun-Ho Lee, Hwa-Jin Ha, Jae-Dam

ABSTRACT

This research investigates experimentally an effect on the properties of the high flowing concrete according to variations of concrete materials and site conditions. Variations of sensitivity test are selected items as followings; (1)Concrete temperature, (2)Unit water(Surface moisture of fine aggregate), (3)Fineness modulus of fine aggregate, (4)Addition ratio of high-range water reducing agent. And fresh conditions of the high flowing concrete should be satisfied with required range including slump flow(65±5cm), 50cm reaching time of slump flow(4~10sec), V-lot flowing time(10~20sec), U-box height(min.300mm) and air content(4±1%).

As results of sensitivity test, material variations and site conditions should be satisfied with the range as followings; (1)Concrete temperature is 10~20℃(below 30℃), (2)Surface moisture of fine aggregate is within ±0.6%, (3)Fineness modulus of fine aggregate is 2.6±0.2 and (4)addition ratio of high range water reducing agent is within 1% considered flow-ability, self-compaction and segregation resistance of the high flowing concrete.

1. 서 론

고유동 콘크리트가 국내에 소개된 이래, 건설교통부의 국책과제로 “초유동 콘크리트의 개발 및 실용화 연구가 수행된 바 있으며, 지속적인 현장적용을 통해 현재에는 배합기술 및 제조방법 등과 같은 분야에 많은 기술력이 축적된 상태이다.^{(1),(2)} 그러나, 지금까지의 현장적용은 비교적 소량의 시험적용에 국한되어 왔으며, 고유동 콘크리트의 종류도 매우 제한되어 있었다.

최근에 와서 지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽(Slurry wall) 공사에 대량의 고유동 콘크리트가 사용됨에 따라 고유동성과 재료분리 저항성을 갖는 고유동 콘크리트의 현장적용이 본격화되었다. 그러나, 고유동 콘크리트에 요구되는 성능은 일반 콘크리트에 비해 사용재료의 품질변동, 계량오차, 온도변화 등에 따라 매우 민감하게 작용하기 때문에, 이에 대한 품질관리의 영향을 究明하는 것이 요구되고 있는 실정이다. 또한, 지하연속벽 뿐만 아니라 본체 구조물에도 고강도·고유동 콘크리트를 개발·적용하여 인력 및 콘크리트 량의 절감, 국산화 기술의 확보 등을 시도하려는 연구가 이루어지고 있다.

따라서, 본 연구에서는 지하식 LNG 저장탱크의 지하연속벽(인천)에 적용된 병용계 고유동 콘크리트(분체계+중점계)에 대하여 사용재료의 품질변동에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성을 실험적으로 규명하여, 고품질 현장관리의 기준으로 제시하고자 한다.

* 정희원, 동양대학교 건축공학과 교수

** 정희원 쌍용중앙연구소 책임연구원

2. 사용재료 및 평가기준

2.1 사용재료

일반적으로 고유동 콘크리트에 사용된 시멘트는 고로슬래그 시멘트(B종)에 석회석 미분말 또는 플라이애쉬를 혼합하거나 Belite 시멘트에 석회석 미분말을 혼합 또는 Belite 시멘트를 단독으로 사용한 경우가 많았다.⁽³⁾ 본 연구에 사용된 고유동 콘크리트의 재료는 Table 1과 같다.

Table 1 Materials used for high flowing concrete

Cement	Binder	H.R.W.R	Fine aggregate	Coarse aggregate	Viscosity agent
Slag cement Blaine : 4,000 ^{cm²} /g Gravity : 3.05	Lime stone powder Blaine : 8,000 ^{cm²} /g Gravity : 2.70	Poly-carbone base Gravity : 1.2 Solid 36.4%	F.M 6.64 Gravity : 2.60 19mm(Crashed)	F.M 2.50 Gravity : 2.63 River sand	Poly-saccharide base Viscosity 800cp

2.2 기본배합 및 평가기준

사용재료 및 현장조건의 변동에 따른 고유동 콘크리트의 특성을 시험할 기본배합 조건 및 평가기준은 Table 2와 같다.

Table 2 The optimum mix design condition and the required Performances for fresh concrete

W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							Slump flow (cm)	50 ^{cm} reaching time (sec)	V-lot flow time (sec)	U-box height (mm)	Air content (%)
		W	C	L.S.P	S	G	Ad	VA					
41	50.8	180	438	70	816	781	11.7	0.25	65±5	4~10	10~20	min.300	4±1

3. 변수범위 및 시험방법

3.1 변수범위

사용재료의 품질변동 및 현장조건에 따른 고유동 콘크리트의 변수범위는 Table 3과 같다.

Table 3 Variation Items and ranges for sensitivity test

Items	Concrete temperature(°C)	Unit water (kg/m ³)	Fineness modulus	Dosage of admixture(%)	Replacement ratio of slag powder(%)	Particle size (L.S.P : μm)
Range of variations	10, 20, 30 (3 Cases)	W±5, ±10 (5 Cases)	2.2~3.0 (5 Cases)	Base±0.2, ±0.4 (5 Cases)	40, 45, 50, 55 (4 Cases)	8.7, 9.7, 11.0 (3 Cases)

3.2 시험방법

고유동 콘크리트의 시험방법은 일본 토목학회의 시공지침⁽⁶⁾에 따르며, 각각의 변수에 대해 Table 2의 평가기준을 근거로 굳지 않은 콘크리트의 민감도 시험을 실시하였다. 이때, 콘크리트 온도는 물의 온도로 조절하였고, 잔골재의 조립율은 체가름을 통한 입도조정으로, 슬래그 시멘트의 치환율은 시멘트 공급사에서 제공하는 보통포틀랜드 시멘트에 슬래그 미분말은 치환하는 방법으로 재료의 변동요인을 결정하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 콘크리트의 온도변화에 따른 시험결과

분체 및 고성능 AE감수제와 증점제가 사용되는 병용계 고유동 콘크리트는 온도변화에 따른 품질변동이 예상된다. 이를 검토하기 위하여 콘크리트의 온도변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 품질변동을 측정하였으며, 시험결과는 Fig.1과 같다.

시험결과, 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 V-Lot 유하시간은 콘크리트의 온도에 민감한 것으로 나타났다. 즉, 콘크리트 온도가 높을수록 점성이 감소하는데 이는 고분자 화합물로 구성된 증점제가 높은 온도일수록 분자간의 운동이 활발해지기 때문에 분자간극의 증대로 점성이 감소된 것으로 사료된다.

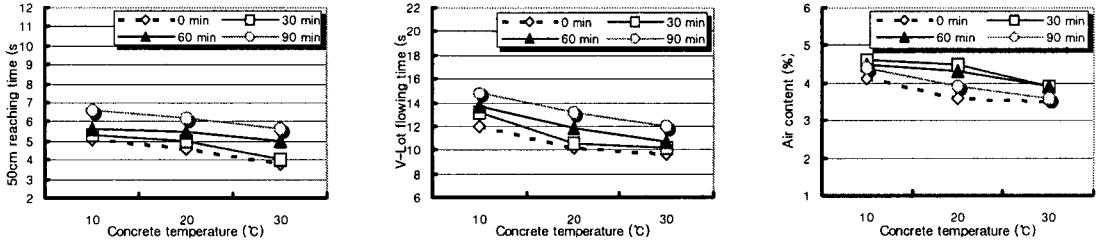


Fig. 1 Sensitivity test results of the fresh concrete for concrete temperature

따라서, 점도저하가 우려되는 여름철 공사의 경우, 온도관리 및 증점제 사용량의 조절하여 점도를 관리하는 것이 바람직할 것으로 사료되며, 반면에 겨울철 공사에는 보일러 시스템을 사용하여 콘크리트 온도를 10°C 이상으로 유지하는 방안이 요구된다.

4.2 표면수의 변동에 따른 시험결과

국내 현장여건상 잔골재의 표면수 변동을 균일하게 관리하는 것은 현실적으로 매우 어렵기 때문에, 이러한 조건을 고려하여 표면수의 변동에 따른 고유동 콘크리트의 품질성능을 확인하고자 하였다. 즉, 기본배합(골재 표면수 일정)에 단위수량을 변동($\pm 5, \pm 10 \text{ kg/m}^3$)시켜 굳지 않은 콘크리트의 품질특성을 측정하였으며, 시험결과는 Fig.2와 같다.

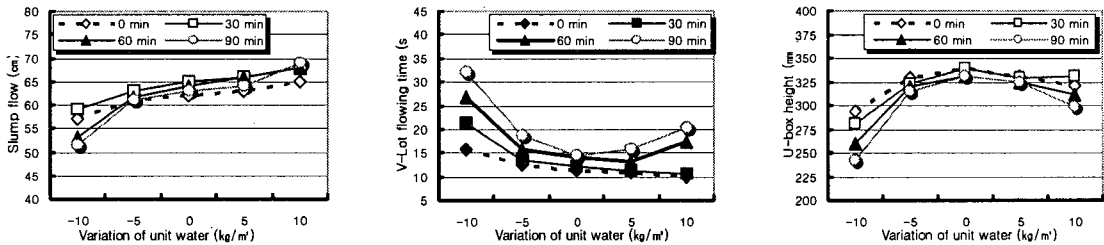


Fig. 2 Sensitivity test results of the fresh concrete for unit water content

고유동 콘크리트의 점성 및 충전성을 고려할 때, 단위수량의 변동범위가 $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ 이내인 경우에 요구 성능을 만족하는 것으로 나타났는데, 이를 잔골재의 표면수율로 환산하면 $\pm 0.6\%$ 이내의 범위로 된다. 따라서, 단위수량의 변동범위는 $\pm 5 \text{ kg/m}^3$ (표면수율 $\pm 0.6\%$) 이내로 관리하는 것이 바람직하다.

4.3 잔골재의 조립을 변동에 따른 시험결과

LNG 지하탱크 구조물의 내구성을 고려하여 강모래를 사용하도록 규정하고 있기 때문에, 바닷모래와 달리 잔골재의 조립을 변동이 매우 크다. 이러한 영향을 검토하기 위하여 잔골재의 조립을 변동에 따른 고유동 콘크리트의 품질변동을 측정하였으며, 시험결과는 Fig.3과 같다.

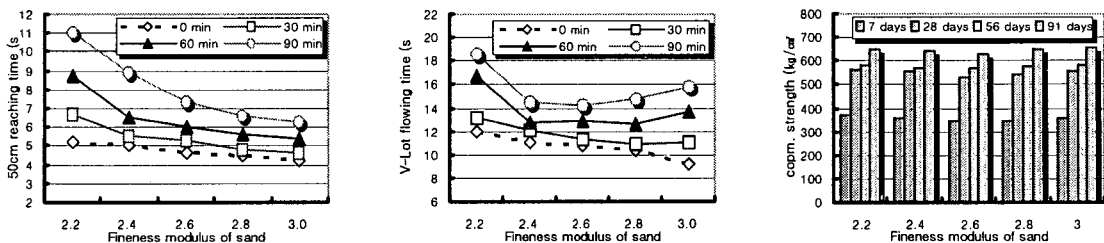


Fig. 3 Sensitivity test results of the fresh concrete for fineness modulus (sand)

시험결과, 잔골재의 조립율이 감소할수록 점성이 증대되는 것으로 나타났는데, 이는 미세입자의 골재가 분체에 가까운 작용을 하기 때문으로 사료된다. 특히, 조립율이 큰 범위(F.M=3.0)에서는 경시변화에 따른 V-lot 유하시간 및 U-Box 충전성 높이차가 증대되는 것으로 측정되었는데, 이는 골재입자간의 마찰력 증대 및 맞물림 현상에 따른 것으로 사료된다. 따라서, 현장에서 고유동 콘크리트를 생산할 때, 잔골재의 조립율 변동은 2.6 ± 0.2 범위에서 관리하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

4.4 혼화제의 첨가량 변동에 따른 시험결과

고성능 AE감수제는 사용량이 적지만, 콘크리트에 미치는 영향은 매우 크다. 따라서, 계량오차 등에 의한 변동을 고려하여 기존의 사용량(2.3%)에 $\pm 0.2\%, \pm 0.4\%$ 범위로 첨가량을 변동시켜 이에 따른 굳지 않은 콘크리트의 품질변동을 측정하였으며, 시험결과는 Fig.4와 같다.

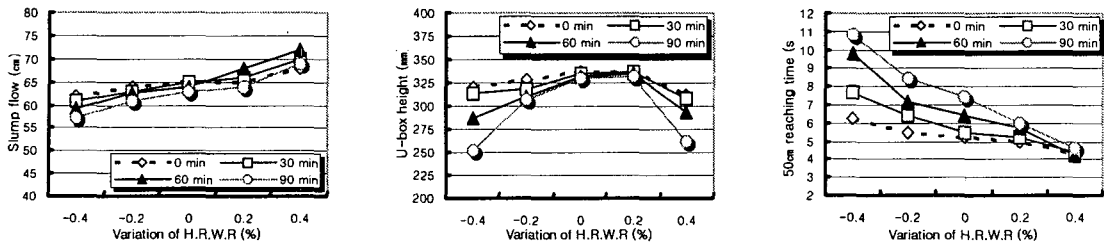


Fig. 4 Sensitivity test results of the fresh concrete for high range water reducing agent

시험결과, +0.4%의 경우에는 골재분리 현상이 나타났으며, -0.4%의 경우에는 유동성 부족 및 점성이 증대되는 것으로 나타났다. 따라서, 고성능 AE감수제에 대한 계량오차의 허용범위는 1% 이내로 하여 KS F 4009 허용값(3%이내)보다 엄격하게 관리하는 것이 바람직하다.

5. 결론

사용재료 및 현장조건에 따른 품질변동의 영향을 검토한 민감도 시험에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 온도는 10~20℃로 관리해야 하며, 여름철의 경우에도 30℃를 넘지 않도록 해야 한다.
- 2) 잔골재의 표면수율 변동은 $\pm 0.6\%$ 이내로 관리하는 것이 바람직하다.
- 3) 잔골재의 조립율은 점성 및 자기충전성을 고려하여 2.6 ± 0.2 범위에서 관리하는 것이 좋다.
- 4) 고성능 AE감수제의 계량오차는 1% 이내로 하여 엄격히 관리하는 것이 요구된다. 또한, 석회석 미분말의 평균입경에 대한 고유동 콘크리트의 영향은 크지 않으나, $9.7\mu\text{m}$ 를 기본으로 입경분포를 정규분포로 관리하는 것이 바람직하며, 고로슬래그의 치환율은 유동성, 점성 및 온도의존성을 고려하여 45~50% 범위에서 관리하는 것이 바람직하다.

참고문헌

- (1) Kwon, Y.H., "A study on the mix design and quality factors of the combined high flowing concrete using high belite cement", International Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.14, No.3, September, 2002. pp.121~129
- (2) 金武漢, 權寧鎬 外; "다짐불필요 콘크리트의 개발 및 시공상 문제점에 대한 고찰", 대한건축학회 추계학술발표논문집 제15권2호, 1995.11, pp.757~760
- (3) 高木 淳, 中下兼次, 名倉健, 中村龍ほか; "世界最墳のLNG地下タンクの合理化施工-東京ガス根岸工場 TL-41LNG地下式貯槽-", セメント・コンクリート, No.572, pp.8~13, 1994.10.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 지역대학 우수과학자 육성지원연구의 일환으로 수행된 것임을 밝혀드립니다.