

使用材料의 品質變動이 併用係 超流動 콘크리트의 品質特性에 미치는 影響

(인천 LNG #213, 214-Tank를 중심으로)

권 영 호

〈대우건설 인천LNG 지하탱크현장, 품질시험실장〉

유 성 열

〈대우건설 인천LNG 지하탱크현장, 품질시험팀 대리〉

전 성 근

〈대우건설 인천LNG 지하탱크현장, 토목소장〉

김 무 한

〈충남대학교 공과대학 건축공학과 교수〉

- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| 1. 머리말 | 4. 시험결과 및 고찰 |
| 2. 사용재료에 따른 기본배합 및 평가기준 | 4.1 콘크리트의 온도변화에 따른 시험결과 |
| 2.1 사용재료 | 4.2 표면수의 변동에 따른 시험결과 |
| 2.2 기본배합 | 4.3 잔골재의 조립율 변동에 따른 시험결과 |
| 2.3 평가기준 | 4.4 L.S.P의 입경변동에 따른 시험결과 |
| 3. 변수범위 및 시험방법 | 4.5 고로슬래그 치환율 변동에 따른 시험결과 |
| 3.1 변수범위 | 4.6 혼화제의 첨가량 변동에 따른 시험결과 |
| 3.2 시험방법 | 5. 맺음말 |

1. 머리말

초유동 콘크리트가 국내에 소개된 이래, 건설교통부의 국책과제로 “초유동 콘크리트의 개발 및 실용화 연구⁽¹⁾”가 대우건설·동양시멘트·한국과학기술원 공동으로 수행된 바 있으

며, 이를 계기로 지속적인 현장적용을 통해 실용화 기반을 구축해 왔기 때문에, 현재에는 초유동 콘크리트의 배합기술·재료평가 및 제조방법 등과 같은 분야에 많은 자료 및 기술력이 축적된 상태이다.^{(2),(3)} 그러나, 지금까지 초유동 콘크리트의 현장적용은 비교적 소량의 시험적

용에 국한되어 있을 뿐만 아니라, 초유동 콘크리트의 종류도 분체계가 대부분을 차지하고 있기 때문에 범용화에는 매우 제한적인 실정이었다.

최근에 와서 인천 LNG 인수기지 지하탱크의 지하연속벽(Slurry wall) 공사에 대량으로 초유동 콘크리트가 사용됨에 따라 현장 적용 및 이에 따른 실적자료가 본격적으로 축적되고 있다. 특히, LNG 저장탱크의 지하연속벽은 지하깊이가 매우 깊고 부재 단면이 큰 구조물이기 때문에, 高流動性和 材料分離 抵抗性 및 低發熱性을 갖는 초유동 콘크리트가 필요하며, 이에 대한 품질관리도 매우 엄격하다.

그러나, 초유동 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 있으며, 이러한 영향은 현장적용에 앞서 엄밀하게 검토되어야 한다.

따라서, 본 연구에서는 인천 LNG 인수기지 #213, 214 지하탱크의 지하연속벽에 적용된 병용계 초유동 콘크리트(분체계 + 증점계)에 대하여 사용재료의 품질변동 및 콘크리트의 온도변화에 따른 균지 않은 콘크리트 및 강도 특성을 실험적으로 검토한 후, 현장에서 생산·관리의 기준으로 제시하고자 한다.

2. 사용재료에 따른 기본배합 및 평가 기준

2.1 사용재료

일본의 지하연속벽 시공사례에 따르면, 초유동 콘크리트에 사용된 시멘트는 고로슬래그 시멘트(B종)에 석회석 미분말 또는 플라이에쉬를 혼합하거나 Belite 시멘트에 석회석 미

분말을 혼합 또는 Belite 시멘트를 단독으로 사용한 경우가 많았다.^{(4),(5)}

인천 LNG 지하탱크의 지하연속벽에 사용된 초유동 콘크리트의 배합설계는 해외기술선(일본의 大成建設, 大林組, 鹿島)의 시공사례 및 국내 건설업체의 시공실적, 국내 콘크리트 재료의 특성을 고려하여 정하였다.

먼저 現代建設에서 시공을 완료한 14만 kl 용량의 LNG #211, 212-TK의 지하연속벽에는 Belite 시멘트와 석회석 미분말이 사용되었으며, 大宇建設에서 시공하고 있는 20만 kl 용량의 #213-TK의 지하연속벽 경우에는 고로슬래그 시멘트와 석회석 미분말, 후속공사인 #215, 216-TK의 경우에는 Belite 시멘트와 석회석 미분말이 분체계 주재료로 사용되었다. 또한, 大宇建設에서 시공할 예정인 LNG #217, 218-TK의 지하연속벽에도 Belite 시멘트와 석회석 미분말을 사용한 초유동 콘크리트가 적용될 예정이다.

본 연구에서는 LNG #213, 214 지하탱크에 사용할 예정인 초유동 콘크리트를 대상으로 사전에 사용재료의 품질변동에 따른 콘크리트의 특성을 검토하고자 하였으며, 사용재료는 [Table 1]과 같다. 특히, 지하탱크는 지하심도가 평균 75m로 매우 깊기 때문에, 분체 외에도 증점제를 공통적으로 사용하였다.

[Table 1] Materials for slurry wall concrete

Tank No.	Cement	Binder	H.R.W.R	Viscosity agent
213-TK 214-TK	Slag cement	Lime stone powder	Poly-carbone base	Poly-saccharide

사용된 고로슬래그 시멘트(B종)는 블레인 4,000 cm^2/g , 비중 3.05, 슬래그 치환율이 평균 46.5%인 T社의 제품으로, 응결시간은 초결 270분, 종결 8:15를 나타내었다. 특히, 수화

열은 7일에 63cal/g, 28일에 74cal/g로 KS L 5210의 관리규준을 만족하였다. 석회석 미분말(L.S.P)은 블레인 8,000cm²/g, 비중 2.70, 평균입경이 9.7 μ m인 W社의 C-140를 사용하였다. 또한, 굵은골재는 F.M 6.64, 비중 2.60, 흡수율 1.05%, 마모율이 21%인 19mm 쇄석, 잔골재는 F.M 2.50, 비중 2.63, 흡수율 0.71%인 강모래를 사용하였다.

고성능 AE감수제는 비중 1.2, 단위수량비 82%, 고흥성분 36.4%인 폴리카르본계의 액상형을 사용하였다. 증점제는 점도가 800cp인 백색 분말형인 폴리싸카라이드계를 사용하였다. 이때, 고성능 AE감수제와 증점제의 적합성을 고려하여 선정하는 것이 매우 중요하였다.

2.2 기본배합

지하연속벽에 사용될 초유동 콘크리트의 기본배합(최적배합)은 물/시멘트비, 잔골재 용적비(Sr), 굵은골재 용적비(Gv), 석회석 미분말의 치환율 등의 배합변수를 대상으로 시험배합을 통해 초유동 콘크리트의 요구성능을 만족하는 조건으로 선정하였으며, 선정된 초유동 콘크리트의 배합조건은 [Table 2]와 같다.

이때, 기본배합에 사용된 고성능 AE감수제의 사용량은 11.7kg/m³, 증점제의 사용량은 0.25kg/m³이다.

[Table 2] The optimum mix design condition

Tank No.	Mix design conditions				Unit weight(kg/m ³)				
	W/C	S/a	Sr	Gv	W	C	L.S.P	S	G
213,214	41	50.8	47	50.8	180	438	70	816	781

2.3 평가규준

지하연속벽에 사용될 초유동 콘크리트에 대한 굳지 않은 콘크리트의 평가규준은 [Table 3]과 같다.⁶⁾

[Table 3] Performances for fresh concrete

Slump flow (cm)	SF 50cm reaching time (sec)	V-lot flow time (sec)	U-box height (mm)	Air content (%)
65 \pm 5	4~10	10~20	min.300	4 \pm 1

이때, 모든 요구성능은 지하연속벽의 타설 속도, 트래미관 제거시간 등을 고려하여 경시 변화 90분까지 만족하는 것을 기본으로 하였다.

3. 변수범위 및 시험방법

3.1 변수범위

사용재료의 품질변동에 따른 초유동 콘크리트의 특성을 검토하기 위한 대상 및 변수범위는 [Table 4]와 같다.

[Table 4] Variation Items for sensitivity test

Items	Range of variations	Remarks
Concrete temperature(℃)	10, 20, 30(3 Cases)	Viscosity
Unit water(kg/m ³)	W \pm 5, W \pm 10(5 Cases)	
Fineness modulus(Sand)	2.2~3.0(5 Cases)	Flow-ability
Particle size(L.S.P; μ m)	8.7, 9.7, 11.0(3 Cases)	
Dosage of admixture(%)	Base \pm 0.2, \pm 0.4(5 Cases)	Self-compaction
Replacement ratio of slag powder(%)	40, 45, 50, 55(4 Cases)	

여기서, [Table 2]에 나타난 초유동 콘크리트의 기본배합을 근거로, 1) 콘크리트 온도의 변화에 대해 3종류, 2) 잔골재의 표면수율 변동에 대해 5종류, 3) 잔골재의 조립을 변동에 대해 5종류, 4) 석회석 미분말의 평균입경 변동에 대해 3종류, 5) 고로슬래그 미분말의 치환율에 대해 4종류, 그리고 6) 고성능 AE감수

제의 첨가량 변동에 대해 5종류 등을 변수범위로 하여, 굳지 않은 콘크리트의 품질변동 및 압축강도에 대한 민감도 시험을 실시하였다.

3.2 시험방법

지하연속벽에 사용될 초유동 콘크리트의 시험방법은 일본 토목학회의 시공지침⁽⁶⁾에 따르며, 각각의 변수에 대해 [Table 3]의 평가기준을 근거로 굳지 않은 콘크리트의 민감도 시험을 실시하였다.

이때, 콘크리트 온도는 물의 온도로 조절하였고, 잔골재의 조립율은 체가름을 통한 입도 조정으로, 슬래그 시멘트의 치환율은 시멘트 공급사에서 제공하는 보통포틀랜드 시멘트에 슬래그 미분말은 치환하는 방법으로 재료의 변동요인을 결정하였다.

또한, 이러한 변수가 초유동 콘크리트의 유동성, 자기충전성, 재료분리 저항성 및 지하연속벽의 타설조건에 적합한 지를 함께 검토하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 콘크리트의 온도변화에 따른 시험결과

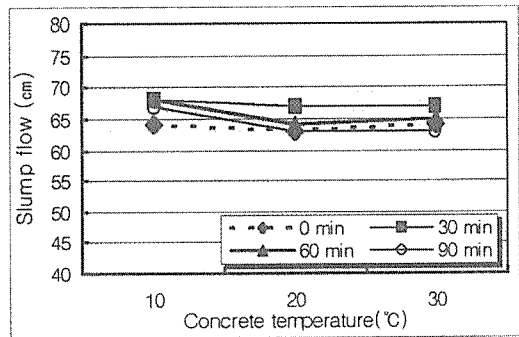
지하연속벽에 타설되는 초유동 콘크리트는 분체 및 고성능 AE감수제와 증점제가 많이 사용되는 병용계이기 때문에, 콘크리트 온도변화에 따른 품질변동이 예상된다. 특히, 증점제는 온도환경에 매우 민감하게 작용하는데 이를 사전에 검토할 필요가 있다. 일반적으로 셀룰로스 및 아크릴계 증점제를 사용할 경우에는 온도가 높아짐에 따라 점성이 감소하는 경향을 보인다. 기존의 연구결과⁽⁷⁾에 따르면, 수용성 폴리싸카라이드계 증점제는 셀룰로스 및 아크릴계에 비해 온도의 영향을 적게 받는 것

으로 나타났다. 그러나, 셀룰로스계의 경우에는 온도의 영향을 가장 많이 받는 것으로 알려져 있다.⁽⁸⁾

본 연구에 사용된 증점제는 폴리싸카라이드와 셀룰로스계의 혼합물이기 때문에, 사전에 콘크리트의 온도변화에 따른 초유동 콘크리트의 품질변동을 확인할 필요가 있다. 따라서, 콘크리트 온도변화에 따른 굳지 않은 콘크리트 및 압축강도에 대한 시험을 실시하였으며, 시험결과는 다음과 같다.

4.1.1 굳지 않은 콘크리트의 시험결과

굳지 않은 콘크리트의 품질변동을 비교하기 위하여 콘크리트의 온도(10, 20, 30℃)에 따른 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 V-lot유하시간, U형 충전성, 공기량 시험을 실시하였으며, 시험결과는 [Fig.1]과 같다. [Fig.1(a)]는 콘크리트 온도에 따른 슬럼프 플로우를 나타낸 것이다.

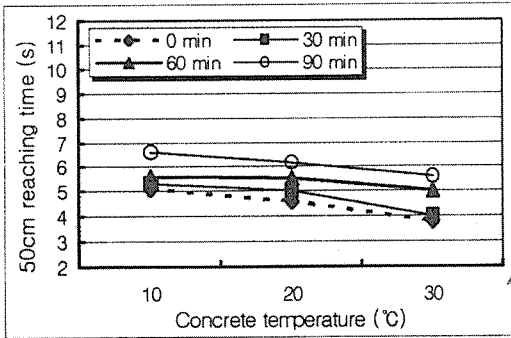


(Fig. 1(a)) Slump flow for concrete temperature

슬럼프 플로우에 대한 시험결과, 콘크리트의 온도변화에 따른 유동성 영향은 대부분 평가기준 범위(65±5cm)를 만족하기 때문에 크지 않은 것으로 나타났다.

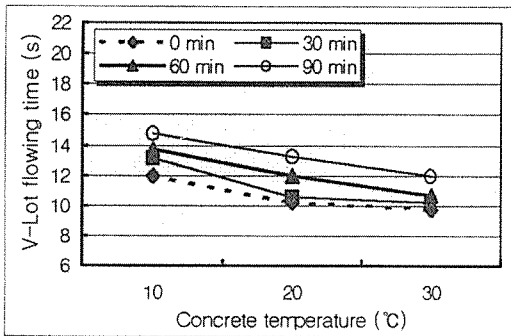
그러나, [Fig.1(b)] 및 [Fig.1(c)]에 나타난 바와 같이 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 V-

Lot 유하시간은 콘크리트의 온도변화에 민감한 것으로 나타났다.



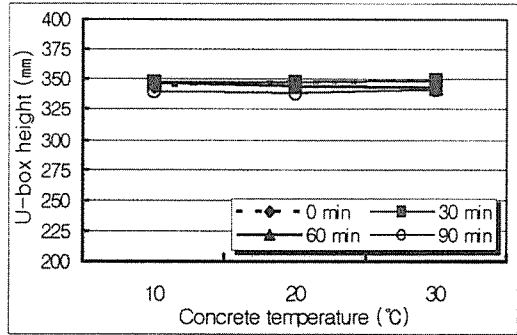
(Fig. 1(b)) 50cm reaching time for concrete temperature

즉, 콘크리트 온도가 증가할수록 점성을 나타내는 플로우 50cm 도달시간은 감소하였는데, 이는 고분자 화합물로 구성된 증점제가 높은 온도일수록 분자간의 운동이 활발해지기 때문에 분자간극의 증대로 점성이 감소된 것으로 사료된다.

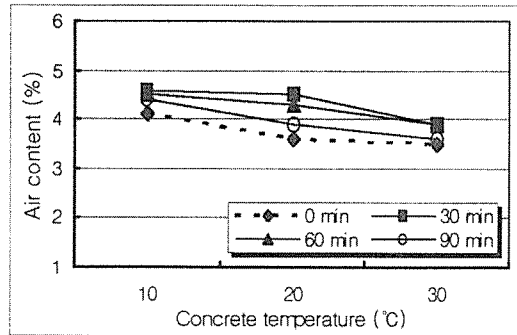


(Fig. 1(c)) V-Lot time for concrete temperature

그러나, 콘크리트 온도변화에 따른 U-box 충전성 시험결과는 [Fig. 1(d)]에 나타난 바와 같이 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 공기량은 [Fig. 1(e)]에서 보듯이 콘크리트의 온도가 높을수록 감소되는 것으로 나타났다.



(Fig. 1(d)) U-box height for concrete temperature



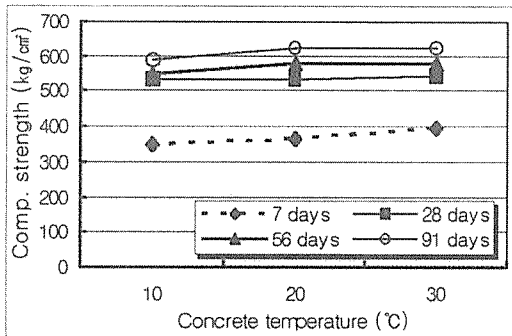
(Fig. 1(e)) Air content for concrete temperature

특히, 콘크리트의 유동성을 확보하기 위하여 사용하는 고성능 AE감수제의 경우에는 콘크리트 온도가 상승함에 따라 시멘트 입자의 분산성능이 증가하기 때문에, 증점제에 의한 증점효과를 함께 검토하는 것이 필요하다.⁽⁹⁾

따라서, 점도저하가 우려되는 여름철 공사의 경우, 온도관리 및 증점제 사용량을 조절하여 점도관리를 하는 것이 바람직할 것으로 사료되며 이때도 콘크리트 온도를 30°C 이하로 관리하는 것이 바람직하다. 반면에 겨울철 공사에는 보일러 시스템을 사용하여 콘크리트 온도를 10°C 이상으로 유지하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

4.1.2 콘크리트 온도에 따른 압축강도

콘크리트의 온도변화에 따른 재령별 압축강도의 시험결과는 [Fig.2]와 같다.



[Fig.2] Compressive strength for concrete temperature

압축강도 시험결과, 동일한 재령에서 콘크리트의 온도가 증가할수록 압축강도가 높게 나타났다. 이는 초기재령의 콘크리트 온도가 강도발현에 영향을 미치는 것으로 사료되지만, 장기재령에서는 강도발현율의 차이가 감소되는 것을 알 수 있다.

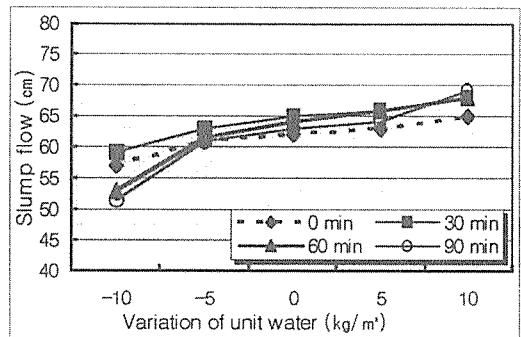
4.2 표면수의 변동에 따른 시험결과

국내 현장여건상 잔골재의 표면수 변동을 균일하게 관리하는 것은 현실적으로 매우 어렵기 때문에, 이러한 조건을 고려하여 표면수의 변동에 따른 초유동 콘크리트의 품질성능을 확인하고자 하였다. 즉, 기본배합(골재 표면수 일정)에 단위수량을 변동(기준 ± 5 , ± 10 kg/m³)시켜 굳지 않은 콘크리트의 품질특성 및 재령별 압축강도를 측정하였으며, 시험결과는 다음과 같다.

4.2.1 굳지 않은 콘크리트의 시험결과

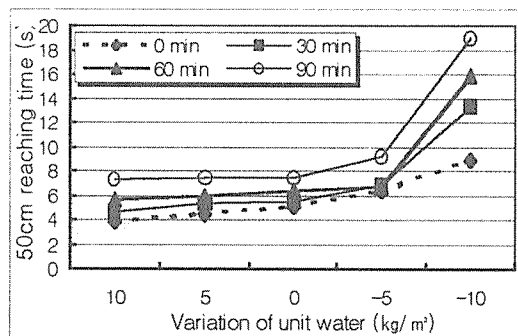
굳지 않은 콘크리트의 품질변동을 비교하기 위하여 표면수의 변동에 따른 초유동 콘크리트의 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50cm 도달 시간 및 V-lot유하시간, U형 충전성, 공기량 시험을 실시하였으며, 시험결과는 [Fig.3]과 같다.

[Fig.3(a)] 및 [Fig.3(b)]는 각각 표면수의 변동에 따른 경시변화별 슬럼프 플로우와 플로우 50cm 도달시간을 나타낸 것이다.



[Fig.3(a)] Slump flow for variation of unit water

슬럼프 플로우의 시험결과, [Fig.3(a)]에 나타난 바와 같이 단위수량의 변동폭이 -10kg/m³인 경우에는 슬럼프 플로우의 관리규준(65 \pm 5cm)을 벗어나는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 경시변화에 따라 심화되는 것을 알 수 있다.



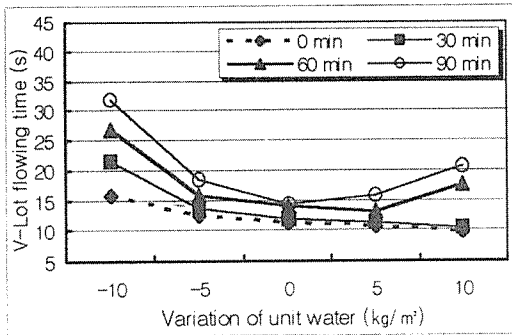
[Fig.3(b)] 50cm reaching time for variation of unit water

또한, 단위수량의 변동폭이 $+10\text{kg/m}^3$ 의 경우에는 관리규준을 만족하더라도 재료분리 경향을 보이는 것으로 나타났다.

[Fig.3(b)]의 플로우 50cm도달시간에 대한 시험결과, 단위수량이 $\pm 10\text{kg/m}^3$ 인 경우에는 경시변화에 따라 차이는 있으나 관리규준(4~10초)을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

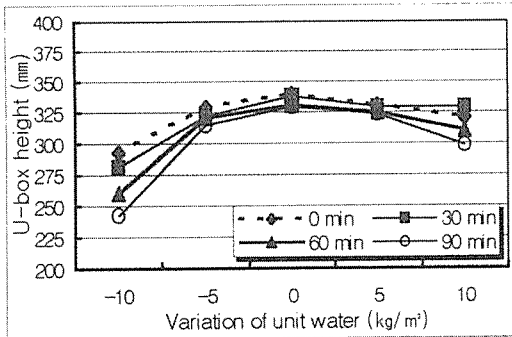
[Fig.3(c)]는 표면수의 변동에 따른 V-Lot 유하시간 시험결과를 나타낸 것이다.

V-Lot 유하시간에 대한 시험결과도 마찬가지로 단위수량이 $\pm 10\text{kg/m}^3$ 인 경우에는 경시변화에 따라 차이는 있으나, 관리규준(10~20초)을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.



[Fig.3(c)] V-Lot time for variation of unit water

[Fig.3(d)]는 표면수의 변동에 따른 U형 충전성 시험결과를 나타낸 것이다.



[Fig.3(d)] U-box height for variation of unit water

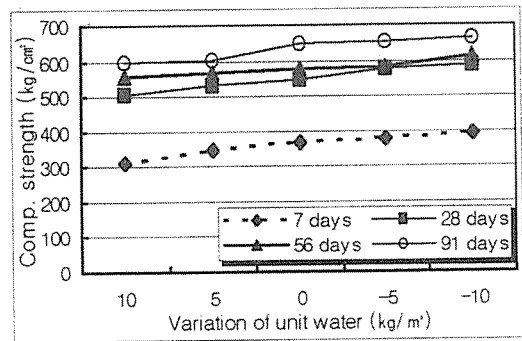
U형 충전성 시험결과, 단위수량의 변동폭이 -10kg/m^3 인 경우에는 자기충전성의 범위(300mm이상)를 벗어나는 것으로 측정되었으며, 단위수량의 변동에 따른 공기량은 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

즉, 초유동 콘크리트의 점성 및 자기충전성을 고려할 때, 단위수량의 변동범위가 $\pm 5\text{kg/m}^3$ 이내인 경우에 요구성능을 만족하는 것으로 나타났는데, 이를 잔골재의 표면수율로 환산하면 $\pm 0.6\%$ 이내의 범위로 된다.

따라서, 지하연속벽에 사용되는 초유동 콘크리트의 단위수량 변동범위는 $\pm 5\text{kg/m}^3$ (표면수율 $\pm 0.6\%$) 이내로 관리하는 것이 품질관리에 바람직할 것으로 사료된다.

4.2.2 표면수의 변동에 따른 압축강도

표면수의 변동에 따른 재령별 압축강도의 시험결과는 [Fig.4]와 같다.



[Fig.4] Compressive strength for variation of unit water

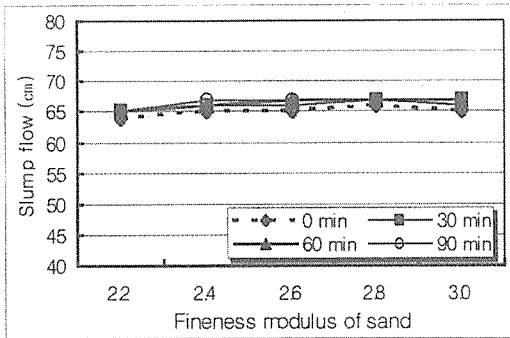
압축강도 시험결과, 단위수량이 감소할수록 강도발현이 높게 나타났는데, 이는 단위수량 5 kg/m^3 가 증가할 때 물/시멘트비가 2.8%씩 증가하기 때문으로 표면수 변동폭에 대한 목표강도는 큰 문제가 없는 것으로 사료된다.

4.3 잔골재의 조립율 변동에 따른 시험결과

LNG 지하탱크 구조물의 내구성을 고려하여 강모래를 사용하도록 규정하고 있기 때문에, 강모래는 바닷모래와 달리 조립율의 변동이 매우 크다. 이러한 영향을 검토하기 위하여 잔골재의 조립율 변동에 따른 초유동 콘크리트의 품질변동 및 압축강도를 측정하였으며, 시험결과는 다음과 같다.

4.3.1 굳지 않은 콘크리트의 시험결과

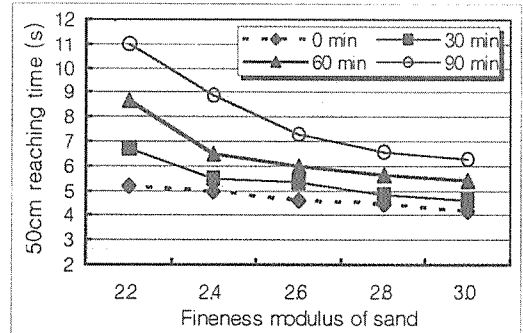
잔골재의 조립율 변동에 따른 굳지 않은 콘크리트의 품질변동을 비교하기 위하여 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 V-lot 유하시간, U형 충전성, 공기량 시험을 실시하였으며, 시험결과는 [Fig.5]와 같다.



(Fig.5(a)) Slump flow for variation of F.M(sand)

[Fig.5(a)] 및 [Fig.5(b)]는 각각 잔골재의 조립율 변동에 따른 경시변화별 슬럼프 플로우와 플로우 50cm 도달시간을 나타낸 것이다. 시험결과, [Fig.5(a)]에 나타난 바와 같이 잔골재의 조립율 변동에 따른 슬럼프 플로우는 큰 차이가 없으나, [Fig.5(b)]에서 보듯이 잔골재의 조립율은 초유동 콘크리트의 점성에는 영향을 미치는 것으로 나타났다.

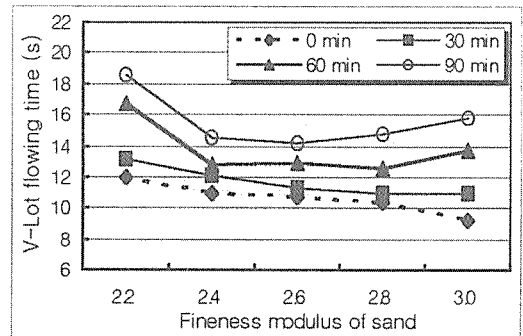
즉, 경시변화에 따라 잔골재의 조립율이 감



(Fig.5(b)) 50cm reaching time for variation of F.M(sand)

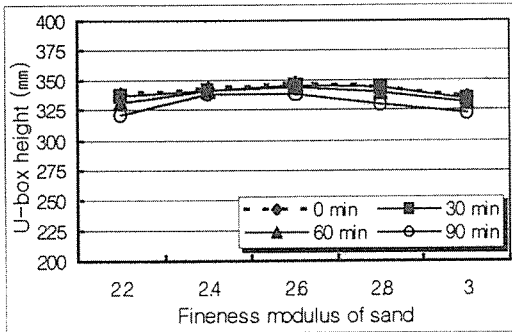
소할수록 점성이 증대되는 것으로 나타났는데, 이는 미세입자의 골재가 분체에 가까운 작용을 하기 때문으로 사료된다.

[Fig.5(c)] 및 [Fig.5(d)]는 각각 잔골재의 조립율 변동에 따른 초유동 콘크리트의 V-Lot 유하시간 및 U형 충전성 시험결과를 나타낸 것이다.



(Fig.5(c)) V-Lot flowing time for variation of F.M(sand)

특히, 조립율 변동이 큰 범위(F.M=2.2 및 3.0)에서는 경시변화에 따른 V-lot 유하시간의 증대 및 U-Box 충전성 높이의 감소를 보였는데, 이는 골재입자간의 점성과 마찰력 증대 및 맞물림 현상에 따른 것으로 사료된다. 그러나 잔골재의 조립율에 따른 공기량은 일정한 경향을 나타내지 않는 것으로 나타났다.

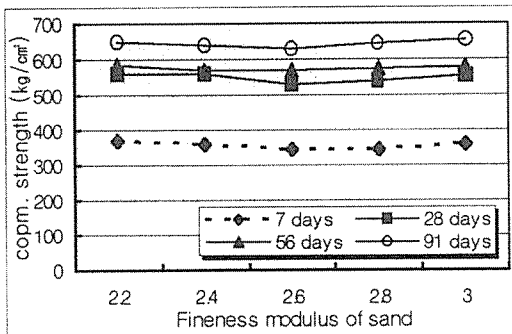


(Fig.5(d)) U-box height for variation of F.M(sand)

따라서, 현장에서 초유동 콘크리트를 생산할 때, 잔골재의 조립을 변동에 대한 품질은 2.6±0.2범위에서 관리하는 것이 요구성능을 만족하는데 바람직할 것으로 사료된다.

4.3.2 잔골재의 조립을 변동에 따른 압축강도

잔골재의 조립을 변동에 따른 재령별 압축강도의 시험결과는 [Fig.6]과 같다.



(Fig.6) Compressive strength for variation of F.M(sand)

압축강도 시험결과, 조립을 2.6을 중심으로 압축강도가 약간 증가하는 경향을 보였는데, 이는 동일조건에서 조립율의 변동에 따라 모르타르의 균일성과 부착력에 기인한 것으로 사료된다.

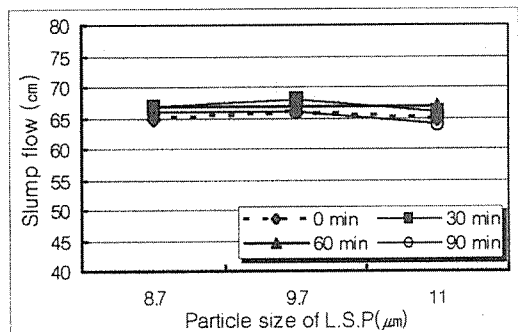
4.4 L.S.P의 입경변동에 따른 시험결과

석회석 미분말(L.S.P)은 수경성 또는 잠재수경성을 갖지 않는 무기질 분말이지만 넓은 의미에서 혼화재로 분류된다.⁽⁶⁾ 고유동 콘크리트에 석회석 미분말을 분체로 사용하면, 콘크리트 온도상승을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 점도증진 및 재료분리 저항성의 개선에도 효과적이다.⁽⁷⁾

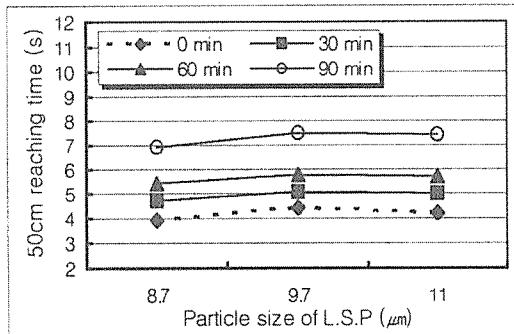
특히, 미분말의 특성상 분말도에 의한 영향이 가장 중요하지만, 국내 생산조건 및 경제성 등을 고려하여 동일 분말도(8,000cm²/g)에서 구분되어 생산되는 석회석 미분말의 평균입경에 대한 굳지 않은 콘크리트의 영향을 검토하였다.

4.4.1 굳지 않은 콘크리트의 시험결과

석회석 미분말의 평균입경에 따른 굳지 않은 콘크리트의 품질변동을 비교하기 위하여 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50cm도달시간 및 V-lot유하시간, U형 충전성, 공기량 시험을 실시하였으며, 시험결과는 [Fig.7]과 같다.

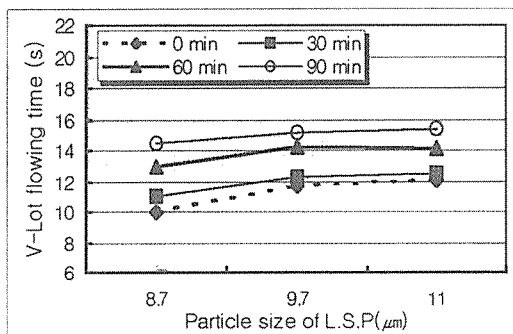


(Fig.7(a)) Slump flow for variation of L.S.P



(Fig. 7(b)) 50cm reaching time for variation of L.S.P

시험결과, [Fig. 7(a)] 및 [Fig. 7(b)]에서 보듯이 평균입경에 따른 슬럼프 플로우 및 플로우 50cm 도달시간은 큰 차이가 없었으며, 공기량도 영향이 없는 것으로 나타났다. 그러나, [Fig. 7(c)]에 나타난 바와 같이 점도 및 재료분리 저항성은 평균입경에 따라 약간의 차이를 나타내었지만, 이러한 차이는 입경의 영향보다 입도분포에 좌우되는 것으로 평가된다. 향후에는 석회석 미분말에 대한 콘크리트의 영향을 평가하기 위해 입도분포 및 평균 분말도에 따라 면밀히 평가할 필요가 있다.

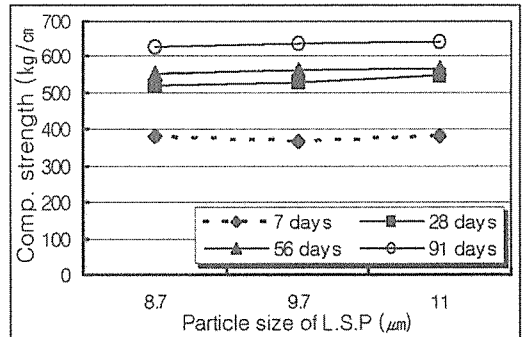


(Fig. 7(c)) V-Lot flowing time for variation of L.S.P

본 연구에서는 비교적 안정적인 결과를 나타낸 석회석 미분말의 평균입경 9.7μm를 적용대상으로 선정하였으며, 입도분포를 정규분포로 관리하도록 하였다.

4.4.2 석회석 미분말의 평균입경에 따른 압축강도

석회석 미분말의 평균입경에 따른 재령별 압축강도의 시험결과는 [Fig. 8]과 같다.



(Fig. 8) Compressive strength for variation of L.S.P

압축강도 시험결과, 큰 차이는 없지만, 석회석 미분말의 평균입경이 증가할수록 압축강도가 약간 증가하는 것으로 나타났다.

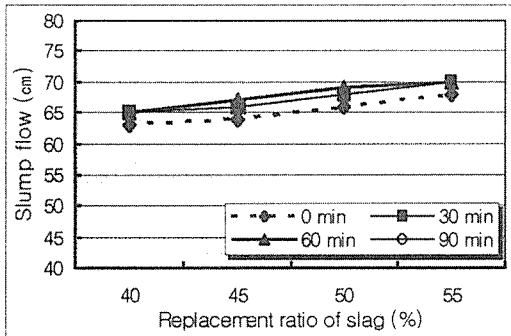
4.5 고로슬래그 치환율 변동에 따른 시험 결과

국내에서 생산되는 슬래그 시멘트의 고로슬래그 치환율은 생산업체별 차이가 있으나, 일반적으로 겨울철보다 여름철에 치환율이 증가되는 경향을 보이고 있다. 본 공사에 사용한 고로슬래그 시멘트는 슬래그 치환율이 평균 46.5%이며, 최대 56%, 최소 42% 범위를 나타내었다.

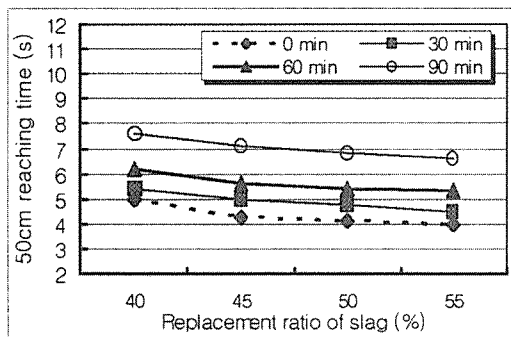
따라서, 고로슬래그의 치환율 변동이 굳지 않은 콘크리트의 품질에 미치는 영향을 검토하기 위하여, 고로슬래그 시멘트의 제조에 사용되는 동일한 제품의 보통 포틀랜드 시멘트와 슬래그 미분말을 변동범위의 비율로 치환하여 고유동 콘크리트의 성상에 미치는 영향을 검토하였다.

4.5.1 굳지 않은 콘크리트의 시험결과

고로슬래그의 치환율에 따른 굳지 않은 콘크리트의 품질변동을 비교하기 위하여 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 V-Lot 유하시간, U형 충전성, 공기량 시험을 실시하였으며, 시험결과는 [Fig.9]와 같다.



(Fig.9(a)) Slump flow for variation of Slag

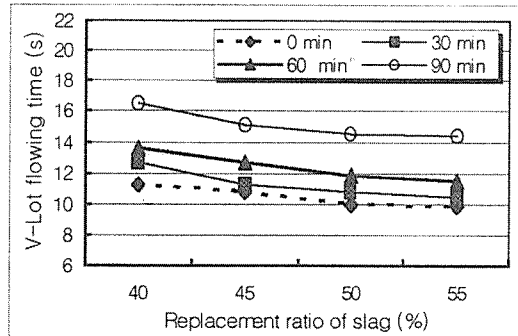


(Fig.9(b)) 50cm reaching time for variation of slag

시험결과, [Fig.9(a)] 및 [Fig.9(b)]에 나타난 바와 같이 고로슬래그의 치환율이 증대할수록 유동성은 증가하는 반면에 점성 및 재료 분리 저항성은 감소되는 경향을 나타내었다.

이는 고로슬래그 미분말이 물과 접촉하여도 시멘트와 같이 직접적인 수화작용을 하지 않을 뿐만 아니라 유리질의 평활한 입자표면이 시멘트 입자에 흡착되어 수화에 필요한 배합

수를 차단하여 剩餘水を 증가시켰기 때문으로 사료된다.⁽⁶⁾

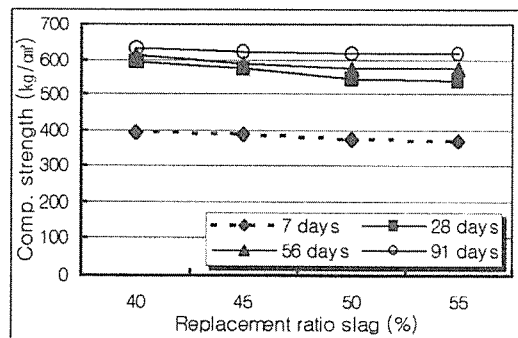


(Fig.9(c)) V-Lot flowing time for variation of slag

공기량은 고로슬래그 치환율이 증가할수록 약간 감소하는 경향을 보였으나, 큰 차이는 없었다. 따라서, 여름철 공사의 경우에는 온도상승에 따른 점도감소 및 증점제 영향을 고려하여 고로슬래그의 치환율 범위를 45~50%이 내로 관리하는 것이 바람직하다.

4.5.2 고로슬래그 치환율에 따른 압축강도

고로슬래그 치환율에 따른 재령별 압축강도의 시험결과는 [Fig.10]과 같다.



(Fig.10) Compressive strength for variation of slag

일반적으로 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 장기재령의 압축강도가 증가하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁰⁾ 그러나, 본 연구에서 나타난 강도발현 성상을 보면, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가할수록 강도발현은 감소하는 것으로 나타났으나, 장기재령으로 갈수록 감소폭이 줄어드는 것으로 나타났다.

4.6 혼화제의 첨가량 변동에 따른 시험결과

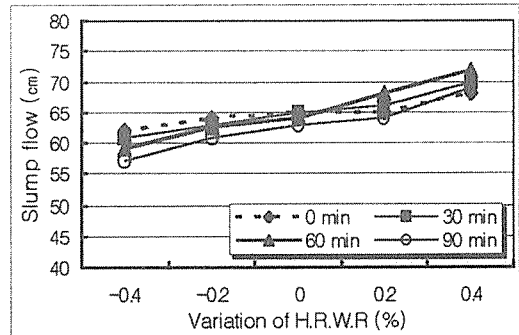
비용계 초유동 콘크리트에 사용되는 고성능 AE감수제는 자체의 물성도 중요하지만, 증점제와의 적합성에 유의해야 한다.⁽¹¹⁾ 특히, 본 연구에서는 폴리싸카라이드계 증점제를 사용하였기 때문에, 적합성에 유리한 폴리카르본계 고성능 AE감수제를 선정하였다. 그러나, 고성능 AE감수제는 콘크리트 체적에 대해 사용량은 적지만, 콘크리트의 물성에 미치는 영향은 매우 크다.

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 품질변동 및 압축강도를 측정하였다.

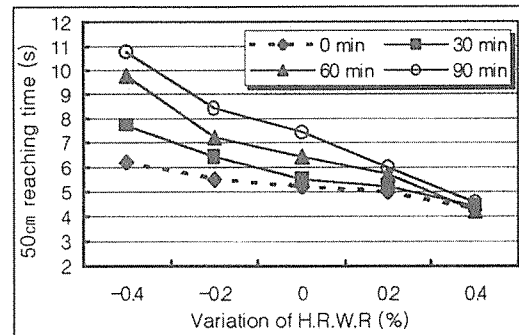
4.6.1 굳지 않은 콘크리트의 시험결과

혼화제 첨가량의 변동에 따른 굳지 않은 콘크리트의 품질변동을 비교하기 위하여 슬럼프 플로우, 슬럼프 플로우 50cm 도달시간 및 V-lot 유하시간, U형 충전성, 공기량 시험을 실시하였으며, 시험결과는 [Fig. 11]과 같다.

슬럼프 시험결과, 최종 슬럼프 플로우는 혼화제의 첨가량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으나, 50cm 도달시간은 혼화제의 첨가량이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이는 혼화제 첨가량의 증가가 유동성에 기여



(Fig. 11(a)) Slump flow for variation of H.R.W.R



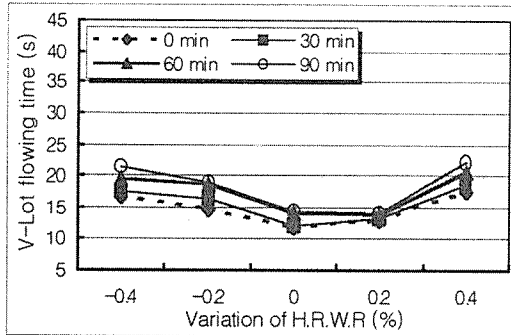
(Fig. 11(b)) 50cm reaching time for variation of H.R.W.R

하지만, 점성을 저하시켜 재료분리를 일으킬 수 있기 때문에 유의해야 할 것으로 사료된다.

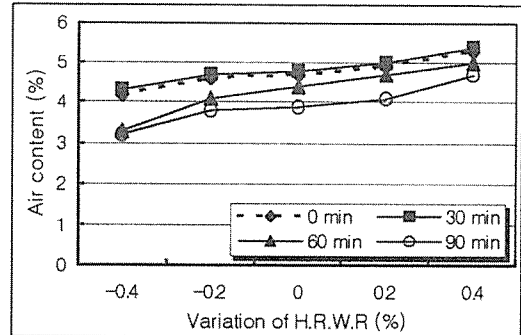
따라서, 슬럼프 플로우 및 50cm 도달시간의 측면에서 볼 때, 고성능 AE감수제의 첨가량은 기본량에 $\pm 0.2\%$ 범위에서 표준값(65 ± 5 cm)을 관리하는 것이 필요하다.

그러나, 0.4%의 경우에는 골재분리 현상이 나타났으며, -0.4%의 경우에는 유동성 부족 및 점성이 증대되기 때문에 품질관리에 어려움이 있을 것으로 판단된다.

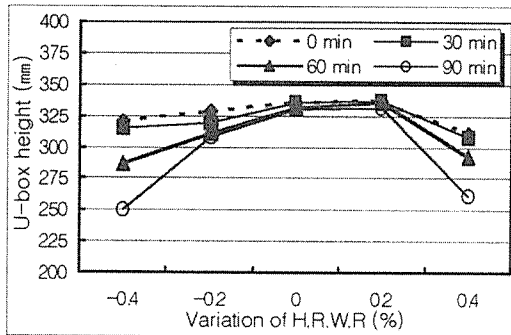
또한, V-Lot 유하시간 및 U-box 충전높이에 대한 시험결과를 분석해 볼 때, 경시변화 30분까지는 대부분 요구성능(유하시간 4~10 초 및 충전높이 300mm 이상)을 만족하였으나, 경시변화 60분부터 $\pm 0.4\%$ 범위에서는 표준



(Fig. 11(c)) V-Lot time for variation of H.R.W.R



(Fig. 11(e)) Air content for variation of H.R.W.R



(Fig. 11(d)) U-box height for variation of H.R.W.R

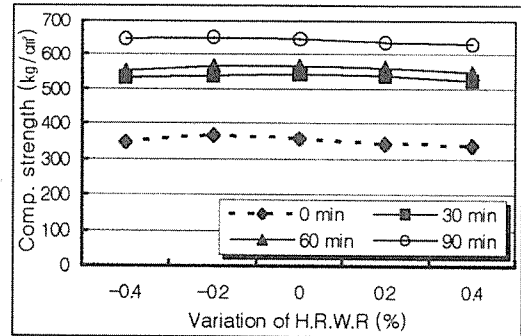
값을 벗어나는 것으로 나타났다. 즉, 0.4%인 경우에는 재료분리에 따른 골재 맞물림 현상으로, -0.4%인 경우에는 유동성 부족현상으로 각각의 규준에서 벗어났다.

공기량은 고성능 AE감수제의 첨가량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 고성능 AE감수제에 동일한 비율로 AE제가 함유되어 있기 때문이다.

고성능 AE 감수제의 첨가량이 0.4%인 경우, 공기량은 경시변화에 따라 4.7~5.3% 범위를 나타내어 규준(4±1%)을 벗어났으며, 그 외에는 대부분 만족하는 것으로 나타났다. 따라서, 현장에서 콘크리트를 생산할 때, 고성능 AE감수제에 대한 계량오차의 허용범위는 1% 이내로 하여 KS F 4009 허용값(3%이내)보다 엄격하게 관리하는 것이 바람직하다.

4.6.2 혼화제의 첨가량 변동에 따른 압축강도

혼화제의 첨가량 변동에 따른 재령별 압축강도의 시험결과는 (Fig.12)와 같다.



(Fig. 12) Compressive strength for variation of H.R.W.R

압축강도 시험결과, 기준량을 중심으로 고성능 AE감수제의 첨가량이 ±0.2%인 범위에서 가장 높게 나타났는데, 이는 콘크리트의 균일성에 따른 결과로 사료된다.

5. 결론

인천 LNG 지하탱크의 지하연속벽에 타설될 병용계 초유동 콘크리트의 최적배합에 대

하여 사용재료의 품질변동이 굳지 않은 콘크리트의 품질특성 및 압축강도에 미치는 영향을 검토한 민감도 시험에서 얻은 결론을 정리하면, 다음과 같다.

1) 콘크리트 온도변화에 따른 점성의 영향은 증점제의 작용으로 인하여 매우 민감하게 작용하기 때문에, 10~20℃로 관리하는 것이 바람직하며, 여름철의 경우에도 30℃를 넘지 않도록 관리하는 것이 바람직하다.

2) 초유동 콘크리트의 점성 및 자기충전성을 고려하여 잔골재의 표면수율 변동은 ±0.6% 이내로 관리하는 것이 요구된다.

3) 잔골재의 조립율은 고유동 콘크리트의 점성 및 자기충전성에 영향을 미치기 때문에, 2.6±0.2 범위에서 관리하는 것이 좋다.

4) 석회석 미분말의 평균입경에 대한 고유동 콘크리트의 영향은 크지 않으나, 9.7μm를 기본으로 입경분포를 정규분포로 관리하는 것이 바람직하다. 그리고 고로슬래그의 치환율은 유동성, 점성 및 온도의존성을 고려하여 45~50% 범위에서 관리하는 것이 바람직하다.

5) 고성능 AE감수제의 계량오차는 1% 이내로 엄격히 관리하는 것이 요구된다.

6) 사용재료의 품질변동에 따른 압축강도는 굳지 않은 콘크리트의 품질특성을 만족하면, 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

- (1) 朴七林, 權寧鎬 外., “超流動 콘크리트의開發 및 實用化 研究”, 建設交通部 國策課題R&D/94-0022, 대우건설기술연구소, 1996.10
- (2) 韓千求 崔應奎 外., “增粘劑를 利用한 다짐불요 콘크리트의 實用化에 관한 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집,

제17권1호, 1997. 4, pp.691~694

- (3) 金武漢, 權寧鎬 外., “다짐불필요 콘크리트의 개발 및 시공상 문제점에 대한 고찰”, 대한건축학회 추계학술발표논문집 제15권2호, 1995.11, pp.757~760
- (4) 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.
- (5) 青木茂ほか., “長大橋下部工に適用した高強度地下連續壁コンクリートの品質について”, 土木學會第46回年次學術講演會, Vol.317, 1991.
- (6) 日本土木學會., “高流動コンクリート施工指針”, 콘크리트 라이브러리-93, 1998.
- (7) 坂田 昇ほか., “增粘劑ウエランガフレッシュコンクリートの自己充墳性に及ぼす影響”, 土木學會論文集, No.538/V-31, pp.57~68, 1996.5
- (8) 山川 勉ほか., “セルロース系分離低減劑タイプ高流動コンクリートの練上り溫度(稅檀距埋鍊 湊教 第2回超流動コンクリートに關するシンポジウム論文報告集, JCI, pp.39~44, 1994.5
- (9) 名和豊春ほか., “高性能減水劑を添加したモルタルおよびセメントペーストの流動性に及ぼす溫度の影響”, 高流動コンクリート札幌シンポジウム資料集, pp.25~32, 1994.7
- (10) 前田悅孝, 近田孝夫, 長尾之彦, 檀康弘., “高爐スラグ微粉末を用いた高流動コンクリート高流動コンクリートの硬化性狀”, 第2回超流動コンクリートに關するシンポジウム論文報告書, JCI-C35, pp.83~88, 1994.

(1) 河井 徹., “流動化劑と増粘劑のコンパティビリティーに関する研究”, コンクリート工學年次論文報告集, Vol.12, No.1, pp.37~42, 1990.

(2) 青木茂, 三浦津彦, 十河茂幸., “各種鑛物質微粉末を用いた低發熱超高强度連壁コンク

リートに関する基礎研究”, コンクリート工學, Vol.15, No.1, pp.37~42, 1993.

(3) JSCE(日本土木學會)., “高流動コンクリートに関する技術の現状と問題”, Concrete Engineering Series 15. 1996.

