

# 초유동 콘크리트의 현장적용시 펌프압송 전후의 물성 변화 특성

Ready Mixed Concrete Journal

김경민 (주)대우건설 기술연구원  
유재강 (주)대우건설 기술연구원  
김동석 (주)대우건설 기술연구원

남도현 부산 센텀 리더스마크 현장  
최종원 부산 센텀 리더스마크 현장  
김영익 부산 센텀 리더스마크 현장

## 1 서론

현재 건축 구조물은 초고층화·대형화를 피하며 콘크리트도 이에 부응하여 고강도화가 국내외적으로 꾸준히 진행되어져 오고 있으며, 이와 함께 시공성능 향상을 위한 콘크리트의 초유동화는 원활한 현장 적용을 위한 필수요건이 되고 있다.

특히, 최근의 고강도·초유동 콘크리트는 낮은 물-결합재비에 의한 많은 결합재량과 콘크리트의 품질을 높이기 위한 적은 단위수량의 배합설계를 지향하게 되어, 콘크리트의 유동성 확보는 고품질의 화학혼화제를 사용한 높은 점성의 콘크리트가 주로 제조되어진다.

이러한 높은 점성의 초유동 콘크리트는 실제 현장 적용시 제조 및 생산성, 펌프 압송성, 거푸집 측압 등 여러 가지 문제가 발생되어지는데, 특히, 과도한 점성의 콘크리트는 펌핑 압송성능 저하로 이어져 펌핑관 폐색, 펌핑

후 유동성 저하 등의 문제를 유발시켜 현장 시공성능을 저하시키는 원인이 되어 이에 대한 대책마련 검토가 신중히 제기되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 현대개념의 초유동 콘크리트의 시공성 향상 기술개발을 위한 연구의 일환으로, 실제 현장에 사용되는 초유동 콘크리트의 현황을 파악하고자 하였는데, 본 고에서는 펌프압송 전·후의 단위수량 변화 특성에 대하여 간략히 소개하고자 한다.



[사진 1] 현장 조감도

## II 초유동 콘크리트의 정의

초유동 콘크리트는 고성능 콘크리트라는 큰 범위에 속하는 한 부분으로 이해하면 된다. 고성능 콘크리트라는 용어는 1989년 11월에 개최된 ACI 심포지움에서 캐나다의 Aitcin교수가 최초로 사용하였다. 이때 Aitcin교수는 콘크리트 압축강도가 80~100 MPa 범위이며, 공기연행을 하지 않더라도 동결융해에 대한 저항성을 갖고, 조강 포틀랜드 시멘트(Type III)에 6%의 실리카 흙을 혼입하여 물/결합재비 28~30% 범위인 고강도·고염해 저항성을 갖는 콘크리트를 “고성능 콘크리트”라 정의하였다. 이러한 Aitcin교수의 고성능 콘크리트 연구는 역학적 특성, 내구성, 강도 특성을 중심으로 이어지고 있다.

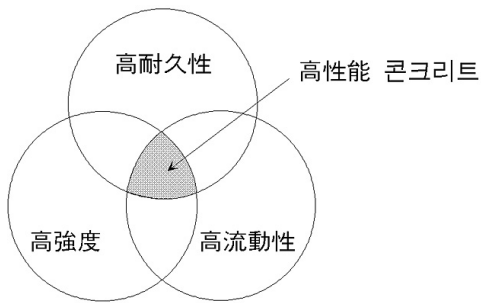
한편, 일본에서의 고성능 콘크리트 연구동향을 파악하기 위해서는 1986년 2월 일본 시멘트 협회가 주최한 콘크리트 강습회에서 동경대 岡村교수가 제창한 고성능 콘크리트의 의미를 정리할 필요가 있다. 여기에서 岡村교

수는 구조물의 내구성과 품질에 가장 큰 영향을 미치는 것이 인력에 의한 다짐성능이라 보고, 다짐을 하지 않아도 되는 특성을 콘크리트에 부여한다면, 고품질·고내구성 콘크리트를 실현할 수 있으며, 이러한 특성을 갖는 콘크리트를 “고성능 콘크리트”라 정의하였다. 1989년 1월 Chiang Mai에서 개최된 EASEC 심포지움에서 고성능 콘크리트라는 용어를 처음 사용하여 발표하였다. 여기에서 岡村교수는 Aitcin교수가 제의한 고성능 콘크리트와 정반대의 입장을 제시하였다. 즉, 일본의 경우 초유동성 콘크리트 개념이 강조되어 있으며, 미국, 캐나다 및 유럽을 비롯한 구미의 개념은 고강도·고내구성 콘크리트 개념이 강조되어 있음을 알 수 있다. 각 연구 그룹에서 제안하고 있는 고성능 콘크리트의 정의를 정리하면 [표 1]과 같고 기본성능을 나타내면 [그림 1]과 같다.

여기서, 고강도·고유동·고내구성 개념은 보통강도 콘크리트의 개념과는 구분되는 특성이며, 고성능 콘크리트의 개념은 적어도 이러한 3가지 특성을 공유해야 한다. 왜냐하면

[표 1] 고성능 콘크리트의 정의

구분	미국, 유럽 등	일본	비고
강도	- 재령 28일 $\geq 700\text{kg/cm}^2$ - 재령 1일 $\geq 350\text{kg/cm}^2$ - 재령 4시간 $\geq 200\text{kg/cm}^2$	- 재령 24시간 $\geq 100\text{kg/cm}^2$ - 재령 28일 $\geq 300\text{kg/cm}^2$	- 강도범위 다름
유동성	- 물/결합재비 $\leq 35\%$ - 우수한 워커빌리티 - 레오로지적 특성 접근	- 다짐작업 불필요 - 충전성, 균질성 실현 - 슬럼프 플로우 $65 \pm 3\text{cm}$	- 다짐여부
내구성	- 내구성지수 $\geq 80\%$ (동결융해 300 사이클 후)	- 탄산화, 염분침투 방지 - 동결융해 저항성 - 장기 내구성 향상	- 유사개념
재료	- 시멘트 재료 개선 - 실리카 흙 등 혼화제 사용	- 중용열 시멘트 사용 - 슬래그 등 분체 사용	- 강도/초유 동성 개념



[그림 1] 고성능 콘크리트의 영역

고성능 콘크리트 자체가 광범위한 개념이기 때문에, 3가지 특성을 동시에 포함하지 않을 때는 고성능 콘크리트 개념을 사용하는 것은 부적절할 뿐 아니라 혼란을 가져올 수도 있을 것이다.

### III 실험계획 및 방법

#### 3-1 실험계획

본 연구의 실험계획은 [표 2]와 같다. 즉, 콘크리트는 50MPa 이며, 목표 슬럼프플로 600±100mm인 초유동 콘크리트를 대상으로 하였다. 실험사항은 [표 1]과 같고 콘크리트의 배합은 [표 3], 그리고 현장개요는 [사진 1] 및 [표 4]와 같다.

[표 2] 실험계획

실험 요인	호칭강도(MPa)	50
	목표슬럼프플로(mm)	600±100
실험 사항	균지않은 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 슬럼프</li> <li>· 슬럼프플로</li> <li>· 공기량</li> <li>· 단위용적질량</li> <li>· 단위수량</li> <li>· 굵은골재 흡수율</li> <li>· U-BOX 충전</li> <li>· O-LOT 유하시간</li> <li>· 50cm 도달시간</li> </ul>
	경화 콘크리트	· 압축강도 (3, 7, 28일)

※ 모든 실험은 펌프압송 전 · 후를 대상으로 3회 실시함.

[표 4] 현장 조감도 및 개요

구 분	개 요
공사명	부산 센텀 리더스 마크
대지위치	부산 해운대구 우동 센텀시티 지구
용 도	업무시설(오피스텔)
규 모	지하 5층, 지상 43층
시공사	(주)대우건설

[표 3] 콘크리트의 배합사항

W/B (%)	W (kg/m³)	S/a (%)	SP/C (%)	절대용적배합 (ℓ / m³)					질량배합 (kg/m³)				
				C	FA	S1	S2	G	C	FA	S1	S2	G
30	155	43	1.25	148	24	112	168	373	465	52	291	437	973

※ S1 : 부순모래, S2 : 강모래

## 초유동 콘크리트의 현장적용시 펌프압송 전후의 물성 변화 특성



[사진 2] 펌프압송 모습



[사진 3] 펌프압송 후 타설모습



[사진 4] 단위수량 측정모습

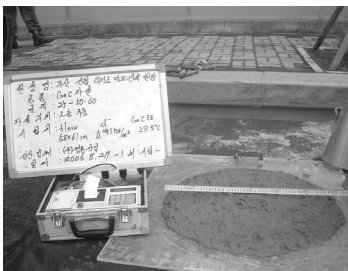
## 3-2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트 (비중 3.15, 분말도  $3,220\text{cm}^2/\text{g}$ )를 사용하였고, 잔골재는 부순모래와 강모래를 4:6(중량비)으로 혼합하여 사용하였는데, 강모래는 비중 2.59, 조립률 1.86인 경남 창녕군 현창산을, 부순모래는 비중 2.59, 조립률 3.40를 사용하였다.

굵은골재는 경남 진해시 용원산 25mm 부순 굵은골재 (비중 2.61, 조립률 6.89)를 사용하였고, 혼화재료로 고성능감수제는 국내산 E사의 폴리칼본산계를, 플라이애시는 보령산을 사용하였다.

## 3-3 실험방법

본 연구의 실험방법으로서 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였으며, 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였다. 단위수량 측정은 [사진 4]와 같이, 일본 M사의 단위수량 측정기를 이용하였고, 굵은골재 흡수율 시험은 KS F 2503에 따라 실시하였다. 유동성 실험은 U-BOX 충전시험, O-LOT 유하시간 측정 및 50cm 도달시간을 측정하였다. 경화 콘크리트의 실험으로서 압축강도 실험은 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였다.



[사진 5] 슬럼프 플로 측정모습



[사진 6] U형 충전시험 모습



[사진 7] O-LOT 유하시험 모습

IV 실험결과 및 분석

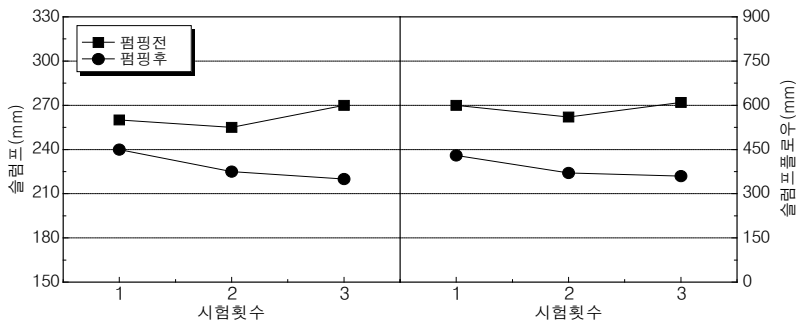
4-1 굳지않은 콘크리트의 특성

[그림 2]는 펌프압송 전후의 슬럼프 및 슬럼프플로 결과를 나타낸 것이다. 슬럼프 및 슬럼프플로 모두 펌핑 후 유동성이 저하하는 것으로 나타났는데, 특히 슬럼프플로의 경우 압송전에는 600±100mm의 목표 범위를 모두 만족하였으나, 펌프압송 후에는 350~450 mm 범위로써 약 33% 정도 저하하는 것으로 나타

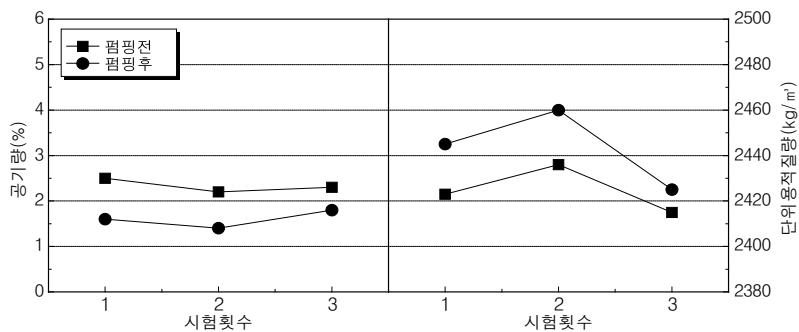
났다.

[그림 3]은 펌프압송 전후의 공기량 및 단위용적질량 결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 펌프압송 전 공기량의 경우 약 2.5% 전후를 나타내었는데, 고강도 콘크리트인 경우 내구성에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 현장에서의 공기량 확보에 대한 관리는 하지 않았으며, 펌프압송 후에는 약 1% 정도 저하하는 약 1.5% 전후인 것으로 나타났다. 단위용적질량의 경우는 공기량과 반대의 경향을 나타내었다.

[그림 4]는 펌프압송 전후의 단위수량 및



[그림 2] 펌핑압송 전후의 슬럼프 및 슬럼프플로



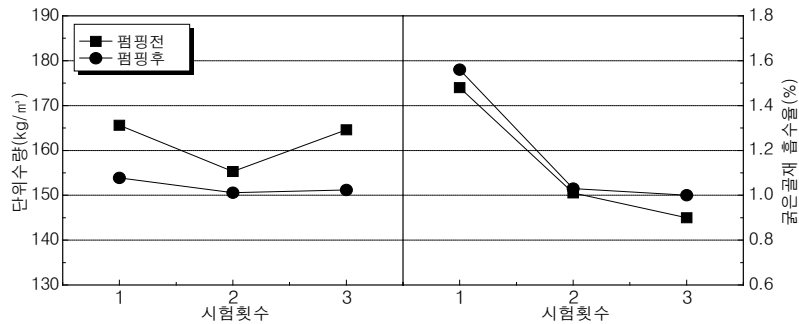
[그림 3] 펌핑압송 전후의 공기량 및 단위용적질량

## 초유동 콘크리트의 현장적용시 펌프압송 전후의 물성 변화 특성

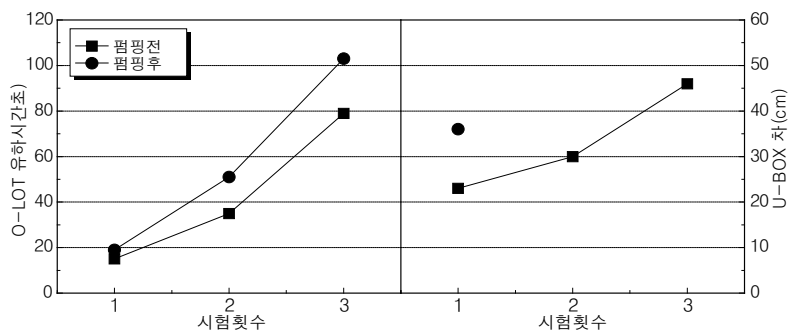
굵은골재 흡수율 시험 결과를 나타낸 것이다. 먼저 단위수량의 경우 펌프압송 전 결과에서는 실제 배합에 사용된 단위수량과 다소 차이는 발생하였으나 시험장치의 실험오차 범위인 5~10% 이내에서 측정 됨으로써 펌프압송 전후의 상대적인 검토는 가능 할 것으로 판단되었다. 3회의 실험에서 모두 펌프압송 후 약 10 kg/m<sup>3</sup>의 단위수량이 저하되는 것으로 나타났는데, 이는 펌프압송시 발생하는 압력에 의하여 골재내부로 물이 흡수된 결과로 분석되었다. 즉, 굵은골재 흡수율의 경우 약 0.1%

정도 증가하는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 펌프압송시 압력에 의해 단위수량이 손실된다는 것을 확인할 수 있다.

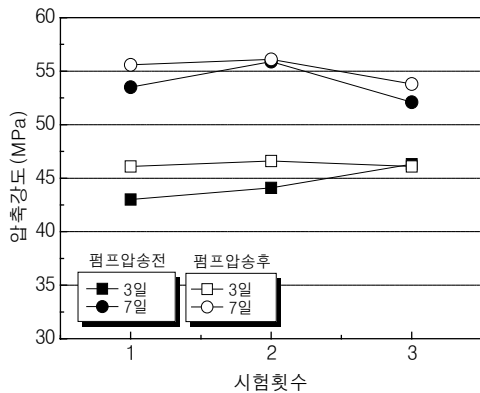
[그림 5]는 펌프압송 전후의 O-LOT 유하 시간 및 U-BOX 충전시험 결과를 나타낸 것이다. 먼저 O-LOT 유하시간의 경우 3회의 실험결과에서 모두 펌프압송 후 유하시간이 약 10~20초 가량 늦어졌고, U-BOX 충전 시험에서는 펌프압송 전의 양호한 충전 결과에 반해, 펌프압송 후에는 2회의 시험에서 충전성 실험 범위 밖의 결과를 나타내었다. 이



[그림 4] 펌핑압송 전후의 단위수량 및 굵은골재 흡수율



[그림 5] 펌핑압송 전후의 O-LOT 유하시간 및 U-BOX 충전시험



[그림 6] 펌핑압송 전후의 압축강도

두가지 실험은 초유동 콘크리트의 유동성, 간극통과성 및 충전성을 평가할 수 있는 대표적인 시험방법으로써 펌프압송 후에는 [그림 4]의 결과와 같이 굽은골재의 흡수율 증가에 의한 단위수량 감소현상이 초유동 콘크리트의 높은 점성에 부가되어 펌핑능력 저하 등 현장 시공성에 악영향을 미칠 것으로 사료되어 진다.

#### 4-2 경화콘크리트의 특성

[그림 6]은 펌프압송 전후의 재령별 압축강도를 비교한 것이다. 재령 7일의 압축강도는 호칭강도 50 MPa를 상회하는 결과로 나타났으며, 펌프압송 후의 경우, 미소하나 약 2 MPa 정도 큰 결과를 나타내었다. 이는 펌프압송시 압력에 의해 굽은골재의 흡수율이 커지며 단위수량이 저하하여 물-시멘트비가 작아졌기 때문인 것으로 분석된다. 따라서, 굳지않은 콘크리트에서는 펌프압송시 단위수량 저하에 의해 유동성이 저하하는 것으로 나타났으나, 경화콘크리트의 압축강도 측면에서

는 다소 유리한 것으로 나타났다.

이상을 종합한 결과 초유동 콘크리트의 경우 현장 펌프 압송 전후 유동성의 변화가 확연하였으며, 이로 인한 현장 시공시 발생하는 여러 가지 문제에 대한 대책마련이 필요할 것으로 사료된다.

### V 결론

본고에서는 실제 현장에 사용되는 초유동 콘크리트의 현황을 파악하고자, 펌프압송 전후의 단위수량 변화를 검토한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 슬럼프 및 슬럼프플로 모두 펌프압송 후 유동성이 저하하는 것으로 나타났는데, 특히 슬럼프플로의 경우 목표 유동성을 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 공기량의 경우는 펌프압송 후 약 1% 정도 저하하였다.
- 2) 단위수량은 펌프압송 후 약 10kg/m<sup>3</sup> 가량 저하하였고, 굽은골재 흡수율의 경우 약 0.1% 정도 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) O-LOT 유하시간 및 U-BOX 충전시험 결과 모두 펌프압송 후 현저히 저하하는 것으로 나타났다.
- 4) 압축강도 측면에서는 커다란 차이는 없으나, 펌프압송 후 다소 증가하는 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. 초유동 콘크리트 개발 및 실용화 연구 : (주)대우건설, 1997
2. 김무한 외, 고유동 콘크리트의 유동특성 평가 방법에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제

- 17권 1호, pp. 707~710, 1997
3. 백명중 외, 고성능 콘크리트 현장 시험시공, 한국콘크리트학회, 봄학술발표 논문집, 제 7권 1호, pp. 171~176
  4. 고성능 콘크리트 개발 및 실용화 : 한일 고성능 콘크리트 심포지움, 1994
  5. 고성능 콘크리트 개발 및 실용화 : 건설협회 건설기술 세미나, 1995
  6. 초유동 콘크리트의 개발에 관한 기초적 연구 : 한국 콘크리트 학회 학술발표 논문집 제 7권 1호, pp. 42~47