

자기충전 콘크리트의 현장 타설에 대한 경제성 분석

Economically Attractive Field Applications for Self-Consolidating Concrete



권승희*

Seung-Hee Kwon



김재홍**

Jae-Hong Kim

본 논문은 국제 학술회의 SCC 2005(The Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete and the Fourth International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Chicago, IL, USA, 2005, Vol. 2, pp. 1055 ~ 1060)에 초청 논문으로 발표되었으며, 2006년 1월 Concrete Construction Magazine에 같은 내용의 기사가 소개되었다. 저자는 Douglas E. Benedict(Grace Construction Products, Cambridge, MA, USA)와 Stephen J. Worsfold(Illinois Department of Transportation, Peoria, IL, USA)이다.

1. 서론

자기충전 콘크리트(SCC: self-consolidating concrete)는 근래에 도입된 가장 혁신적이고 적용범위가 넓은 건설재료로써 공사기간을 단축시킬 수 있는 효과적인 재료로 인식되어 왔다. 이에 따라 자기충전 콘크리트를 어떤 부재에 사용할 때 어느 정도의 경제적인 이득이 있는지를 평가할 필요성이 최근 대두되고 있다.

이 논문에서는 자기충전 콘크리트가 적용되었을 때 시공업체(contractors)가 얻는 경제적 이익을 정량화하고자 한다. 주로 자기충전 콘크리트를 사용함으로써 얻을 수 있는 타설과 마감에서의 비용 절감에 대해 분석이 이루어졌다. 비용과 관련된 분석을 위해서는 RSMMeans(North America's Supplier of Construction Cost Information)의 자료를 사용하였고, 자기충전 콘크리트의 시장성 분석은 시공업체로부터 얻은 자료 및 시멘트 사용량 자료를 활용하였다. 또한 일리노이주 교통국(Illinois Department of Transportation)이 시행한 피오리

아(Peoria, Illinois)를 통과하는 74번 고속도로(Interstate 74) 개량 공사의 사례를 바탕으로, 자기충전 콘크리트의 사용으로 얻을 수 있는 경제적 이득에 대해 검증하였다.

2. 연구방법

자기충전 콘크리트는 일본을 시작으로 유럽에 빠르게 전파되었고, 현재 전 세계적으로 사용량이 급격히 늘고 있다. 북미의 경우 많은 프리캐스트/프리스트레스트 콘크리트 생산 업체가 작업속도 증진, 노무비 절감, 품질 향상, 매끈한 표면 마감 등을 이유로 자기충전 콘크리트의 사용량을 늘려가고 있다. 현재 북미에서는 교통국과 관련되지 않은 프리캐스트/프리스트레스트 콘크리트 제품의 40% 이상이 자기충전 콘크리트로 생산되고 있다.

이제는 현장 타설에서 자기충전 콘크리트의 사용이 적절한 지에 대한 평가가 이루어지고 있는 단계라 볼 수 있다. 자기충전 콘크리트는 적은 노동력으로 많은 양의 콘크리트를 빠르게 타설할 수 있으며, 또한 특별한 조치 없이 높은 품질의 마감이 가능하여 공사비 절감 효과를 가져 올 수 있다. 시공업체들은 전체 공사비를 절감할 수 있는 자기충전 콘크리트에 관심은 있지만, 어떻게 비용을 절감할 수 있는지에 대한 구체적인 경험은 부족한 실정이다.

이 연구에서는 북미지역의 평균 공사비용 및 생산량에 대한 RSMMeans 자료를 바탕으로 여러 현장 타설 사례에 대해 콘크리트 생산비용, 타설비용, 마감비용의 비교를 수행하였다. RSMMeans 자료 중 단위 부피(1 cubic yard, 1 yd³=0.76 m³)의 콘크리트를 타설할 때 발생하는 전체 비용(거푸집 재료, 거푸집 가설, 철근 조립, 콘크리트 생산, 타설, 마감)에 대한 정보를 사용하였다. 자기충전 콘크리트가 적용될 경우 타설 및 마감 비용에서 절감 효과가 있으므로 어떤 부재에서 재료비 대비 비용 절감이 가장 크게 나타나는지 분석하였다. 이를 토대로 콘크리트 실무자들은 선정된 부재에 대해 비용을 얼마나 절감할 수 있는지 예측할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 보통 콘크리트를 자기충전 콘크

* 정회원, 명지대학교 토목환경공학 교수
kwon08@mju.ac.kr

** 정회원, Northwestern University ACBM Center 박사 후 연구원

리트로 대체할 때의 경제적 이득을 산정할 수 있는 경험적 모델을 개발하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 나아가 Dodge시멘트 소비량 자료를 바탕으로 선정된 부재 타설시 필요한 자기충전 콘크리트의 물량을 산정하여 자기충전 콘크리트의 시장성 평가가 이루어졌다.

3. 결과 및 분석

<그림 1>은 구조물의 각 부재별로 작업 종류에 따른 여러 비용의 비율을 분석한 RSMMeans 자료이다. 다른 종류의 구조물에서 유사한 부재에 대한 비용을 평균하여, 현장 타설된 각 부재별 단위 부피당 평균 공사비용을 구한 것이다.

부재에 따라 타설과 마감 과정에 소요되는 비용이 매우 다르다는 것을 알 수 있으며, 고려된 구조물의 종류에 따른 변동은 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 부재의 종류에 따라 자기충전 콘크리트가 적용되는 경우에 대한 경제성 분석이 타당한 것으로 판단된다.

<표 1>은 각 부재별 타설과 마감 비용이 콘크리트 생산 비용에서 차지하는 비율을 나타낸 것이다. 예를 들어 콘크리트의 생산 비용이 단위부피 당 80달러(80 USD/yd³ ≒ 104,000 원 /m³, 환율 1 USD = 1,300 원 기준)라면, <표 1>에서 제시되는 비율이 0.5인 경우 타설 또는 마감 작업에 소요되는 비용이 40달러인 것을 의미한다.

본 연구에서는 타설 비용에 대한 비율이 0.35 이상인 부재 또는 마감 비용이 0.75 이상인 부재에 자기충전 콘크리트가 적용된 경우 경제성이 높은 부재로 선정하였다. 선정된 부재는 <표 1>에서 밑줄로 표시하였다.

타설 비용은 부재별 변동폭이 작지만 마감 비용의 경우 부재별로 큰 변동을 보이고 있다. 구조물에서 기초의 경우 노출되지 않아 마감의 필요성이 적지만, 노출되는 기둥, 벽체, 슬래브 등은 외관상 표면에 대한 처리가 매우 중요하여 마감 비용이 높은 것으로 보인다.

타설과 마감 비용에 대한 분석으로부터 선정된 부재에 대하여 자기충전 콘크리트의 적용 가능성, 각 부재 별 대략적인 비용 절

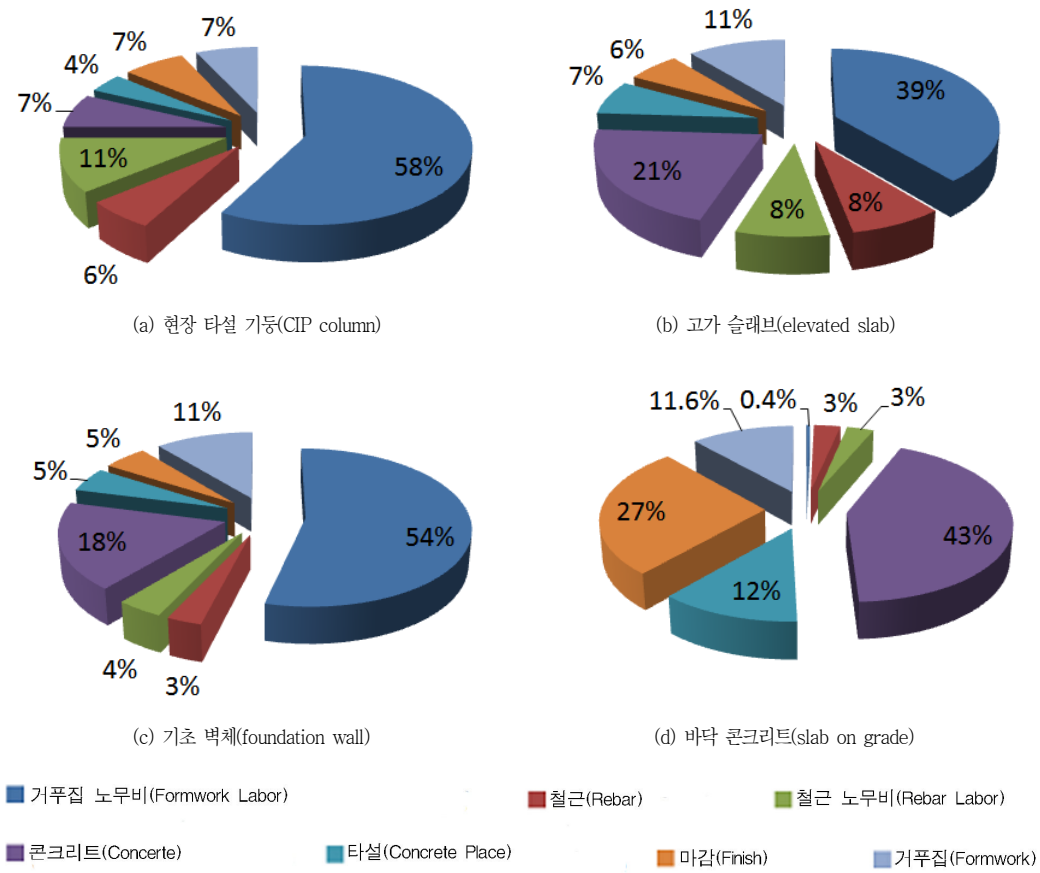


그림 1. 부재 별 건설비용 - 사무용 건축 구조물의 경우(자료제공 : RSMMeans)

표 1. 자기충전 콘크리트를 적용할 경우 경제성이 높은 부재의 선정

적용 부재 (application)	타설 비용 (placement)	마감 비용 (finishing/repair)
현장 타설 기둥(CIP column)	0.51	1.25
고가 슬래브(elevated slab/deck)	0.53	1.25
바닥 슬래브(floor slab)	0.17	0.69
기초판(footings)	0.15	0.15
바닥 콘크리트(slab on grade)	0.26	1.23
줄 기초(strip footings)	0.21	0.37
노출되지 않은 비구조 벽체(walls-non-load bearing, unexposed)	0.30	0.75
기울어진 벽체(walls-tilt-up)	0.36	0.80
노출된 구조 벽체(walls-load bearing, exposed)	0.44	1.13
노출되지 않은 구조 벽체(walls-load bearing, unexposed)	0.40	0.75
기초용 벽체(walls-foundation)	0.26	0.51
노출된 비구조 벽체(walls-non load bearing, exposed)	0.45	1.30

감, 그 밖의 효용성에 대한 분석은 콘크리트 실무자들과의 면담을 통해 수행하였다. 결론은 다음과 같다.

- 1) 자기충전 콘크리트를 사용할 경우 타설을 빠르게 진행할 수 있어 전반적으로 타설 비용을 어느 정도 절감할 수 있다.
- 2) 진동 다짐이 필요 없어, 그에 따른 작업자의 수를 줄이거나 고용 법률상 줄일 수 없을 경우에는 이동 배치시킬 수 있다.
- 3) 노출된 슬래브 또는 기울어진 벽체에서 넓은 표면에 특정한 모양을 만들 필요가 있는 경우라면, 마감 작업에서 아주 조금 이점이 있을 것이다.
- 4) 매우 높은 품질의 마감을 얻을 수 있어 엑스레이 검사 또는 코어 채취를 통해 내부 다짐을 확인할 필요성이 줄어들 것이다.
- 5) 현장 사정에 따라 다를 수는 있지만, 주어진 시간에 보다 많은 작업을 할 수 있다는 것은 큰 이점이다.

면담을 통해 자기충전 콘크리트의 경제성이 높은 부재를 최종 선정하였고, 또한 면담에 참여한 실무자들을 통해 각 부재에 자기충전 콘크리트를 사용할 경우 단위 부피 당 타설과 마감에서 절감할 수 있는 비용을 모델링하여 계산 및 검증하였다<그림 2>. 또한 북미에서 자기충전 콘크리트로 대체할 수 있는 콘크리트의 양은 매년 6천만 yd³(4,560만 m³)로 평가 되었는데, 만약 이를 모두 자기충전 콘크리트로 대체한다면 연간 25억달러(3조 2,500억원) 이상의 경제적 이득을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

4. 자기충전 콘크리트의 적용 사례 분석

2003년 봄 일리노이주 교통국은 4억6천만달러(5,980억원)의 예산으로 피오리아를 관통하는 고속도로에 대한 개량 공사를 실시하였다. 이 개량 공사는 4마일(6.4km)의 새로운 간선 도로, 우회 도로, 교차로, 42개의 교량과 옹벽 건설이 포함되어 있었다. 특히 높은 품질의 표면 마감을 통해 미관이 수려한 구조물을 만들어 준공 후 그 지역의 대표 구조물로 자리매김 되기를 기대하였다.

여러 시공업체들은 벽체 부재에 대한 양질의 마감 처리에 어려움을 겪었고, 종종 다짐 불량도 확인되었다. 일리노이주 교통국은 벽체 부재의 외관을 개선하기 위해 자기충전 콘크리트의 사용을 시도하였고, 이를 통해 꿀벌현상(honeycomb)과 같은 다짐 불량 문제도 해결할 수 있음을 확인하였다. 여러 번의 시험 타설 후, 일리노이주 교통국은 모든 시공업체에게 미관상 고도의 마감이 필요한 벽체 부재에는 자기충전 콘크리트를 사용하도록 권장하였다. 그리고 이후에는 시공업체들이 벽체 부재 이외에도 다양한 부재에 자기충전 콘크리트의 사용 허가를 요구하였다.

2003년 5월 이후 일리노이주 교통국은 1만 yd³(7,600 m³)이 넘는 수백 회의 자기충전 콘크리트 타설을 관리 감독하였다. 적용 대상도 난간벽체, 옹벽, 교대 및 교각, 터널벽, 얇은 기초, 현장 타설 말뚝 기초, 탐 기초, 외관 보수 등으로 다양화되었다. 이 논문에서는 다양한 사례 중 대표적인 세가지 경우에 대해 타설 및 마감 시간의 감소에 대해 분석하고자 한다.

첫 번째 적용 사례는 높이 20ft(6m), 길이 30ft(9m)의 전형적인 옹벽으로 약 45 yd³(34 m³)의 콘크리트가 필요한 부재

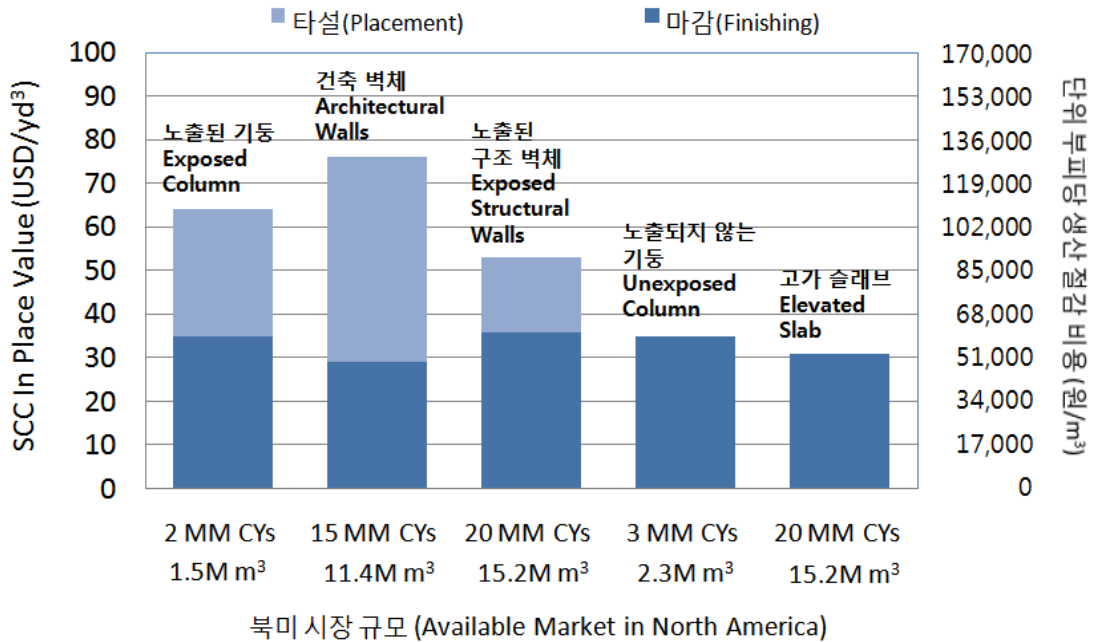


그림 2. 선정된 부재에 대한 자기충전 콘크리트의 경제적 가치

이다. 이 부재의 거푸집은 1,000 psf(48 kPa)까지 저항할 수 있도록 설계되었다. 일반적인 콘크리트를 사용한 경우 타설에 약 3~4 시간이 소요되고, 시간당 평균 14명의 작업자가 필요했다. 자기충전 콘크리트를 사용한 경우에는 타설에 약 2~2.5 시간이 소요되었고, 시간당 평균 4.5명의 작업자가 필요했다. 따라서 보통 콘크리트를 자기충전 콘크리트로 대체할 때 펌프 장비 사용시간의 30~40% 절약과 타설 작업자를 60~70% 감소시킬 수 있다. 또한 타설 이후에도 엄청난 공사비의 절약을 확인하였다. 일리노이주 교통국이 요구하는 미관 기준에 만족하기 위해서는 보통 콘크리트의 경우에는 탈형 후 부재 표면에 대한 상당량의 마감 보수가 필요한 반면 자기충전 콘크리트는 거의 필요하지 않았다.

현재 시공업체들은 자기충전 콘크리트를 타설할 때 거푸집에 발생하는 최고 압력이 1,000 psf(48 kPa)를 넘지 않도록 조절하고 있다. 하지만 만약 더 높은 압력에 저항할 수 있는 거푸집을 사용한다면, 자기충전 콘크리트의 타설 속도를 현저히 증가시켜 약 1시간 만에 타설을 완료할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

두 번째 적용사례는 매우 많은 배근이 필요한 콘크리트 기초로 120 yd³(91 m³)의 콘크리트를 사용하였다. 보통 콘크리트의 경우 평균 3시간 동안 타설하였으며, 시간당 15명의 작업자가 소요되었다. 반면 자기충전 콘크리트를 사용하면 시간당 3명의 작업자로 1.5시간 만에 타설을 완료할 수 있었다. 따라서 80%의 노무비와 50%의 펌프 장비 사용료를 절감할 수 있었다.

세 번째 경우는 9 yd³(6.8 m³)의 전형적인 현장 타설 말뚝 기

초로 펌프 장비를 사용하지 않고 타설하는 경우이다. 보통 콘크리트로 타설할 때에는 한 작업자는 믹서차 관리, 다른 한 작업자는 다짐을 하면서 약 30분이 소요된다. 자기충전 콘크리트를 사용할 경우 믹서차 관리자 한 명이 10분이면 충분히 타설을 완료할 수 있으므로 83%의 노동력을 절약할 수 있다.

두 번째와 세 번째 적용사례의 경우에는, 다소 비싼 자기충전 콘크리트의 순수 재료비를 상쇄할 만큼 타설 비용을 절감할 수는 없었다. 하지만 얇은 기초와 현장 타설말뚝 기초에 자기충전 콘크리트를 사용함으로써 전체 공기를 줄일 수 있었다고 보고되었다. 자기충전 콘크리트를 사용하면 타설 시간을 감소시켜 주어진 시간에 보다 많은 작업을 수행할 수 있다.

더 중요한 점은 자기충전 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 짧은 시간에 높은 강도가 발현된다는 점이다. 따라서 자기충전 콘크리트를 사용한 부재는 보통 콘크리트 부재보다 빠른 사용이 가능하다. 즉, 자기충전 콘크리트를 사용한 부재는 사용을 위한 최저 강도 기준에 도달하는 양생 시간이 짧아 공기 단축이 가능하다. 이번 고속도로 개량 공사에서도 빠듯한 공사 기간을 감안하여 인센티브/디스인센티브(장려/불이익) 제도를 운영하였고, 인센티브/디스인센티브 운영비는 하루에 총 7만5천달러(97,500천원)였다.

이와 같은 공사비 절감 효과뿐만 아니라, 자기충전 콘크리트를 사용함으로써 작업자들의 물리적 스트레스를 현저히 감소시켜 피로 및 안전사고를 줄일 수 있다고 보고되었다.


특정한 구조 부재에 자기충전 콘크리트를 사용함으로써 생산성 증가와 노무비 및 장비 사용료 절감을 확인하였다. 이와 같은 경제적 이득은 자기충전 콘크리트의 배합 설계, 운반 체계, 타설 속도와 거푸집 안전성의 상충 관계를 고려하여 극대화시킬 수 있다. 배합 설계에서는 충분한 유동성을 보일 수 있는 골재의 적절한 입도 분포가 제시되어야 한다. 운반 체계는 빠른 경화 특성으로 인해 콜드 조인트가 발생하지 않도록 연속적이어야 하고, 신속한 타설이 가능하도록 계획되어야 한다. 또한 거푸집의 저항 강도에 대한 구조 검토도 매우 중요하다. 타설 시간을 줄일수록 공사비를 더 많이 절감할 수 있으므로, 콘크리트의 타설 속도와 거푸집 가설 비용의 상충 관계에 대한 경제성 검토도 필요하다.

5. 결 론

이 논문에서는 현장 타설에 자기충전 콘크리트를 사용할 때 시공 업체가 얻을 수 있는 경제적 이득에 대해 분석하였다. 기대 이익이 가장 높은 부재를 찾는 방법론을 제시하였으며, 그에 따른 경

제적 가치를 실무자들과의 토론 및 모델링을 통해 산정하였다. 마지막으로 일리노이주의 고속도로 개량 공사에 대한 시공 후 분석을 통해 자기충전 콘크리트를 사용함으로써 얻을 수 있는 공사비 절감 및 잠재 수익 증대 효과에 대해 분석 및 검증이 이루어졌다.

자기충전 콘크리트로 타설하면 노동 생산성이 증가하고 마감 보수가 불필요하기 때문에, 공사비 절감 및 잠재 수익 증대를 위해 이 신 재료가 지속적으로 사용되고 있다.

현재 시공업체는 경제적으로 최적의 이득을 얻을 수 있는 자기충전 콘크리트에 대한 연구를 수행하고 있다. 앞으로 북미에서 자기충전 콘크리트를 지속적으로 더 널리 사용하기 위해서는 이에 대한 보다 많은 자료와 축적된 경험이 필요하다. 

담당 편집위원 :
박철우(강원대학교) tigerpark@kangwon.ac.kr

◇◇◇ 「포토에세이」 회원 사진 공모 ◇◇◇

「콘크리트학회지」는 격월간(홀수달)으로 발행되어 7,000여 회원을 비롯한 콘크리트 관련 업계, 학계, 유관 기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 우리 학회지는 'Photo Essay'이라는 장을 마련하여 회원님들께 감성적 욕구를 충족시켜 드리고자 노력하고 있습니다. 금번 7월호부터는 회원님들의 적극적인 참여를 유도하기 위하여 회원님께서 직접 촬영하신 사진과 간단한 에세이를 공모하고자 합니다.

- 공모기간 : 2009년 4월 1일 ~ 2009년 5월 29일
- 참여대상 : 우리 학회 회원(준회원 포함)
- 보내실 곳 : kke@kci.or.kr