

레디믹스트 쏫크리트의 현장 시공프로세스 분석 및 경제성 평가 A Study of Field Construction Process Analysis and Economic evaluation of Ready-mixed Shotcrete

김동민¹⁾, Dong-Min Kim, 마상준²⁾, Sang-Joon, Ma

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실 전임연구원, Research Specialist, Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실 연구위원, Research Fellow, Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, KICT

SYNOPSIS : Ready-mixed shotcrete mixed with high quality materials and can be controled shotcrete quality is produced in plants and transported to construction fields, so do not need a field batch plant. In this study, the field construction system that can be applied Ready-mixed Shotcrete to construction fields was proposed, and the all-in-one silo that was the key component of the field construction system was design. It was performed to evaluate the constructability that the field construction process analysis in case of applying a field batch plant and the all-in-one silo, the cost analysis of the material production and transport in a road tunnel was also performed to evaluate the economic feasibility of Ready-mixed shotcret.

Key words : Ready-mixed Shotcrete, Field Construction Process, All-in-one Silo, Economic Feasibility

1. 서 론

국내 쏫크리트용 골재는 생산업체와 현장의 품질관리 부족으로 토립분 및 석분토 등의 이물질이 15~30% 이상 섞여 있고, 편장석 비율도 기준인 20% 이상으로 높으며, 현장 배치 플랜트의 계량 및 교반 장치가 부정확하여 쏫크리트 장기내구성 및 품질저하의 주원인으로 나타나고 있다. 특히, 골재 입도와 표면 습윤상태 등의 관리부족으로 고품질의 쏫크리트 시공이 어려운 현실이며, 혼화재와 급결제를 사용하여 강도보상을 시도하고 있으나 재료 원가상승만을 유발하고 쏫크리트 품질저하의 근본적인 문제를 해결하고 있지 못하는 실정이다. 최근 쏫크리트의 이러한 고질적인 문제들을 해결하고 현장 시공 품질의 개선을 목적으로 새로운 쏫크리트 재료에 대한 개발이 수행되었다. 레디믹스트(Ready-mixed) 쏫크리트란 쏫크리트 재료의 배합 및 제조를 건조 모르타르 제조 전문업체에서 사전에 미리 실시하여, 골재의 철저한 토립분 관리, 확실한 입도관리, 전문배합 장치를 이용한 엄격한 품질관리 및 재료의 규격화 등을 거쳐 시공 품질을 극대화 시킬 수 있게 제조되는 쏫크리트 재료를 말한다.

본 연구에서는 개발된 레디믹스트 쏫크리트 재료를 가장 효과적으로 현장에 적용시킬 수 있는 시공 시스템을 도출하고자 하였는데, 현장 배치플랜트를 거치지 않고 공장에서 생산된 쏫크리트 재료를 믹싱과 함께 타설 장비에 공급하여, 개발된 재료의 품질을 가장 효과적으로 발휘할 수 있는 시공시스템을 도출하였다. 또한, 시공시스템의 핵심요소인 일체형 사일로에 대한 설계 실시하였다. 그리고 레디믹스트 쏫크리트의 시공성 및 경제성 평가를 위해 현장 배치플랜트 활용시 및 일체형 사일로 활용시의 시공프로세스 분석을 실시하였고, 경제성 평가를 위해 도로 터널에서의 생산 및 운반 단위의 공사비 분석을 실시하였다.

2. 레디믹스트 쏏크리트 현장 시공시스템 도출

2.1 현장 배치플랜트 시공시스템 도출

현장 배치플랜트에서 생산되는 쏏크리트의 경우 많은 품질저하 문제에 직면해 있고, 현장 골재 수급 및 품질 문제, 현장 배치플랜트 공간확보 제약에 따르는 문제, 건설비, 운영비, 레미콘 트럭 운영비 등 많은 제약이 있다. 또한, 해결책을 강구하기에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

그림 1은 레디믹스트 쏏크리트의 현장 시공시스템의 도식도를 나타낸 것이다. 공장에서 생산된 재료를 현장으로 운반하여 사일로로 거취하거나, 사일로 후미에 믹싱장치를 설치하여 재료 반출과 동시에 믹싱이 이루어져 쏏크리트 타설머신의 호퍼로 재료가 공급되는 흐름을 보여주고 있다.



그림 1. 레디믹스트 쏏크리트 현장 시공시스템(안)

표 1. 쏏크리트 시공 시스템 비교

구 분	현재	개선안	
		1안	2안
쏘크리트 믹싱 시스템	<ul style="list-style-type: none"> 현장배치플랜트 -시멘트 사일로 -골재 치장 -믹서 -출하설비 등 <ul style="list-style-type: none"> 레미콘 트럭 (터널내 운반) <ul style="list-style-type: none"> 쏘크리트 타설장비 <ul style="list-style-type: none"> 타설 	<ul style="list-style-type: none"> 벌크 트럭(공장) -레디믹스트 재료 운반 <ul style="list-style-type: none"> 현장배치플랜트 -믹서 및 출하설비 <ul style="list-style-type: none"> 레미콘 트럭 (터널내 운반) <ul style="list-style-type: none"> 쏘크리트 타설장비 <ul style="list-style-type: none"> 타설 	<ul style="list-style-type: none"> 사일로 트럭(공장) -레디믹스트 재료 운반 <ul style="list-style-type: none"> 사일로 트럭 믹싱 <ul style="list-style-type: none"> 사일로 트럭 (터널내 운반) <ul style="list-style-type: none"> 쏘크리트 타설장비 <ul style="list-style-type: none"> 타설
비교	<ul style="list-style-type: none"> -골재 수급 및 품질 문제 발생 -배치플랜트 공간 확보 제약 -건설비, 운영비 소요 -레미콘 트럭 운영비 소요 -최근 도심지 공사시 환경영향평가에서 현장 배치플랜트 설치가 제한되는 경향 	<ul style="list-style-type: none"> -현장 배치플랜트의 배합 과정 간략(믹싱시설만 보유) -현장 골재 저장공간 불필요 -건설비, 운영비 소요 -레미콘 트럭 운영비 소요 -최근 도심지 공사시 환경영향평가에서 현장 배치플랜트 설치가 제한되는 경향 	<ul style="list-style-type: none"> -현장 배치플랜트 불필요 -현장 골재 저장공간 불필요 -일체형 사일로 운영비 소요 -쏘크리트 재료가 타설장비까지 한번에 공급 가능 -도심지 공사시 환경영향평가 결과에 대응 가능

표 1은 쏿크리트 믹싱 시스템의 개선안을 나타낸 것이다. 현재 쏿크리트 시공시스템은 현장 배치플랜트 내에서 생산된 쏿크리트를 레미콘 트럭을 이용하여 터널 내로 운반하여 쏿크리트 타설머신 호퍼에 공급하여 타설하는 방법이 사용되고 있다. 본 연구에서는 이를 개선하고 개발된 레디믹스트 쏿크리트의 가장 효과적인 시공방법으로 2가지 개선을 제안하였다.

1안은 현장 배치플랜트의 사용 비중을 단순히 쏿크리트 재료를 믹싱하는 범위로 줄이고, 공장에서 생산된 레디믹스트 쏿크리트를 현장 배치플랜트의 믹서에서 단순히 물과 배합하는 과정만을 거치게 된다. 그 이후 과정은 기존 현장 시스템과 동일하게 레미콘 트럭을 이용하여 쏿크리트 타설머신에 공급하게 되는데, 현장 배치플랜트 설비 및 배합 과정을 간략화하고, 레디믹스트 쏿크리트 재료의 품질을 최대한 유지시킬 수 있도록 하는데 중점을 두었다.

2안은 현장 배치플랜트 자체를 철거하고 공장에서 생산된 레디믹스트 쏿크리트를 일체형 사일로 믹서로 명명한 특수한 장비를 이용하여 터널 내의 쏿크리트 타설머신까지 재료를 공급하는 방법이다. 현장 배치플랜트의 철거로 현장 공간 활용을 극대화하고 공사비 절감이 가능하며, 현장 믹서로 믹싱할 때 발생 가능한 재료 품질의 변화를 최소화할 수 있는 장점이 있다.

2.2 일체형 사일로 믹서 개발

그림 2는 본 연구를 통해 설계가 완료된 일체형 사일로 장비를 나타낸 것이다. 본 장비는 이동식 수평 사일로 믹서 시스템으로 터널과 같은 갱내로 이동하면서 직접 현장에서 쏿크리트와 같은 콘크리트 타설 작업을 할 수 있도록 한 현장 공급장치이다. 일체형 사일로 믹서는 기존 현장에서 사용되고 있는 사일로와 달리 쏿크리트 재료에 대한 각각의 사일로는 필요하지 않고, 공장에서 생산된 레디믹스트 재료를 저장할 수 있는 하나의 사일로만 필요하다. 또한, 현장 상황에 따라 변화된 쏿크리트 배합을 즉각적으로 공장에서 생산하여 현장에 적용시킬 수 있으며, 시공사에서 쏿크리트 재료 품질에 대한 관리 부담이 줄어들 수 있게 된다.

일체형 사일로는 하단에 설치된 이동식 바퀴에 의해 이동이 가능하며, 사일로 하우징 내에 수평 및 상부 이송 스크류에 의해 레디믹스트 쏿크리트가 재료 분리없이 물과 함께 연속적으로 믹싱된다. 또한, 유입관을 통해 레디믹스트 쏿크리트가 사일로 내에 충전될 때 공기압에 의해 비산되는 분진을 막기 위한 백필터 집진장치가 설치되고, 전방 측면부에 물탱크와 펌프가 일체로 형성되어 있어 배합시 별도의 물공급 설비가 필요하지 않다.

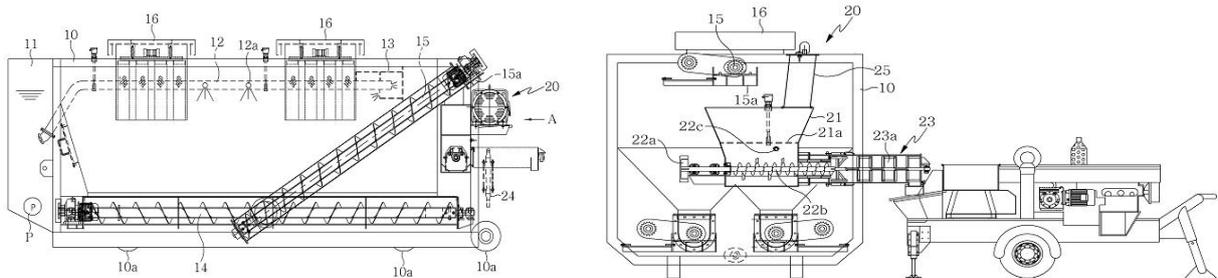


그림 2. 일체형 사일로 설계

3. 레디믹스트 쏿크리트 시공프로세스 분석

3.1 분석 개요

레디믹스트 쏿크리트의 재료 개발과 단위 공중별 시험시공 결과를 토대로 현장 시공성 분석을 수행하였는데, 공정, 재료 공급, 현장부지 활용 등 시공관리 측면의 장·단점과 쏿크리트 개선으로 인한 인접 공정의 영향분석을 실시하였다.

레디믹스트 슛크리트는 기존 현장배합 슛크리트와 달리 공장에서 생산된 제품화된 재료공급을 통해 터널 내에서 슛크리트 타설장비에 의해 직접 배합되어 시공되는데, 시공특성 분석을 통해 터널 사이클 타임 개선방안, 자재공급 최적화 방안 및 현장내 장비개선 등 기존 현장배합 슛크리트 공법과 대비하여 변화된 시공여건을 합리적으로 적용할 수 있는 시공프로세스를 정립하고자 하였다. 그리고 공사 유형별로 현장조건을 고려하여 실무 적용성을 사전 검토하고, 터널 전체 시공프로세스 및 연계공정에 미치는 전반적인 연관성을 분석하고자 하였다.

표 2. 현장배합 슛크리트와의 시공프로세스 비교·분석

구분	현장배합 슛크리트	레디믹스트 슛크리트	주요 착안사항
생산	· 현장 BP 설치	· 공장 배합시스템 운영	· 현장내 부지확보 용이 · 고품질 골재의 안정적 공급 가능
	· 주요 재료 현장공급	· 재료 공장운반 및 견식배합	· 현장 골재 저장소 불필요 · 공급 골재의 공장 품질관리 필요
	· 현장배합 후 레미콘 공급	· 현장배합 후 레미콘 공급 · 혹은, 일체형 사일로 갭 내 진입	· 현장 배합시 슛크리트 재료분리 방지 등 품질확보 가능 · 일체형 사일로 지속적 유지관리 필요
시공	· 슛크리트 타설장비 공급	· 슛크리트 타설장비 공급	-
	· 슛크리트 타설	· 슛크리트 타설	· 일체형 사일로 이동 공간 확보 필요
	· 현장정리	· 현장정리	-

3.2 분석 결과

기존 현장 배치플랜트를 활용할 경우 레디믹스트 슛크리트가 가지는 현장부지 활용 및 시공성 향상 측면의 장점은 상당부분 감소될 것으로 판단된다. 그러나 슛크리트 품질관리 효율성 향상과 리바운드량 감소 등 시공관리 및 유지관리 측면에서 볼 때 현장타설 슛크리트 공법에 비해서는 우수하게 나타났다.

일체형 사일로를 활용한 경우 터널 내 작업차량의 교행가능 여부에 따라 시공절차가 달라지며 이에 따른 시공프로세스의 차이가 발생하였다. 그러나 차량교행 여부와 관계없이 현장배합 슛크리트에 비해 배치플랜트 배합 단계가 생략되어 시공프로세스 단순화를 통한 시공성 향상이 가능한 것으로 나타났다.

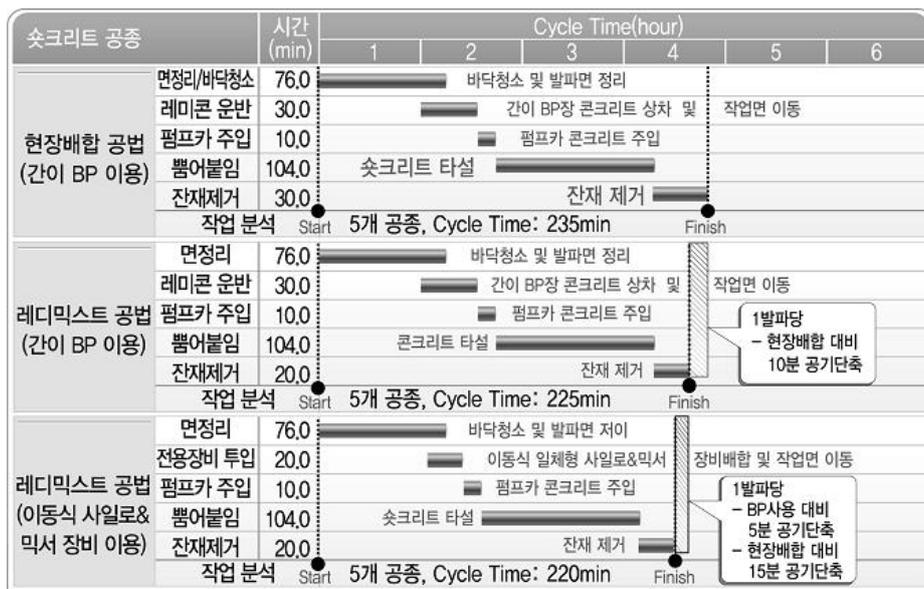


그림 4. 세부공정 분석 결과

시공프로세스 분석에 적용된 터널은 연장이 4,000m 이상인 장대터널로서 공사기간은 27개월인 장기공사로 고려하였고, 현장 배치플랜트는 패턴별 숏크리트 최대 투입량을 기준으로 60m³/hr 규격의 설비 시스템을 적용하였다. 레디믹스트 숏크리트는 현장 배치플랜트를 이용한 기존 방식과 일체형 사일로를 이용하는 2가지 안으로 고려하였다.

그림 4는 세부공정 분석 결과를 나타낸 것인데, 현장배합 숏크리트와 비교하여 현장 배치플랜트를 이용하는 경우 레디믹스트 숏크리트가 1발파당 사이클 타임이 10분 정도 단축되는 것으로 나타났다. 일체형 사일로를 이용할 경우에는 1발파당 사이클 타임이 15분까지 단축되는 것으로 나타났다.

4. 레디믹스트 숏크리트 경제성 평가

표 3은 도로터널에서 적용된 사례의 단위공사비를 나타낸 것인데, 기존 현장배합 숏크리트의 경우에는 현장 배치플랜트의 설치 및 철거비용을 추가로 계상하였다. 사례 현장의 특성을 반영하여 재료비 및 생산비용은 각 사례별로 차이가 나타나고 있으나, 이를 동일화 하지 않고 현장 특성을 반영하기 위해 직접 비교하였다. 그리고 단위공사비는 사례 현장에서 제시하고 있는 자재 단가를 적용하였으며, 노임 및 제경비의 경우 2009년 상반기 비용을 기준으로 산정하였다. 특히, 레디믹스트 숏크리트가 아직까지 국내현장에 공식적으로 시공된 사례가 없기 때문에 공식적으로 판단할 수 없는 단위공사비는 일반 시공사에서 제시한 기준을 토대로 적용하였다.

표 3. 도로터널 숏크리트 단위공사비(단위 : 원/m³)

구분	현장배합 숏크리트(A)	레디믹스트 숏크리트(B)	차이(B-A)	비고
시멘트 구입 및 운반	36,681	36,681	-	
혼화재	29,968	29,968	-	
섬유보강재	95,013	47,507	-47,506	합성섬유 사용
세골재 구입	17,187	25,780	8,593	
조골재 구입	4,692	8,531	3,839	
배치플랜트 사용료	2,975		-2,975	
동력비	1,535	1,535	-	
골재투입비	1,353		-1,353	
물사용료	1,236	1,236	-	
레미콘 트럭 사용	5,160		-5,160	
재료 공장생산비		18,684	18,684	
재료 운반비(100km)		15,768	15,768	
일체형 사일로 임대비		2,222	2,222	
계	195,800	185,690	-7,888	4.0%↓

도로터널에서 숏크리트 1m³당 단가를 비교하였을 경우 현장배합 방식에 비해 레디믹스트 방식이 4% 정도 공사단가가 절감되는 것으로 나타났다. 숏크리트 구성요소인 시멘트 등의 재료비가 지역별로 편차가 있고, 골재투입 여건의 차이 등이 현장별로 차이가 있음에 따라 발생하는 비용의 차이로 실질적인 비용 증가 또는 절감을 확정적으로 볼 수는 없을 것으로 판단된다. 특히, 도로와 같이 현장 시공여건과 재료 수급여건이 양호한 현장보다는 지하철과 같이 작업구 개설여건이 어려운 현장에서 간접비의 절감 효과가 크게 나타나는 것으로 판단된다. 또한, 도심지 지하철 공사의 경우 작업구 개설범위가 한정적이고 자재 야적장 등 부지활용이 제한적이기 때문에, 공장생산에 의한 레디믹스트 숏크리트의 적용은 실질적인 공간 활용성과 간접비 절감 효과가 더욱 크게 나타날 것으로 판단된다.

5. 결 론

(1) 개발된 레디믹스트 슛크리트 재료를 가장 효과적으로 현장에 적용시킬 수 있는 시공 시스템을 도출하였는데, 현장 배치플랜트를 통하지 않고 공장생산된 슛크리트 재료를 믹싱과 함께 타설 장비에 공급하여, 개발된 재료의 품질을 가장 효과적으로 발휘할 수 있는 시공시스템을 제안하였다. 이는 기존 현장 배치플랜트에서 생산되는 슛크리트의 골재수급 및 품질문제, 현장 배치플랜트 공간 확보, 운영비 소요 등의 문제점을 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 레디믹스트 슛크리트는 공장생산을 통해 현장에 반입되기 때문에 현장 배치플랜트를 이용한 기존 방식에 비해 시공프로세스의 단순화가 가능한 것으로 나타났고, 시공 단순화를 통한 시공성 향상이 가능한 것으로 나타났다.

(3) 공정관리 측면에서는 현장 배치플랜트 활용시 기존 대비 1 발파당 사이클 타임이 10분 단축이 가능하고, 일체형 사일로 활용시에는 기존 대비 최대 15분 단축이 가능한 것으로 나타났다. 또한, 일체형 사일로를 활용할 경우 배치플랜트 운영에 따른 불필요한 인력 및 자원투입의 배제로 경제적인 시공이 가능한 것으로 나타났다.

(4) 도로터널에서 슛크리트 1m³당 단가를 비교하였을 경우 현장배합 방식에 비해 레디믹스트 방식이 4% 정도 공사 단가가 절감되는 것으로 나타났는데, 도로와 같이 현장 시공여건과 재료 수급여건이 양호한 현장보다는 지하철 및 철도와 같이 작업구 개설여건이 어려운 현장에서 간접비의 절감 효과가 크게 나타날 것으로 판단된다. 특히, 도심지 지하철 공사의 경우 작업구 개설범위가 한정적이고 자재 야적장 등 부지활용이 제한적이기 때문에, 공장생산에 의한 레디믹스트 슛크리트의 적용은 실질적인 공간 활용성과 간접비 절감 효과가 더욱 크게 나타날 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 2006년 건설교통기술연구개발사업의 지원으로 수행된 것으로 연구를 가능케한 국토해양부에 감사드립니다.

참고문헌

1. 국토해양부(2010), **도로설계편람(터널편)**
2. 마상준, 최희섭(2008), “새로운 슛크리트 공법개발을 위한 국내 건설현장의 슛크리트 시공실태 파악”, **대한토목학회지** 기술기사
3. 최재진(1993), “레미콘의 제조설비와 운반설비, 콘크리트” **콘크리트 학회지** 제5권 제3호
4. 한국건설기술연구원(2010), **산업부산물들의 경제적 재활용과 시공품질 향상을 위한 분말형 레디믹스트 슛크리트 개발**, 국토해양부
5. 한국터널공학회(2007), **터널설계기준**
6. EFNARC(1996), *European Specification for Sprayed Concrete*