

건·습식 복합 분체 이송장치를 이용한 콘크리트 구조물의 기계화·자동화 보수시공 시스템

Repair Construction System by Complex Dry and Wet Process for Concrete Structure



김재성*
Jae-Sung Kim



김경덕*
Gyung-Duk Kim



강석표*
Suk-Pyo Kang



주동철*
Dong-Chul Joo



김정환**
Jung-Hwan Kim

1. 서 론

20세기는 끊임없는 신재료·신공법을 개발하고 이것을 이용하여 구조물을 신설하는 “개발과 건설의 시대”이었다. 이를 위하여 콘크리트는 시민사회의 다양한 요구에 대응하기 위하여 이용되어졌다. 그러나 21세기는 구조물을 건설할 뿐만 아니라 어떻게 유지하는가에 의하여 현재의 만족도를 보다 충실하게 하는 가능여부가 문제시되는 “지속가능한 발전”이 요구되어지는 시대이다. 말하자면 지어지기만 하면 좋았던 20세기로부터 짓고 올바르게 사용하는 21세기로 탈피, 성장하여야만 한다.

한편 국내 건설산업의 경우 제1차 경제개발계획이 시작된 도약기(1962 ~ 1971) 및 제1차 국토건설종합 10개년 계획이 추진되었던 성장기(1972 ~ 1982)에 국내 주요 국가기반시설물들인 교량, 댐, 하수처리시설, 항만, 공장구조물 등의 대형 철근콘크리트구조물들이 집중적으로 다량 건설되어졌다. 이러한 주요 사회기반시설물들 중 대부분을 차지하고 있는 대형 철근콘크리트 구조물이 현재 20 ~ 40년이 경과됨에 따라 조기열화현상 및 내구성 저하로 인하여 최근에 사회적인 관심사로 대두되고 있다. 그러나 최근 들어 급증하고 있는 이와 같은 대형 철근콘크리트 사회기반시설물들의 열화현상에 대하여 적절한 보수·보강공법의 발전은 아직까지도 미미한 수준에 머물고 있어 주로 수작업에 의존하고 있는 실정이다.

특히 보수·보강공사에서의 기계화·자동화 기술 발전은 신설공사와 비교하여 공사규모 및 공사금액이 아직까지는 소규모이기 때문에 현장에서의 요구가 적었으나 향후 보수공사의 대형화 및 대규모화에 대응하기 위한 적절한 시공법 개발의 필요성이 국가·경제적으로 시급히 요구되어지고 있다.

따라서 본고에서는 건·습식 복합 분체 이송장치를 이용한 기계화·자동화 시공시스템의 품질안정화 방안을 검토함으로써 향후 증가될 것으로 예상되는 대형 철근콘크리트 구조물의 보수·보강 건설산업 분야에서 안정된 품질로서 공기단축 및 공사비절감 등의 시공합리화를 도모하고자 한다.

2. 보수·보강용 뿔칠시공의 개요

대형 철근콘크리트 구조물들의 내구성 저하에 대처하기 위한 보수·보강을 목적으로 하는 새로운 보수·보강용 뿔칠공법이 개발되고 있다. 이와 같은 보수·보강용 뿔칠공법의 가장 큰 특징 중의 하나는 거의 대부분 모르타르 시공이 이루어지고 있다는 것이며 기존 미장공법 및 주입공법과 비교하여 단면적이 큰 철근콘크리트 구조물의 상 방향 및 횡 방향으로 단면을 복구하여야 하는 경우에 우수한 시공성을 발휘할 수 있다.

뿔칠공법에는 크게 건식뿔칠공법과 습식뿔칠공법으로 크게 구별할 수 있으며 그 특징을 <표 1>에 나타내었다.

2.1 보수·보강용 건식 뿔칠공법

건식 뿔칠공법은 <그림 1>에 나타난 바와 같이 물 이외의 재료를 믹서에서 혼합하고 공기압송식의 뿔칠기에 투입·압송

표 1. 뿔칠공법의 주요 특징

재료	습식뿔칠공법	건식뿔칠공법
	폴리머 시멘트 모르타르	초속경 시멘트 모르타르
시공량	0.5 m ³ /h 이하	1.0 m ³ /h 전후
1층 시공두께	20 ~ 50 mm	20 ~ 100 mm
적층간격	3시간 ~ 1일	수분 ~ 1일
시공범위	50 m	500 m
수량관리	비밀시	노출
분진발생	적음	많음
미장작업	가능	불가능

* 정회원, 한일시멘트 중앙연구소
kjs0315@hanil.com

** 정회원, 한일시멘트 중앙연구소, 소장

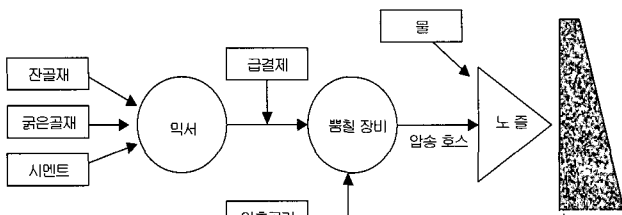


그림 1. 건식 뿜칠공법의 개요

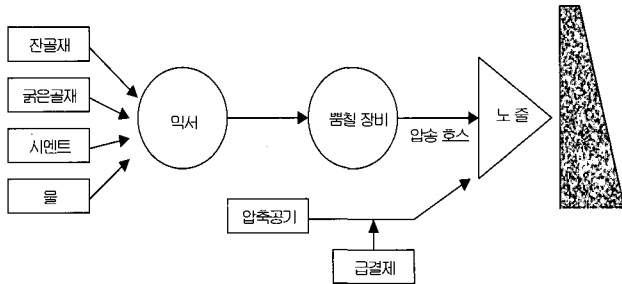


그림 2. 습식 뿜칠공법의 개요

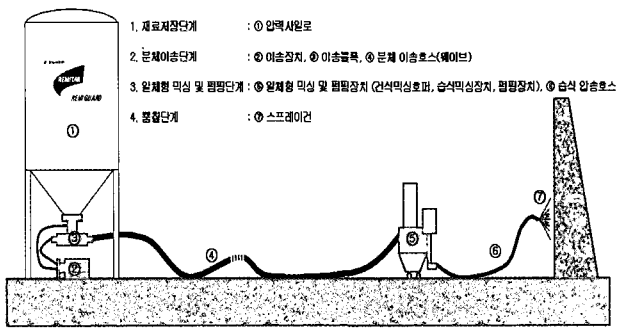


그림 3. 시스템 단계 및 구성장비

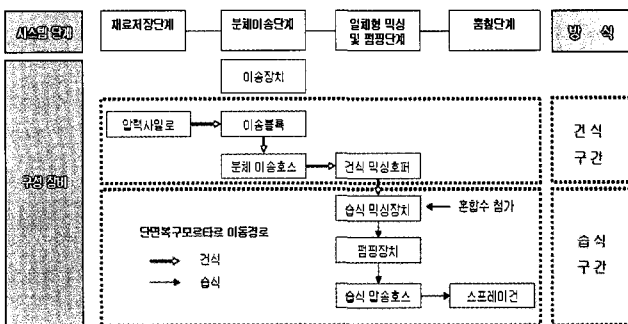


그림 4. 건·습식 복합 개념도

하여 노즐부에서 물을 첨가하고 뿜칠하는 시스템이다. 보수·보강용으로서 초기의 건식뿜칠공법은 시공환경이 협소한 부위에 적합하도록 건축물의 내화재 뿜칠기술을 응용하여 개발되어진 강섬유로 보강한 초속경 시멘트 모르타르를 사용하였으며, 현재에도 보수·보강용 건식뿜칠공법의 대표적인 공법으로서 이용되고 있다. 또한 강섬유 대체로서 유리섬유를 사용하여 시공공간이 제한되는 구조물의 박층 모르타르를 뿜칠하는 보강공

법인 유리섬유 보강 초속경 시멘트 모르타르공법도 개발되었다. 이 기술에서는 유리섬유를 모르타르재료와 함께 믹서에서 혼합하면 섬유가 파쇄되어 보강효과가 대폭적으로 저감하는 점을 개선하기 위하여 로타리커파로 절단한 유리섬유를 압송하고 노즐부근에서 모르타르에 섬유를 공급하는 뿜칠시공방법을 채택하였다. 초속경 시멘트 이외의 시멘트를 이용한 건식 뿜칠기술로서는 보통 시멘트를 이용한 공법과 폴리머 첨가형의 프리믹스 제품을 이용하는 공법 등이 있다.

2.2 보수·보강용 습식 뿜칠공법

습식 뿜칠공법은 <그림 2>에 나타낸 바와 같이 모르타르 또는 콘크리트 재료를 믹서에서 혼합하여 모르타르 펌프 등으로 압송하고 노즐부에서 공기압을 가하여 재료를 뿜칠하는 시스템이다. 습식 뿜칠공법의 경우 보수보강용으로서 일반적으로 묽은 비빔 모르타르 등을 사용한다. 이 공법은 건축 분야에서 비교적 예전부터 사용되고 있었지만 교량 등의 토목 콘크리트 구조물의 보수·보강공사에서는 최근에서부터 적용되기 시작하였다. 또한 습식 뿜칠용으로 프리믹스된 공장제품의 단면복구 재료가 사용되어짐에 따라 국내에서도 현재 수십 종의 프리믹스형 단면복구 재료가 시판되고 있다.

습식뿜칠용 프리믹스 단면복구 재료구성에 있어서의 특징은 섬유 및 폴리머의 혼입이다. 이 중 섬유는 비닐론섬유 등의 유기계 단섬유를 많이 사용하며, 그 목적은 보강효과와 더불어 단면복구 재료의 탈락방지에 있다. 섬유의 사용에 의하여 1회 시공 뿜칠두께를 증가시킬 수도 있다. 또한 폴리머는 주로 모르타르의 부착강도 확보를 목적으로 사용한다. 기타 프리믹스 단면복구재의 구성재료 중에는 팽창재와 증점재가 첨가되거나 급결제 및 경화촉진재가 병용된 것이 있으며, 지금까지의 습식 뿜칠공법에서는 뿜칠속도가 느린 것이 문제시 되었으나 최근에는 노즐 등의 뿜칠용 기기의 개량에 의하여 모르타르 품질을 저하시키지 않고 뿜칠시공속도를 빠르게 할 수 있어 국내 보수·보강 시공현장에서도 그 활용이 증대 될 것으로 사료된다.

3. 건·습식 복합 분체이송 뿜칠시공시스템

3.1 시공시스템 개요 및 구성

건·습식 복합 분체이송 뿜칠시공시스템은 25톤 규모의 사일로에 저장되어 있는 건조 단면복구모르타르를 재료분리 없이 시공반경 150m까지 연속적으로 분체이송 가능한 건식시스템과 일체형 믹싱 및 펌핑장치에 의한 기계화 뿜칠 습식시스템을 결합하여 완전 자동화 시킨 건·습식 복합 분체이송 자동화 뿜

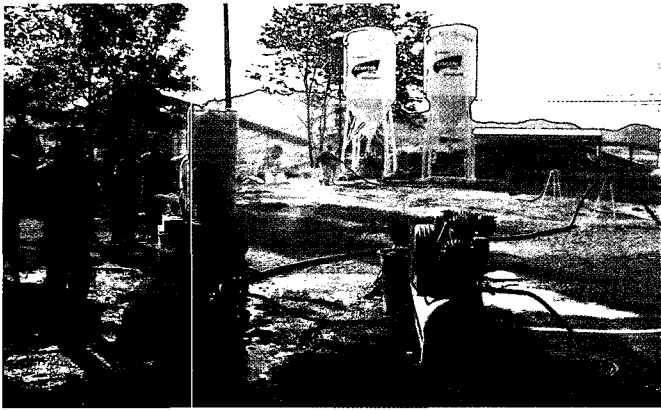


사진 1. 건·습식 복합 분체이송 시공시스템

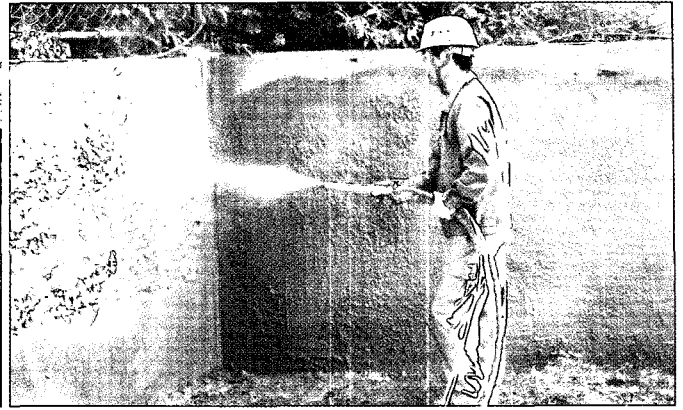


사진 2. 습식 뿜칠단계

철시공 시스템 단면복구 보수공법이다.

이를 위하여 <그림 3, 4>에 나타난 바와 같이 뿜칠시공 시스템 구성단계인 재료저장단계, 분체이송단계, 일체형 믹싱 및 펌핑단계, 뿜칠단계의 구성장비 중 압력사일로, 이송블록, 분체이송호스, 저장호퍼에서는 건식방식을 도입하고 믹싱장치, 펌핑장치, 습식압송호스, 스프레이건에서는 습식방식의 건·습식 복합방식을 도입하였다. <사진 1>은 건·습식 복합 분체이송 시공시스템이 설치된 현장을 나타낸 것이며, <사진 2>는 최종 단면복구 단계인 습식 뿜칠단계를 나타낸 것이다.

이와 같은 건·습식 복합방식 뿜칠시스템은 습식 뿜칠공법의 안정한 품질확보, 고밀도 단면복구 형성, 부착력 향상 등의 장점과 건식 뿜칠공법의 시공범위 확대 등의 장점을 모두 가져갈 수 있는 특징이 있다.

3.2 분체이송 설계를 위한 전산해석

관내부에서 속도와 압력을 구하기위한 방정식은 다음 식(1)과 같이 표현된다.

$$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla P + \mu \nabla \cdot \nabla V + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla \cdot V) + \rho f_b \quad (1)$$

운동량 방정식을 일반형으로 나타내면 다음 식(2)와 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) + S_\phi \quad (2)$$

여기에서 ϕ 는 독립변수, Γ_ϕ 는 확산계수, S_ϕ 는 생성항을 나타내며, 식에서 좌변 첫 번째 항은 검사체적 내의 시간에 따른 물리량의 변화를 나타내며, 두 번째 항은 대류항(convection

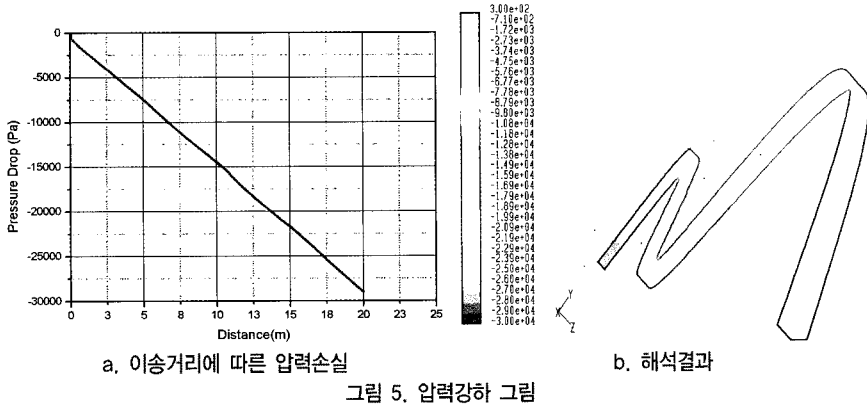
term), 우변 첫 번째 항은 확산항(diffusion term), 두 번째 항은 생성항(source term)을 나타낸다. x_i 는 i 값의 변화에 따라서 좌표가 달라지며 $i=1$ 일 때 x , $i=2$ 일 때 y , $i=3$ 일 때 z 를 나타낸다. 변수에 따라 지배방정식이 달라지며 $\phi=1$ 인 경우 연속방정식, ϕ 가 속도성분인 경우는 운동량방정식, ϕ 가 엔탈피인 경우는 에너지방정식을 나타낸다. 각각의 지배방정식에 대한 확산계수와 생성항은 다른 형태로 표현되며, 일반적으로 $S_\phi = ax + b$ 와 같이 일차함수 형태로 표현될 수 있다. S_ϕ 는 일차함수의 ax 에 해당하며, 상수값 b 는 S_c 에 해당된다. 유한체적법(FVM: Finite Volume Method)을 사용하여 검사체적에 대한 지배방정식의 차분방정식을 구하면 다음 식(3)과 같다.

$$\phi_p \sum_i (A_i - S_p) = \sum_i (A_i \phi_i) + S_c \quad (3)$$

식(3)에서 ϕ_p 는 계산 격자점 중앙에서의 독립변수, ϕ_i 는 계산 격자점 x, y, z 에서의 독립변수 A_i 는 이산화 방정식의 계수를 나타낸다. 본 연구에서는 열유체 해석 프로그램인 FLUENT를 사용하여 차분방정식 해를 구하였으며, 수렴판정은 식(4)에 나타난 바와 같이 전 영역 잔류항의 총합이 10^{-6} 이하가 되는 점이다.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{nodesP} | [A_E \phi_E + A_W \phi_W + A_N \phi_N + A_S \phi_S + S_C - A_P \phi_P] |}{\sum_{nodesP} | (A_P \phi_P) |} \leq 10^{-6} \quad (4)$$

관 직경에 비하여 길이가 매우 길기 때문에 전산해석에서는 관 직경 50 mm에 대하여 길이 20 m만 모델링 하였으며, 경계조건으로는 입구에서는 mass flow rate 조건인 10 kg/s, 밀도 2,550 kg/m³을 주어서 계산하였다.



에 적용시키기 위해, 그리고 시멘트, 각종 기능성 혼화재, 모래, 섬유 등의 다양한 재료가 혼합되어져 있는 복합재료이기 때문에 무엇보다도 분체이송 후에 재료분리 저항성이 우수하여야 한다. 이를 위하여 건·습식 복합 분체이송 장치에서는 분체이송호스의 고저차(웨이브)를 20 m 간격으로 설치함으로써 100m 이상의 장거리 분체이송시 분체이송호스에서 단면복구 모르타르가 멩쳐서 이송되도록 하였다(사진 3). 또한 (사진 4)와 같이 분체이송된 단면복구 모르타르를 일체형 믹싱 및 펌핑 장치의 저장호퍼 내부에 건조믹싱장치를 부착하여 분리되어진 단면복구모르타르를 균질하게 재혼합하였다. 따라서 본 실험에서는 분체이송에 따른 재료분리저항성을 평가하기 위하여 분체이송호스 고저차(웨이브) 및 건조믹싱장치 유무에 따른 이송압력 및 이송거리별 재료분리저항성을 0.15 mm체 잔류율을 측정하였다.(표 2)

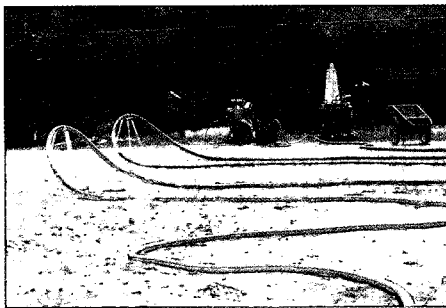
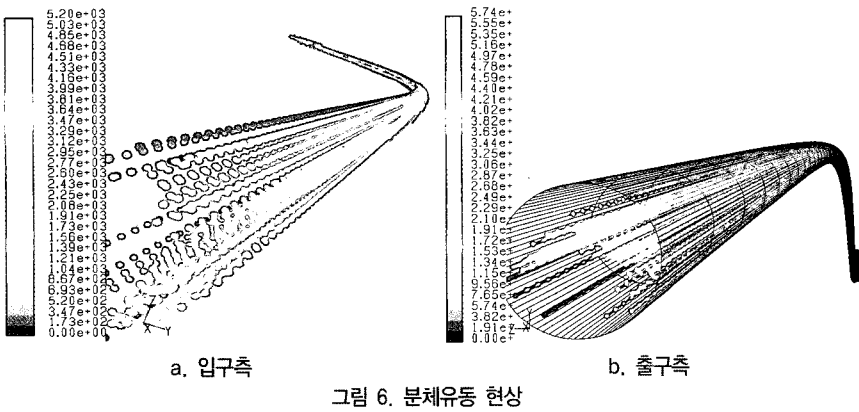


사진 3. 분체이송호스 고저차(웨이브)

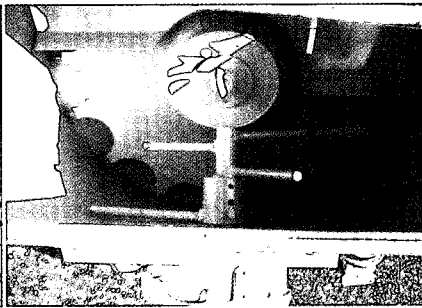


사진 4. 건조 믹싱호퍼

4.2 실험 방법

본 실험에서는 분체이송에 따른 건조 단면복구모르타르의 재료분리 저항성을 평가하고자 각 시료채취 위치에서 5개의 시료를 채취하여 최소값, 최대값, 평균, 분산을 각각 구하였다.

재료분리 저항성 평가방법으로는 건조 단면복구 모르타르의 재료설계시 모래의 중량비 60%에 대하여 ±5%를 품질관리 한

해석결과 압력강하가 20 m 당 30,200 pa인 것을 알 수 있으며, 150 m로 환산하면 226,500 pa이 됨을 알 수 있다(그림 5). 관 내부에서의 분체의 유동형태를 살펴보면 관의 모양을 M자로 하였을 경우 입구측에서 출구측 분체의 형성이 잘 혼합 되는 것을 볼 수 있다.(그림 6)

계로 설정하고 재료분리 저항성을 평가하기 위하여 분체이송호스 웨이브 및 건조믹싱호퍼를 통과하지 않은 경우와 통과한 경우로 나누어 단면복구 모르타르의 0.15 mm체 잔류율을 측정하였다.

4. 분체이송에 따른 단면복구모르타르 재료분리 저항성

4.1 실험계획

고품질을 요구하는 단면복구 모르타르를 공기 압송에 의하여 파이프 라인을 통과시켜 장거리 이송시키기 위한 분체이송장치

표 2. 분체이송의 재료분리저항성 평가 실험계획

시료채취 사일로	이송압력 (bar)	이송거리(m)	측정항목
호스 웨이브+	0.6	100	· 0.15 mm체 잔류율(%) · 압축강도(kgf/cm ²) · 체가름시험
건조믹싱호퍼 有 통과후	0.9	50, 100, 150	
	1.2	100	
호스 웨이브+	0.6	100	· 0.15mm체 잔류율 (%) · 체가름시험
건조믹싱호퍼 無 통과후	0.9	50, 100, 150	
	1.2	100	

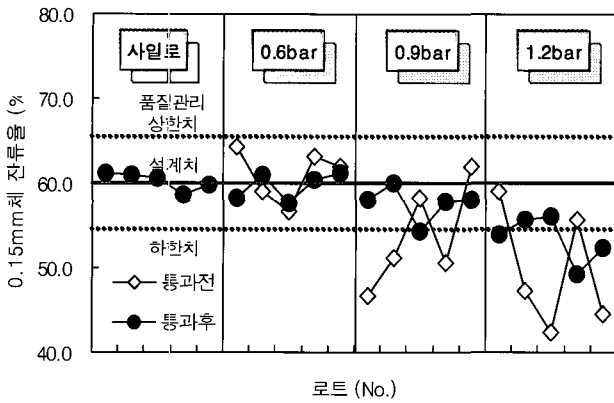


그림 7. 이송압력에 따른 0.15 mm체 잔류율

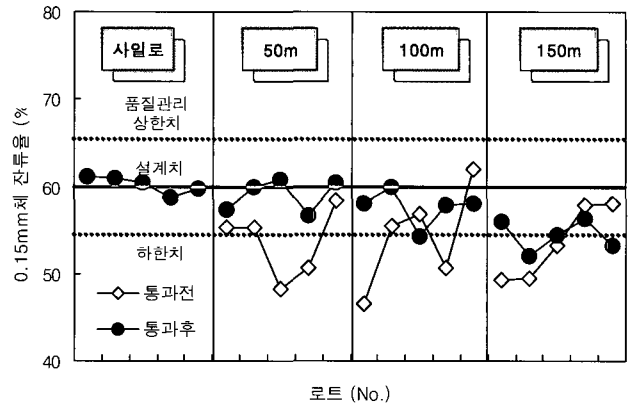


그림 8. 이송거리에 따른 0.15 mm체 잔류율

4.3 결과 및 고찰

4.3.1 분체이송압력에 따른 재료분리저항성

분체이송압력에 따른 건조단면복구 모르타르의 성능평가를 (그림 7)에 나타내었다. 분체이송호스 웨이브 및 건식믹싱호퍼를 통과하지 않은 경우, 이송공기압 0.6 bar에서는 품질관리 기준은 만족하고 있지만 낮은 공기압으로 인해 이송중 호스의 막힘 현상이 자주 발생되어 단면복구 모르타르를 분체이송에 활용하기에는 적합하지 못한 것으로 판단된다. 또한 이송공기압 0.9 bar에서는 분체 이송 중 호스의 막힘 현상은 나타나지 않았으나 품질관리 기준치를 다소 벗어나고 있는 것으로 나타났으며, 이송압력 1.2 bar에서는 높은 이송공기압으로 인해 비교적 미립의 혼합재료들이 이송 중 재료분리현상을 나타내어 품질관리 기준치를 벗어나고 있다.

분체이송 웨이브 및 건식믹싱호퍼를 통과한 경우, 분체이송된 단면복구 모르타르는 통과전과 비교하여 전체적으로 시료의 편차가 적게 나타나고 있으며 이송압력이 증가할수록 0.15 mm체 잔류율은 감소하는 경향을 보이고 있다.

상기의 평가결과 건조 단면복구 모르타르를 공기압에 의해 분체이송하기 위해서는 최소 0.6 bar 이상의 공기압을 사용하여야 하며 이송공기압이 높을수록 미립재료의 비행유동에 의해 재료분리도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 단면복구 모르타르를 재료분리없이 분체이송하기 위한 적정 분체 이송압력은 0.8 ~ 0.9 bar로 사료된다.

4.3.2 분체이송거리에 따른 재료분리저항성

분체이송거리에 따른 건조단면복구 모르타르의 성능평가를 (그림 8)에 나타내었다. 분체이송호스 웨이브 및 건식믹싱호퍼를 통과하지 않은 경우, 분체이송된 단면복구 모르타르의 0.15 mm체 평균 잔류율은 이송거리가 증가함에 따라 다소 감소하

는 경향을 나타내고 있다. 이송거리 50 m에서도 품질관리 기준에 벗어나는 시료도 있었으며 이송거리 150 m에서도 품질관리 하한치에 6% 이상 벗어나고 있어 이송거리에 관계없이 단면복구 모르타르를 분체이송에 활용하기 위한 품질관리에 문제가 있을 것으로 판단된다.

그러나 분체이송 웨이브 및 건식믹싱호퍼를 통과한 경우, 분체이송된 단면복구 모르타르는 통과전과 비교하여 전체적으로 시료의 편차가 적게 나타나고 있으며 이송거리 150 m에서도 품질관리 하한치에 근접하고 있어 이송거리 150 m까지 건조 단면복구 모르타르의 분체이송이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론


보수·보강공사에서의 기계화·자동화 기술 발전은 신설공사와 비교하여 공사규모 및 공사금액이 아직까지는 소규모이기 때문에 현장에서의 요구가 적었으나 향후 보수공사의 대형화 및 대규모화에 대응하기 위해서는 이에 대한 국가·사회적인 요구가 증대되어지고 있다.

건·습식 복합 분체이송 시스템은 25톤 규모의 사일로에 저장되어 있는 건조 단면복구 모르타르를 재료분리 없이 시공반경 150 m까지 연속적으로 분체이송 가능한 건식시스템과 일체형 믹싱 및 펌핑장치에 의한 기계화 뿔칠 습식시스템을 결합하여 기계화·자동화 시킨 보수·보강 시공시스템이다. 이와 같은 건·습식 복합 분체이송 시스템의 장점으로서 기존 습식 뿔칠공법에서의 안정된 품질, 고밀도 단면복구 형성, 부착력 향상 등의 장점과 기존 건식 뿔칠공법에서의 시공범위 확대 등의 장점을 확보할 수 있다.

그러나 고품질을 요구하는 단면복구 모르타르를 공기 압송에 의하여 파이프 라인을 통과시켜 장거리 이송시키기 위한 분체 이송장치에 적용시키기 위해서는 무엇보다도 시멘트, 각종 기

능성 혼화재, 모래, 섬유 등의 다양한 재료가 혼합되어져 있는 복합재료이기 때문에 분체이송 후에 재료분리저항성이 우수하여야 한다.

이를 위하여 분체이송호스 웨이브 및 건조믹싱장치를 건식방식에 도입하여 재료분리 저항성을 평가하여 본 결과 분체이송 호스 웨이브 및 건조믹싱장치를 통과하지 않은 시료와 비교하여 상대적으로 양호한 재료분리저항성을 확보할 수 있었으며 재료분리 저항성에 대한 품질관리 범위 안에서 분체이송하기 위한 적정 분체 이송압력은 0.8 ~ 0.9 bar, 분체 이송거리의 최대 150 m 수준으로 나타났다.

이와 같이 건·습식 복합 분체 이송시스템은 인력의존도가 상대적으로 높은 보수·보강 건설산업 분야에서 시공장비를 기계화·자동화시킴으로서 공기단축 및 공사비절감 등의 시공합리화를 도모할 것으로 예상되어 향후 그 활용이 기대된다. 

참고문헌

1. 한일시멘트(주), "아질산계 하이드로탈사이트를 혼입한 단면복구모르타르 및 밀폐형 건·습식 복합 분체이송·압송장치에 의한 콘크

- 리트구조물의 보수공법(제462호)", 건설교통부 신기술 신청서, 2005. 7.
2. 일본콘크리트공학협회, "콘크리트의ひび割れ調査", 補修・補強指針-2003, 2003. 6.
3. 武若耕司 外, "補修・補強用吹付けコンクリートの現状と課題, コンクリート工学, Vol.42, No.5, 2004. 5, pp.80~85.
4. 浅野 外, "超速硬セメントと鋼纖維を用いた吹付けコンクリートによる急速補修工事", 콘크리트工学, Vol.29, No.2, 1986. 2, pp.29~35.
5. 牛島 外, "ガラス纖維と超速硬セメントを用いた吹付けモルタルの施工方法及び 諸性状", 콘크리트工学年次大會論文報告集, 1987, pp.479~482.
6. 北後 外, "補強鐵筋と吹付けモルタルを用いた既設構造物の補強に関する研究", セメント技術年報, 第40号, 1986, pp.487~490.
7. 강석표 외, "방청제 혼입 프라이머 및 단면복구모르타르를 사용한 철근부식보수공법의 철근방청성능 평가", 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, Vol.16 No.2, 2004. 11, pp.793~796.
8. 김무한 외, "기계화시공에 의한 보수재료의 현장품질관리확립을 위한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, Vol.16 No.1, 2004. 5, pp.160~163.

원고 모집 안내

「한국콘크리트학회지」는 콘크리트 관련 학문과 기술에 대한 정보를 제공하기 위해 발행되고 있습니다. 본 학회지를 통해서 자신의 연구 결과, 경험한 사례 등을 콘크리트 관련 기술자들과 함께 나누길 원하시는 분께서는 다음과 같은 형태로 참여하실 수 있습니다. 여러분의 육고를 기다리겠습니다.

- 원고 주제 : 포토에세이(사진, 서예, 시 등), 특집기사, 기술기사, 공사기사, 문헌기사, 해외번역기사, 해외연구소 소개, 국제학술대회 참가기, 현장탐방, 논단, 우리회사소개* 등
- 원고 분량 : 4매 ~ 6매 내외(A4용지 기준)
- 제출처 : TEL : (02)568-5985~7 FAX : (02)568-1918 E-mail : pjy@kci.or.kr

우리회사소개 원고 모집

우리회사소개 코너는 우리 학회의 5,500여 회원 및 단체에게 회사를 홍보할 수 있는 기회입니다. 우리회사소개란에 소개하고자 하는 회사나 단체, 연구소, 벤처기업 등은 아래와 같이 원고를 투고하실 수 있습니다.(단, 지난 5년 동안 우리회사소개나 벤처기업 소개란에 소개되었던 회사는 제외하오며, 학회 특별회원사에게 우선권을 부여 합니다.)