

# 실리카흙을 혼입한 SFRS의 리바운드율에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Rebound Ratios of SFRS with Silica fume

○ 손 영 현\*<sup>1</sup>

변 형 균\*<sup>2</sup>

조 용 복\*<sup>3</sup>

SON, YOUNG HYUN

BYUN, HYUNG KYUN

CHO, YONG BOK

## ABSTRACT

In this study, an experiment in the field was performed to analyze the variations of rebound ratios of SFRS with silica fume after fabricating the panels and placing the plain concrete of simulating a base rock with thickness 7cm. And the experimental parameters which are the reinforcing methods(steel fiber, wire mesh), steel fiber contents(0.0%, 0.5%, 0.75%, 1.0%), silica fume contents(0.0%, 10.0%), and the three parts(lower, middle, upper part) were chosen,

According to the results of the lower part in this test, the larger the fiber contents are in case of steel fiber reinforced shotcrete, the less the rebound ratios are within the range of 20~35%, compared to the wire-mesh reinforced shotcrete. And also, the reduced rebound ratios were very larger in using steel fiber reinforced shotcrete with silica fume content of 10%, and these results are true of the middle and upper part, respectively.

In addition, the four-stage phenomena of the rebound of SFRS were estimated on the base of a series of the test results.

## 1. 서 론

### 1-1. 연구배경

기존의 시멘트계 복합재료의 취성을 개선하기 위하여 강섬유를 혼입함으로써 강도 및 에너지 흡수능력등에 큰 증진효과 기대할 수 있게 되었고, 이 때문에 현재 여러방면에서 그 사용성이 증대되고 있다

그 적용분야 중 특히, 터널내 슛크리트 공법에서 기존의 Wire Mesh보강스프리트(이하 W/MRS라 함.)공법은 Wire Mesh

를 압면에 고정시킬 때, 과도한 시간소요, 압면형상에 따른 불량한 슛크리트의 타설과 그에 따른 여분의 재료필요, 정확한 압력과 거리를 확보하지 못했을 경우 생기는 Sand Pocket등으로 인한 부착력 감소, 이러한 제반의 문제점으로 인한 전체 공사비의 상승등의 이유로 강섬유보강스프리트(이하 SFRS라 함.)가 새로운 슛크리트공법으로 자리를 잡아가고 있는 실정이다. SFRS는 보강층을 빠른 시일내에 형성하여 안정성을 증대, 지반변형에 의한 슛크리트층의 변형시에 높은 잔유내하중성, 불연속적인 강섬유가 콘크리트내에 고르게 퍼져있어 강한 내부식성 발휘 및 공기단축에 따른 높은 경제성등의 장점을 지니고 있음은 이미 알려진 사실이다. 그러나, 슛크리트공법은 공기압력을 이용해 뿜어붙이는 시

\*1 정회원, 현대건설 기술연구소 연구원

\*2 정회원, 현대건설 기술연구소 선임연구원, 공박

\*3 현대건설 기술연구소 연구원

시스템으로 타설중 리바운드량에 의한 재료 손실이 매우 큰 이유로, 버력처리로 인한 공사비의 상승을 초래하고 재료의 낭비 뿐만 아니라 작업효율의 저하 있다. 특히, 습식공법보다 높은 리바운드 현상을 보이고 있는 건식공법을 이용할 경우, SFRS에서도 기존의 공법에서와 마찬가지로 슛크리트 타설시 분진에 의한 작업환경의 악화, 리바운드에 의한 품질변동등의 문제점으로 인하여 전체적인 보강효과가 약화되고 있다. 그럼에도 불구하고, SFRS의 보강효과에 매우 큰 영향을 미치는 요소 중의 하나인 리바운드율에 관한 연구가 극히 미비할 뿐만 아니라, 특히, 경사부와 천정부의 리바운드율에 관한 실험적 Data 또한 소수에 지나지 않는 실정이며, 리바운드율의 변화와 그 현상규명에 관한 기존의 분석에 불충분한 면이 없지 않아, 실험적인 결과에 의한 검토의 필요성이 절실하다 하겠다.

## 1-2. 연구목적

본 연구에서는 슛크리트 타설시 리바운드율의 변화를 알아보기위하여, 일련의 실험용 Panel을 제작한 후, 슛크리트 보강방법, 강섬유혼입량, 실리카흙혼입량 및 터널 내부의 타설부위를 변수로 하여 현장 타설 실험을 수행하였다.

실험결과에 따라, 리바운드율의 저감효과를 검토하였으며, 본 실험결과와 일반 SFRC 배합시의 골재치수에 관한 기존의 연구를 기초로 하여 SFRS 리바운드 현상을 4단계로 나누어 그 현상을 추정하였다.

## 2. 실험개요

### 2-1. 사용재료 및 타설조건

타설실험은 본사가 시공중인 지하철현장의 지하 약 25m에서 실시하였으며, 본 실험에 사용한 재료와 배합표는 표 1, 표 2

에, 슛크리트 타설방법의 개념도는 그림 1에 각각 나타내었다. 한편, Wire Mesh는 보통 터널현장에서 상용되고 있는 4.8mm x 100mm x 100mm를 당 현장에서 직접 채용 1단으로 설치하여 실험을 수행하였다.

표 1. The materials used in the test.

|        |  |
|--------|--|
| Cement | 1종 보통portland cement<br>(HD사제품:비중 3.12)  |
| 잔골재    | 비중:2.6 ; 조립율:2.75 ; 하천사  |
| 굵은골재   | 최대치수:13mm<br>비중:2.62; 조립율: 7.58 ; 쇄석   |
| 강섬유    | ASTM A 820-Type I,<br>Hooked-end & Bundled fiber<br>L=30, D=0.5mm,<br>인장강도: 1,100MPa |
| SF     | 비중:2.2, 분말도:20,000m <sup>2</sup> /kg   |
| 급결재    | 성상 : 분말형<br>주성분:Sodium Aluminate   |

표 2. The mixing condition of SFRS.

|                        |  |
|------------------------|--|
| G <sub>max</sub> (mm)  | 13   |
| S/a (%)                | 60   |
| W/(C+SF) (%)           | 42   |
| C (kg/m <sup>3</sup> ) | 400  |
| S/F Contents (%)       | 0.0<br>(Wire Mesh Reinforced)<br>0.0, 0.5, 0.75, 1.0 |
| SF/C (%)               | 0.0, 10.0  |
| Adm./C (%)             | 5.0  |

\* SF : 실리카흙, S/F : Steel Fiber,

### 2-2. 실험방법 및 측정

SFRS 타설시 리바운드율 변화를 측정하기 위하여 70cm x 140cm의 목재panel를 이용하여 여기에, 압반을 가정한 두께7cm의 모재콘크리트( $\sigma_{ck} = 350\text{kg/cm}^2$ )를 제작한 후, 그 표층부에 Shotcrete를 10cm타설하였다.

또한, 터널 각 부위의 리바운드율 차를 비교하기 위하여, 벽체부, 경사부, 천정부의 3종류로 나누어(그림2참조) 타설을 실시하

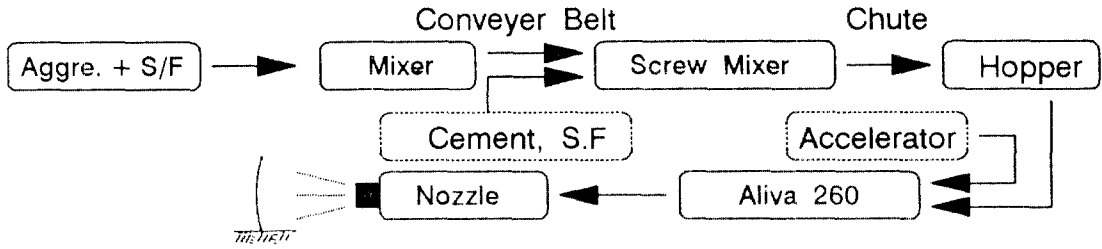


그림 1. 본 연구에서 이용한 슛크리트 방법

었다. 이때 사용된 타설장비는 Aliva 260을 이용하였고, 타설거리는 1.0~1.3m, 압력은 2.3kg/cm<sup>2</sup>로 하였다. 또한, 실험수행시, 벽체부 Panel은 벽면에 약 70도의 각도로 세워 고정하고 타설하였으며, 정사부와 천정부는 바닥면에서 약 2.3m, 2.6m의 위치에 각각 고정하여 타설을 하였다. 리바운드율의 측정은 바닥에 5m x 5m의 Sheet를 이용하여 모형Panel에 Shotcrete를 타설한 후, 매회 수거하여 계량하는 방법으로 실시하였다. 한편, 압축강도의 측정은 JCI-SF3 규준에 준하여, Shotcrete 타설방향에 대하여 직각방향으로  $\phi 10 \times 20$ cm의 Core를 채취하여 시험을 수행하였다.

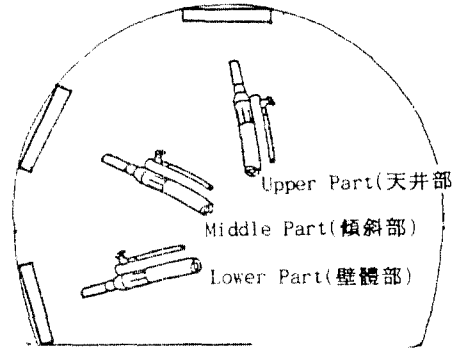


그림 2. 터널내의 시험타설부위

### 3. 실험결과와 분석

#### 3-1. 압축강도 측정 결과

본 시험에서 채취한 Core 공시체의 압축강도 측정 결과는 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 알수 있듯이, 실리카흙을 혼입하지 않은 경우, 강섬유혼입율이 0.5%, 0.75%일때, 재령1일의 설계기준강도 100kg/cm<sup>2</sup>과 비교하여 약간 낮은 값을 보이고 있지만, 전체적으로 기준치를 어느정도 만족하는 결과를 나타내고 있다.

또한, 재령28일 설계기준강도 200kg/cm<sup>2</sup>과 비교해서 실리카흙의 혼입과 관련없이 충분한 강도발현성을 보이고 있으며, 동일한 실리카흙 혼입율에 대해 강도증진효과는 강섬유혼입율이 0.5%일때 가장 크게 나타나고 있다.

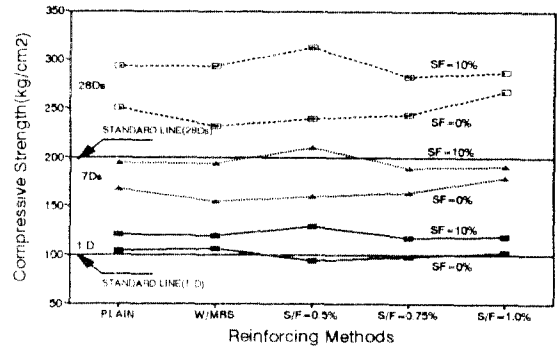


그림 3. Core 압축강도 시험 결과

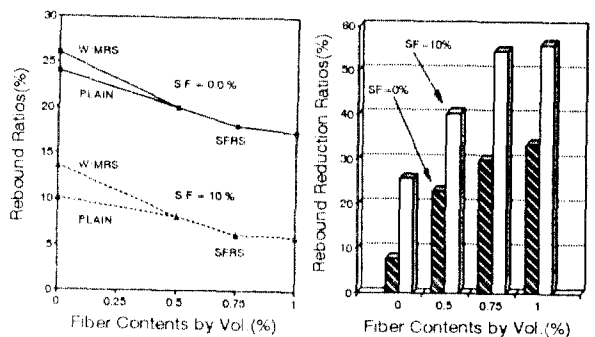


그림 4. 강섬유와 실리카흙 혼입율에 따른 리바운드율의 변화(벽체부)

### 3-2. 리바운드율의 變化

강섬유혼입율, 실리카흙혼입율, Shotcrete 타설부위에 따른 리바운드율의 변화를 각각 그림4, 그림5에 나타내었다.

그림4에서 알 수 있듯이, 강섬유혼입율을 0.5%, 0.75%, 1.0%로 증가시키고, 실리카흙을 혼입하지 않았을 경우, SFRS의 리바운드율은 W/MRS보다 각각23%, 30%, 33.5% 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한, 실리카흙을 10% 혼입한 경우, W/MRS보다 리바운드율이 각각 40.4%, 54.4%, 55.9%감소되는 결과를 보이고 있다.

타설부위에 따른 리바운드율의 변화를 도식화한 그림 5에서는 실리카흙을 사용하지 않은 SFRS의 경우, W/MRS와 비교하여 벽체부, 경사부, 천정부의 타설부위에 따라 리바운드율이 30.7%, 7.6%, 9.2%로 각각 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한, 강섬유혼입율이 0.75%, 실리카흙혼입율이 10%의 경우는 W/MRS와 비교하여, 벽체부, 경사부, 천정부순으로 76.2%, 42.7%, 38.0%까지 격감하는 경향을 나타내고 있다.

한편, 그림5의 강섬유와 실리카흙을 동시에 혼입한 경사부와 천정부의 리바운드율 21.2%, 29.8%를 그림4의 실리카흙을 혼입하지 않은 W/MRS리바운드율과 비교했을 때, 후자의 벽체부에 비해 전자의 경사부의 경우가 낮은 리바운드율을, 천정부의 경우는 약간 높은 리바운드율 나타내고 있다.

이상의 결과에서, 실리카흙을 혼입한 SFRS가 종래의 W/MRS보다 리바운드율 감소효과는 크고, 특히 경사부와 천정부를 Shotcrete할 경우, 리바운드율 감소에 큰 효과를 볼 수 있어 지금까지의 재료손실에 의한 품질저하와 여분의 재료투입에 의한 경제성저하를 방지할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 그림4에서 강섬유혼입율이 1% 정도가 되면, 혼입효과가 둔화되고 있는 경향에서 강섬유 혼입율에 있어서 어떤 한

계점이 존재하고 있는 것으로 추측된다.

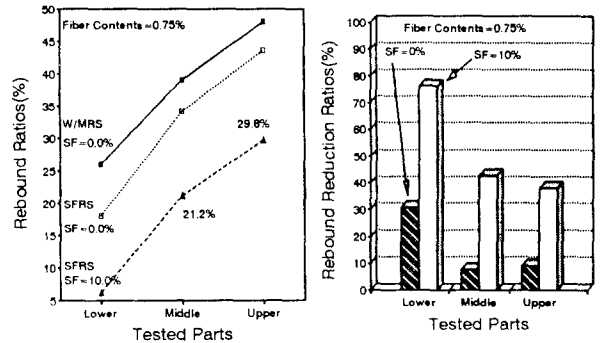


그림 5. 실리카흙 혼입율에 따른 시험 타설부위별 리바운드율 변화

### 3-3. SFRS의 리바운드현상

본 연구에서는 SFRS의 리바운드현상을 그림6에 나타난 것처럼, 연속적인 4단계의 흐름으로 이루어져 있다고 추측된다.

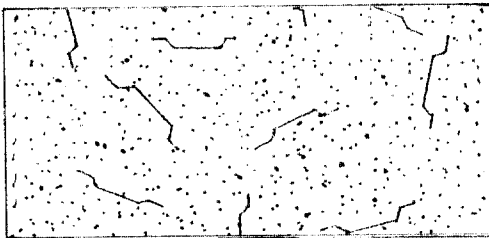
제1단계는, 충분한 두께의 Paste층이 형성되기 전까지, 벽면과의 충돌에 의해 극히 미량의 강섬유가 얇은 Paste층에 잔류하게 되나, 굵은골재는 완전히 반발되어 버리는 단계로, Paste층의 두께가 약( $G_{max}/2 \sim L/2$ ) 될 때까지 이러한 상태는 지속될 것으로 판단된다.

이후, 본격적으로 SFRS층이 형성되기 시작하는 제2단계에 접어들는데 이 단계에서는 강섬유와 굵은골재가 Paste와의 부착력이 증가되어 굵은골재는 강섬유의 균등한 분산을 유도한다. 그러나, Shotcrete층에 포함되어 있는 골재는 강섬유간의 상호반발작용을 유발시킬 수 있을 만큼의 충분한 체적까지는 이르고 있지 않기 때문에 결국, 전체적인 리바운드율은 크게 감소하게 되는 것으로 추정된다.

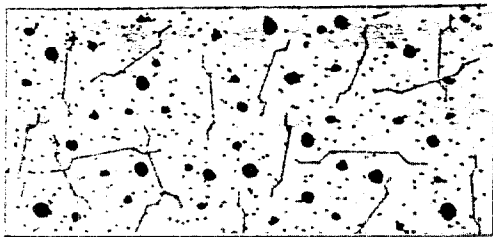
제3단계에서는, 굵은골재의 리바운드는 감소하지만, 강섬유의 리바운드율이 다시 증가하기 시작하게 되는데, 골재에 의해 균등하게 분산된 강섬유가 불특정한 형상의 망상구조를 형성한 후, 누적된 망상구조의

최소간격이 굵은골재최대치수보다 작아질 때까지 골재의 리바운드 감소경향은 계속 되게 된다. 한편, 일정한 혼입율에 있어서 강섬유는 타설량이 점차 증가하면 할수록 리바운드율이 감소한 굵은골재에 의해 강섬유 상호간의 반발작용이 증가되어 리바운드율이 증가한다. 강섬유혼입율이 상술한 섬유혼입효과의 한계치로 추측되는 1%정도에 이르면 리바운드저감효과가 둔화되는 경향도 이러한 반발효과에 의한 것으로 판단된다.

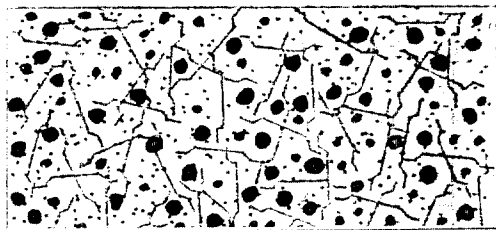
최종단계에서는 전술한 단계에 이르는 사이에 Paste, 강섬유, 굵은골재에 의해 Shotcrete층의 밀도가 어느정도 유지되어 있기 때문에, 그 후, Shotcrete되어지는 재료의 리바운드율은 증가되는 경향을 보일 것으로 추측된다.



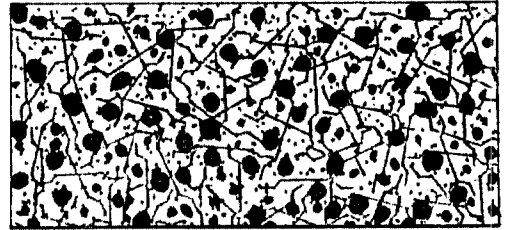
1. 제 1 단계



2. 제 2 단계



3. 제 3 단계



4. 최종단계

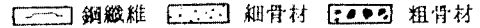


그림 6. 4단계로 추정된 SFRS의 단계별 리바운드 현상

## 4. 결 론

SFRS의 리바운드율에 관한 본 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 슛크리트 타설시 강섬유를 혼입하였을 경우, Wire Mesh를 사용한 기존 슛크리트공법의 높은 리바운드량을 크게 줄일 수 있으며, 실리카흙의 사용은 강도상의 측면에서 뿐만아니라, 리바운드를 급격히 저감시킨다는 측면에서 매우 효과적인 슛크리트방법이다.
- 2) 기존의 슛크리트 공법에서 가장 많은 재료손실을 유발하는 경사부와 천정부의 리바운드량은 실리카흙을 혼입하지 않은 SFRS에서 약 8%, 9% 감소시킬 수 있었고, 실리카흙을 혼입한 SFRS에서는 약 43%, 38%로 격감시킬 수 있었다.
- 3) 강섬유의 혼입에 따른 리바운드량 저감효과는 혼입율이 증가할 수록 증대되는 경향을 보이고 있으나, 혼입율이 약 1%정도가 되면, 강섬유 상호간의 반발작용에 의해 이러한 증대현상이

둔화되는 양상을 나타내고 있다. 이것은 강섬유 혼입효과에 한계치가 존재하고 있음을 의미하는 것으로 판단할 수 있고 그 값은 1%정도가 될 것으로 사료된다.

- 4) SFRS의 리바운드현상은 거의 모든 강섬유와 굵은 골재가 리바운드되는 제1단계, 그들이 Paste와의 부착력으로 리바운드율이 급격히 감소하는 제2단계, 그리고 굵은골재의 리바운드는 어느정도까지 계속 감소하나, 강섬유의 리바운드는 다시 증가하기 시작하는 제3단계, 마지막으로 슛크리트되는 재료 전체의 리바운드율이 다시 증가되는 제4단계로 나눌수 있다.
- 5) SFRS의 리바운드현상은 미시적으로 작용하는 강섬유와 굵은골재의 상호작용에 의해 지배된다.

## 참 고 문 헌

- 1) M. Vandewalle, "Tunnelling the World with 7 Ref. Projects," N.V. BEKAERT S.A., 1990.
- 2) Norwegian Concrete Association Committee Sprayed Concrete, "Sprayed Concrete for Rock Support-Technical Spec. and Guidelines," NCA Publ. nr. 7, 1993.
- 3) 中村敏夫, 横澤和夫, "トンネルの吹付けコンクリート," 콘크리트 공학, Vol.31, No. 3, pp. 56-60, 1993.
- 4) 蘇玄昌, 孫永現, 沈玉鎮, "鋼纖維補強 콘크리트의 曲げ疲勞舉動に關する 實驗的研究," 콘크리트 공학 年次論文報告

集, Vol. 15, No. 1, pp. 959-962, 1993.

- 5) 蘇玄昌, 孫永現, 沈玉鎮, "鋼纖維補強吹付け 콘크리트의 리바운드性狀と その低減效果に關する 實驗的研究," 콘크리트 공학 年次論文報告集, Vol. 16, No. 1, pp. 1129-1132, 1994.
- 6) D.J. Hannant, "Fibre Cements and Fibre Concretes," JOHN WILEY & SONS, 1978.
- 7) 日本建築學會, "スチールファイバーコンクリート技術の現況," 1984.
- 8) 日本コンクリート工學協會, "纖維補強 콘크리트의 試驗方法に關する 規準," 1984.