

# 강섬유와 실리카 흄이 슛크리트의 리바운드율에 미치는 영향

Influence of Steel Fiber and Silica Fume on the Rebound Ratios of Shotcrete



장동일\*

Chang, Dong-II



손영현\*\*

Son, Young-Hyun

## ABSTRACT

In this study, an experiment in the field was performed to analyze the influence of steel fiber and silica fume on the rebound ratios of shotcrete.

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 placing parts(side wall, shoulder, crown) were chosen.

According to the results for the side wall 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 shoulder and the crown, respectively.

In addition, the four-stage phenomenon for the rebound of the SFRS were estimated in the view of the co-action between steel fiber and coarse aggregate based upon the existing two-stage analysis method.

Keywords : shotcrete, rebound ratios, steel fiber, silica fume, four-stage phenomena

\* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 현대건설 기술연구소

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 1999년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

## 1. 서론

샷크리트는 공법상 건식, 습식 및 반습식으로 분류될 수 있으며, 공기압으로 원지반에 타설된 콘크리트가 콘크리트 자체의 충격속도(impacting velocity)에 의해 밀실화가 이루어지는 것으로 정의될 수 있다는 측면에서 일반콘크리트와 상이한 점을 갖는다. 이러한 샷크리트는 터널, 사면안정 및 보수 등과 같은 분야에 적용되고 있다. 그러나, 샷크리트는 시공법의 특성상, 원지반과의 충격에 의해 리바운드되는 재료가 많다는 큰 결점을 지니고 있으며, 이는 샷크리트의 반죽질기(consistency), 시멘트 량, 골재입도, 급결제 종류 및 투입량 그리고 실리카 흙 등과 같은 기타 혼화재의 사용 및 노즐맨의 숙련도에 의해 좌우된다. 이러한 리바운드는 건식샷크리트에서 매우 결정적인 요소로 작용되는데, Austin과 Morgan 등에 의하면 30% ~ 40%의 리바운드율을 갖는 것으로 보고되고 있으며, Warner J.에 의하면 그 량이 50%에 이른다고 보고되고 있다.

한편, 샷크리트 공법에 사용되는 보강재 기준으로 와이어메쉬보강샷크리트(Wire Mesh Reinforced Shotcrete, 이하 WMRS라 약칭함.)와 최근 관심이 고조되고 있는 강섬유보강샷크리트(Steel Fiber Reinforced Shotcrete, 이하 SFRS라 약칭함.)로 분류가 가능하다.

SFRS는 1970년대 초 처음으로 무근 샷크리트에 섬유를 혼입한 시험이 시작되어, 그 이후 연구가 활발히 전개되고 있다. 특히, 스칸디나비아 반도의 국가들의 경우, 1980년대 이후 SFRS 공법만이 허용되고 있는 실정이다. 이는 기존의 WMRS가 갖는 진동에 의한 층분리 및 공극현상 발생, 장시간에 걸친 와이어메쉬 설치작업 등의 문제점을 갖는 반면, 높은 휨인성 및 내구성, 노출면의 빠른 보강성, 필요한 두께를 최단기간내 타설하므로 안전성등의 보강효과가 큰 SFRS가 새로운 샷크리트공법으로 자리를 잡아가고 있는 실정임을 보여주는 것이다.

그러나, 샷크리트공법은 전술한 바와 같이 공

기압을 이용하여 뿜어붙이는 시스템이기 때문에 타설중 리바운드량에 의한 재료손실이 매우 크다는 문제가 발생되고 있다. 특히, 습식공법보다 높은 리바운드 현상을 보이고 있는 건식공법을 이용할 경우, SFRS에서도 기존의 공법에서와 마찬가지로 리바운드에 의한 품질변동, 강섬유 자체의 리바운드에 따른 좀 더 세심한 작업자의 안전확보 및 작업환경의 악화 등의 문제점이 전체적인 보강효과를 약화시키게 된다.

이에 본 연구에서는 샷크리트의 역학적 특성과 리바운드율의 변화를 알아보고, SFRS의 리바운드 현상을 추정함으로써, 향후 효과적인 샷크리트 타설방법과 리바운드율의 저감방법을 모색하기 위한 기초자료를 제공하고자 SFRS와 WMRS에 대한 현장실험을 수행하였다.

본 현장실험에서는 일련의 실험용 판넬을 제작한 후, 보강방법, 강섬유 혼입율, 실리카흙 혼입율 및 타설부위등을 변수로 하여 수행되었으며, 샷크리트 배합비, 급결제 종류 및 사용량, 노즐맨, 사용장비 그리고, 타설거리 등과 같은 조건들에 대해서는 현장여건을 그대로 활용함으로써 그들이 본 실험의 결과에 미치는 영향을 최소화하도록 하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료 및 타설조건

본 연구에서 수행한 현장 타설실험은 건식샷크리트 방법을 이용하였으며, 실험여건을 현장여건과 같게하기 위하여 H사가 시공중인 지하철현장의 지하 약 25m지점에서 실시하였다. 본 실험에 사용한 재료는 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

Table 1에서 강섬유는 ASTM C 820 Type 1으로 저탄소강을 냉연압출공법으로 제조한 원형 섬유로서, 콘크리트내 응력이 발생되었을 때 앵커효과를 발휘할 수 있도록 양단을 후크형으로 특수 가공된 것이며, 섬유의 뭉침현상과 그에 따른

불균일한 분산을 피할 수 있도록 30개의 섬유날개를 하나의 다발로 만든 형태를 갖고 있다. 사용된 강섬유의 인장강도와 형상비는 Table 1과 같다.

또한, 실리카흄은 캐나다산 분말형으로, 그 물리적 특성은 다음 Table 2와 같다.

Table 1 Materials for shotcrete

Cement	ordinary portland cement
	S.G : 3.15
Fine agg.	river sand
	S.G : 2.6, FM : 2.75
Coarse agg.	crushed gravel
	Gmax:13mm, S.G :2.62, FM:7.58
Steel fiber	Dimension : L=30, D=0.5mm Aspect ratio : 60
	tensile strength : 1,100MPa
Accelerator	powder type
	main content:sodium aluminate

\*S.G : Specific Gravity, FM : Fineness Modulus

Table 2 Physical Properties of Silica Fume

S.G	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Fineness (m <sup>2</sup> /kg)	Diameter (μm)	SiO <sub>2</sub> (%)
2.2	250-300	20,000	0.1-1.0	93

Table 3은 본 연구에서 사용된 배합비로서, 실험이 수행된 현장의 실 시공배합비이다.

췁크리트 타설방법의 개념도는 Fig. 1에 도시하였다.

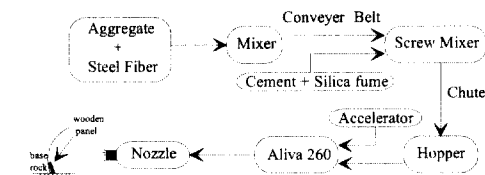


Fig. 1 Schematic diagram of shotcrete

Table 3 Mix Proportions

G <sub>max</sub> (mm)	13
S/a (%)	60
W/(C+SF) (%)	42
C (kg/m <sup>3</sup> )	400
Steel Fiber Contents (%)	0.0 (WMRS)
	0.5, 0.75, 1.0
SF/C (%)	0.0, 10.0
Adm./C (%)	5.0

\*SF : SilicaFume

한편, Wire Mesh는 보통 터널현장에서 사용되고 있는 4.8mm x 100mm x 100mm를 H사 현장에서 직접 채용하여 1단으로 설치한 후 실험을 수행하였다.

## 2.2 실험방법 및 측정

췁크리트 타설시 리바운드를 변화를 측정하기 위하여 70cm x 140cm x 15cm의 목재 패널을 제작하여 여기에 원지반을 가정 한 약 5cm 정도의 모재 콘크리트( $\sigma_{ck}=350\text{kg/cm}^2$ )를 제작한 후, 그 표층부에 췁크리트를 10cm이상 타설하였다.

또한, 터널단면 각 부위의 리바운드율을 비교하기 위하여 Fig. 2와 같이 side wall, shoulder, crown으로 나누어 실험을 수행하였다. 이때 사용된 타설장비는 Aliva 260 이었고, 타설거리는 약 1.2m, 압력은 2.3kg/cm<sup>2</sup>로 하였다.

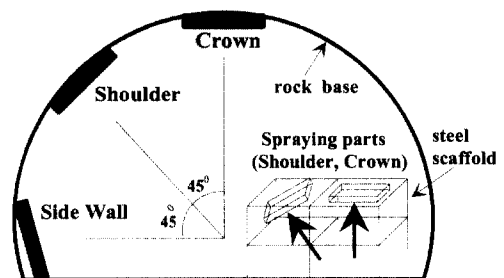


Fig.2 Spraying scheme

또한, 실험수행시, side wall의 판넬은 터널공사 표준시방서를 참고로 하여 벽면에 약 70도의 각도로 세워 타설하였으며, shoulder와 crown의 판넬들은 바닥면에서 약 2.3m, 2.6m의 위치에 흔들림을 방지하도록 완전히 고정하여 타설을 하였다. 리바운드율의 측정은 바닥에 5m x 5m의 비닐 sheet를 이용하여 판넬에 shotcrete를 타설한 후, 매회 수거하여 계량하는 방법으로 실시하였다. 한편, 소요 압축강도의 측정은 JCI-SF3 규준에 준하여, shotcrete 타설방향에 대하여 직각방향으로  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 Core를 채취하여 수행하였으며, 휨강도실험에는 콘크리트 절단기를 이용하여 채취한 10cm x 10cm x 40cm의 빔시험체를 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 강도실험 결과

본 실험에서 채취한 side wall의 코어공시체 및 빔 시험체에 대한 압축강도와 휨강도 실험 결과는 Fig. 3과 Fig. 4에 각각 나타내었다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 실리카흄을 시멘트 중량에 대해 10% 혼입했을 경우, 압축강도 및 휨강도가 크게 증진될 뿐만아니라, 휨강도의 경우에 있어서는 재령이 증가할수록 그 증가폭이 더욱 커짐을 알 수 있다.

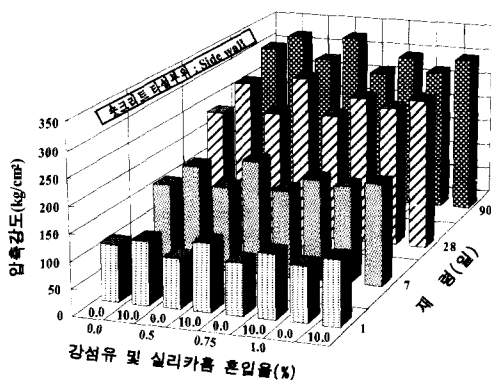


Fig. 3 Test results of compressive strength

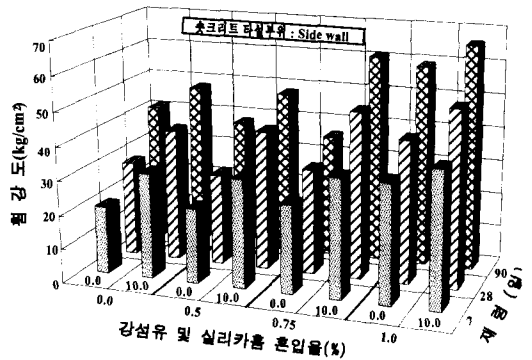


Fig. 4 Test results of flexural strength

그러나, 강섬유의 혼입은 휨강도를 증대시키는데는 효과가 있는 반면, 강섬유 혼입율이 1.0%인 경우, WMRS보다 비교적 낮은 압축강도를 보이고 있어, 과도한 섬유혼입은 압축강도의 증진에 오히려 악영향을 초래할 수도 있음을 보여주고 있다.

이러한 결과에서, 지나치게 강섬유 혼입율을 높이는 것은 섬유사용시 가장 문제시 되는 섬유 뭉침 현상과 그에 따른 휨강도 저하 등의 불량한 결과를 발생시킬 수 있으므로 보강효과의 저하를 예방하는 측면에서 바람직하지 못하다고 판단된다. 따라서 본 실험결과는 강섬유혼입율을 1%이내에서 최적의 혼입율을 엄밀한 실험을 통하여 정해야 함을 보여주는 것으로 생각할 수 있다.

#### 3.2 리바운드율의 변화

본 연구에서는 SFRS의 리바운드 현상을 체계적으로 고찰하기 위하여, 실험결과 중 강섬유 혼입율, 실리카흄 혼입율 및 숏크리트 타설부위에 따른 리바운드율의 변화를 각각 Fig. 5~Fig. 8에 나타내었다. Fig. 5에서 실리카흄을 혼입하지 않았을 경우, 강섬유혼입율이 0.5%, 0.75%, 1.0%로 각각 증가할 때, SFRS의 리바운드율은 WMRS와 비교하여 각각 약 23%, 30%, 33% 감소하는 경향을 보이고 있으며, 실리카흄을 10% 혼입하였을 경우에는 WMRS보다 각각 약 40%, 55%, 56% 감소되는 효과를 나타내었다.

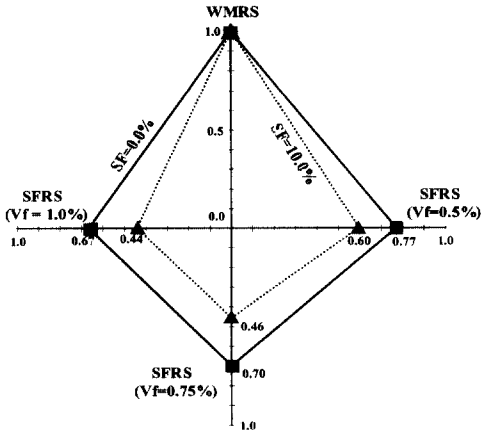


Fig. 5 Reduction effect of rebound (side wall)

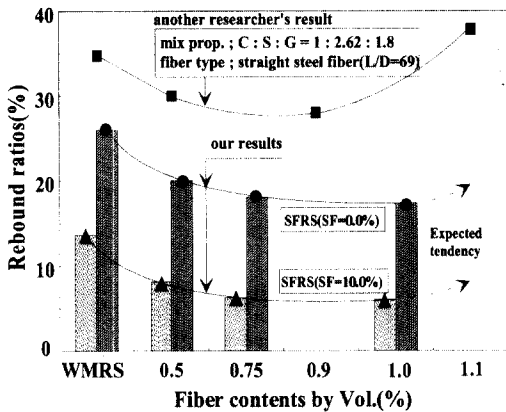


Fig. 6 Comparison with other researcher's result

또한, 실리카흙의 혼입은 강섬유 혼입율이 0.5% 0.75%, 1.0%로 증가할 수록 각각 약 60%, 66%, 65%정도 리바운드율을 대폭 감소시키는 것으로 나타났다.

그러나, 본 실험결과에서 강섬유 혼입율이 1.0%정도가 될 때, 그 저감효과가 약간 둔화되고 있는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

한편 본 연구에서는 이러한 결과를 타 연구자의 연구결과와 비교하여 Fig. 6에 나타내었으며, 이 결과, 건식공법에 의한 SFRS에서의 강섬유 혼입율은 1.0%이하가 바람직할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 실험결과 중, 강섬유혼입율이

0.75%일 때의 타설부위에 따른 리바운드율의 측정결과를 Fig.7에 나타내었다.

Fig. 7에서 실리카흙을 혼입하지 않은 SFRS의 경우, WMRS와 비교하여 타설부위가 side wall, shoulder, crown 순으로 변화할 때, 리바운드율이 약 30%, 16%, 17%정도로 각각 감소하고 있으며, 실리카흙 10%를 혼입한 경우, 타설부위의 변화에 따라 약 76%, 33%, 35%로 각각 큰 폭으로 감소되는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

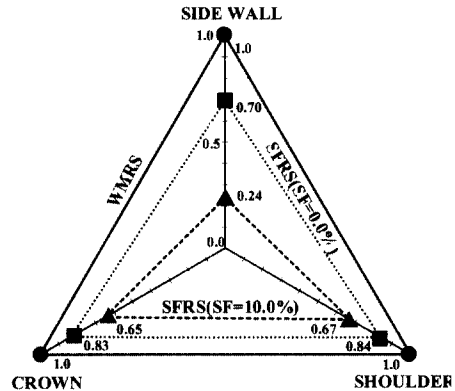


Fig. 7 Reduction effect of rebound (Vf=0.75%)

뿐만아니라, 실리카흙을 혼입한 SFRS의 경우, shoulder와 crown의 리바운드율이 WMRS의 side wall 리바운드율보다 shoulder의 경우는 오히려 낮은 리바운드율을 보이고 있으며, crown의 경우는 약간 높은 값을 나타내고 있다. 일반적으로 리바운드율에 있어 side wall이 shoulder와 crown 보다 훨씬 낮은 값을 보인다는 것을 감안할 때, 실리카 흙을 혼입한 SFRS의 경우는 비록 건식공법으로 분사되더라도 shoulder와 crown의 리바운드율을 WMRS의 side wall의 리바운드율 수준으로 대폭 저감시킬 수 있는 효과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 7에 나타난 실리카흙 혼입에 따른 리바운드율의 저감효과는 슛크리트 타설전 골재표면을 습윤상태로 하여 실리카흙을 투입하고 혼합한 후에 노즐부에서 배합수와 급결제가 투입되면서 슛크리팅됨으로서, 충분히 액상화된

실리카흙 분말에 의해 골재표면에 얇은 피막층이 형성되어 발휘된 높은 점착효과와 타설 시 발생하는 재료와 원지반과의 충돌에 대한 완충효과에 따른 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 기존의 WMRS 대신에 실리카흙을 혼입한 SFRS가 슛크리트의 리바운드율을 감소시키는 효과가 매우 크며, 특히, shoulder와 crown을 슛크리트 할 때, 리바운드율 감소에 큰 효과를 보이고 있어 이들 부위의 슛크리트 타설 시 많은 재료손실에 의한 품질저하와 여분의 재료투입에 따른 경제성 저하를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 압축강도 측면에서 뿐만아니라 리바운드율 저감효과 측면에서도 강섬유 혼입율이 1%정도가 되면, 혼입효과가 둔화되는 경향으로 미루어 SFRS에서의 강섬유 혼입율은 최대 1%정도가 가장 적당한 사용량이라고 판단된다.

한편, 본 연구의 리바운드율 실험결과를 ACI에서 제시하고 있는 대표적인 리바운드율과 비교한 결과를 Fig. 8에 나타내었으며, shoulder의 경우, 다소 높은 리바운드율을 나타내고 있음을 알 수 있다.

또한, ACI에서 제시하고 건식 및 습식에 의한 대표적인 리바운드율의 경향과 건식공법만으로 수행된 본 연구의 타설부위에 따른 리바운드율의 발생 경향을 비교하여 볼 때, 국내의 지하철 현장에서 통용되고 있는 슛크리트 타설방법인 건식공

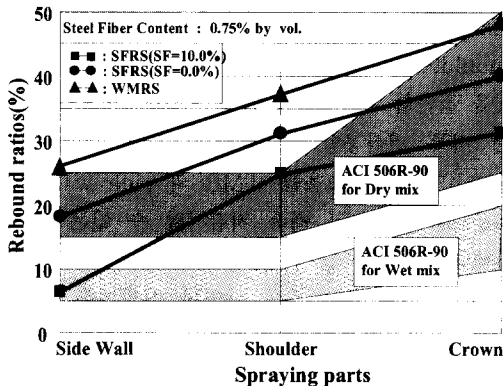


Fig. 8 Comparison of tests results with the ACI 506R-90

법은 SFRS 공법이 채용될 경우, 리바운드율 저감측면에서 습식공법으로의 신속한 전환이 필요하다고 사료된다.

이러한 본 연구의 결과는 리바운드율이 SFRS 층의 휨강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행된 회귀분석결과에서도 잘 알 수 있다.

회귀분석 결과를 나타낸 Fig. 9에서 휨강도는 리바운드율과 높은 상관성을 보이면서 리바운드율의 증가에 따라 감소하고 있다. 따라서, 리바운드되는 재료를 감소시키는 것은 소요 휨강도 확보 뿐만아니라, 향후 과다한 재료의 리바운드에 따른 재료비와 인건비의 상승 및 공정속도의 지연에 따른 추가비용발생을 예방할 수 있는 방법임을 시사하는 것이다.

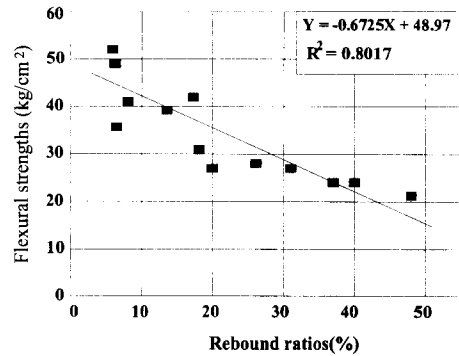


Fig. 9 Relationship between the rebound ratios and the flexural strengths

#### 4. SFRS의 리바운드 현상 추정

기존의 건식 슛크리트공법과 SFRS의 리바운드 현상은 두 단계로 그 현상이 동일하게 이상화되어 왔다. 첫 번째 단계는 얇은 쿠션과 같은 슛크리트 층이 시멘트, 잔골재, 강섬유 등으로 형성되는 단계이며, 두 번째 단계는 그 이후 분사되는 슛크리트가 상대적으로 부드러운 쿠션의 아직 굳지 않은 슛크리트를 추가적으로 형성함으로써 급격히 리바운드율이 감소하는 단계로 정의된다.

이와같이 리바운드 현상을 두 단계로 이상화하는 것은 주로 슛크리트가 분사되는 동안 시멘트 페이스트 층의 연속적인 변화 양상에 초점을 두

고 있다. 그러나, SFRS는 강섬유라고 하는 고탄성물질이 기존의 골재와 시멘트 페이스트간의 슛크리트 층 형성작용에 관여되기 때문에 SFRS의 리바운드현상을 설명하기 위해서는 강섬유와 골재와의 상호작용 및 골재 용적의 증가에 따른 강섬유 상호간의 반발작용이 고려되어야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 SFRS의 리바운드현상을 다음과 같은 4 단계의 연속적인 흐름으로 추정하였다.

제1단계는 소수의 강섬유만이 벽면에 잔류하는 단계로서, 충분한 두께의 페이스트층이 형성되어 분사된 재료가 벽면에 충돌될 때의 충격에너지를 충분히 흡수할 수 있을 때까지 지속하게 된다. 이 단계에서는 굵은골재에 비해 상대적으로 페이스트와의 접촉면적이 크고, 가벼운 극히 미량의 강섬유가 얇은 paste층에 먼저 잔류하게 될 뿐, 굵은골재는 완전히 리바운드되게 된다. 이후, 강섬유와 굵은골재는 paste와 충분한 부착력을 갖게 되어, SFRS층을 형성하기 시작하는 제2단계로 접어드는데, 이때는 분사되는 재료들의 리바운드가 급격히 감소하게 된다.

즉, 균등하게 분산된 강섬유의 평균간격이 굵은골재의 최대치수보다 충분히 넓기 때문에 그들 상호간의 작용이 거의 존재하지 않고, 이미 충분한 두께가 확보된 paste 층과 강섬유와 굵은골재 사이의 점착력이 강섬유와 굵은골재가 외부로 튀어나오려는 반발력보다 크기때문에 결국 전체적인 리바운드율이 급격히 감소하게 된다. 따라서, 이 단계에서 강섬유와 굵은골재의 용적은 크게 증가하게 되며, 특히 강섬유의 용적은 더욱 더 증가한다.

그러나, 이러한 단계가 지나면, 골재와 강섬유의 상호작용 뿐만아니라, 골재와 골재, 특히 강섬유와 강섬유의 자체의 상호반발작용이 매우 급격히 발생하게 되는 제3단계에 접어 들게되어, 골재는 계속적으로 리바운드율이 감소하는 반면, 강섬유는 오히려 증가하게 되는 경향을 보일 것이다.

즉, 초기에 균등하게 분산된 강섬유의 random

한 혼입효과에 의해 불특정한 형상의 보강층을 형성하게 되고, 이 보강층에서 강섬유의 최소평균간격이 굵은골재의 최대치수보다 작아 질 때까지 골재의 리바운드감소 경향은 지속된다.

따라서, 상당한 체적을 점유하게 된 굵은골재는 효과적으로 강섬유의 분산을 유도하지 못하게 되고, 뿔칠되는 강섬유 량이 점점 증가됨에 따라 평균간격이 감소하게 되어, 그들 상호간 혹은 골재와의 충돌에 의한 반발력으로 오히려 충격에너지가 충분히 흡수되지 못해 리바운드가 증가되기 시작하게 된다.

마지막단계인 제4단계에서는 페이스트, 강섬유와 굵은골재에 의해 슛크리트층이 어느정도 유지된 단계로, 이후 분사되는 재료의 리바운드가 전체적으로 다시 증가되는 경향을 보이게 된다.

이것은 슛크리트층이 완전히 경화되지 않은 상태에서 강섬유의 탄력에 의한 효과가 발생되어 일어나는 현상으로 판단되며, 섬유혼입효과의 한계치로 판단되는 1%정도가 되면 리바운드 저감 효과가 둔화되는 경향도 이러한 탄력효과로 인한 것으로 사료된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 슛크리트의 역학적 특성과 리바운드율의 변화를 알아보고, SFRS의 리바운드 현상을 추정함으로써, 향후 효과적인 슛크리트 타설 방법과 리바운드율의 저감방법을 모색하기위한 기초자료를 제공하고자 현장실험을 수행하였으며, 실험결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 강섬유보강스�크리트는 와이어메쉬보강스�크리트에 비해 리바운드량을 크게 줄일 수 있으며, 실리카흙의 사용은 강도상의 측면에서 뿐만아니라, 리바운드를 급격히 저감시킨다는 측면에서 매우 효과적이다.

2) 기존의 슛크리트 공법에서 가장 많은 재료손실을 유발하는 shoulder와 crown 부위의 리바운드량은 실리카흙을 혼입하지 않은 SFRS에서

각각 약 8%, 9% 감소시킬 수 있고, 실리카흙을 10% 혼입한 SFRS에서는 각각 약 43%, 38%로 격감시킬 수 있다.

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 그 값은 약 1%정도가 될 것으로 판단된다.

4) SFRS의 리바운드현상은 강섬유와 굵은골재간의 상호작용 및 강섬유 자체의 상호작용에 의해 지배된다고 할 수 있으며, 이를 기초로 리바운드현상을 4단계로 추정하였다.

### 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 콘크리트 표준시방서, 1996.
2. 건설교통부, 터널공사 표준시방서, 1988.
3. 안상기, "숏크리트의 리바운드 감소에 대한 재료 개발 연구시험," 콘크리트학회지, 제5권, 1호, 1993, pp. 54-61.
4. 한국수자원공사, 숏크리트 설계 및 시공, 1993.
5. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 1992.
6. 현대건설(주) 기술연구소, 섬유보강숏크리트(FRS)의 적용성에 관한 실험적 연구, 1995.
7. 日本トンネル技術協會, スチールハファイバーコンクリートに関する調査研究報告書-SFRCの設計施工 針, 1980.
8. 日本コンクリート工學協會, 纖維補強コンクリートの試験方法に関する規準, 1984.
9. 中村敏夫, 横澤和夫, "トンネルの吹付けコンクリート," 콘크리트工學, Vol.31, No.3, 1993, pp.56-60.
10. 田澤雄二郎, "吹付けコンクリートの技術現狀と今後の課題", 콘크리트工學, Vol.30, No.6, 1992, pp.18-26.
11. ACI Committee 506, "Guide to Shotcrete", ACI Practice Manual Part 5, 1994.
12. ACI Committee 506.1, "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Shotcrete", ACI Practice Manual Part 5, 1994.
13. ACI Committee 506.2, "Spec. for Materials, Proportioning, and Application of Shotcrete", ACI Practice Manual Part 5, 1994.
14. D.I.Chang, W.K.Chai, K.I.Kim and Y.H.Son, "Analysis of the Properties on Steel Fiber Reinforced Shotcrete against Wire Mesh Reinforced Shotcrete," 21st Conference on OWICS, Vol. XV, 1996, pp. 85-91.
15. D.J. Hannant, "Fibre Cements and Fibre Concretes," JOHN WILEY & SONS, 1978.
16. H.ARMELIN, "Steel Fiber Reinforced Dry-Mix Shotcrete Fibre Orientation and Its Effect On Mechanical Properties," Proceeding of RILEM, 1992, pp. 266-276.
17. H.ARMELIN, N. BANTHIA, D. R. MORGAN and C. STEEVES, "Rebound In Dry-Mix Shotcrete," Concrete International, Vol. 19, No. 9, 1997, pp. 54-60.
18. Norwegian Concrete Association-Committee Sprayed Concrete, "Sprayed Concrete for Rock Support-Technical Spec. and Guidelines," Norwegian Concrete Association Publication nr. 7, 1993.

### 요 약

본 연구에서는 강섬유와 실리카흙의 혼입이 숏크리트의 리바운드율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 현장실험을 수행하였다. 실험은 보강방법(강섬유와 와이어매쉬), 강섬유 혼입율(0.0%, 0.5%, 0.75%, 1.0%), 실리카 흙 혼입율(0.0%, 10.0%), 타설부위(side wall, shoulder, crown) 등의 4가지 변수를 중심으로 수행되었다.



실험결과, 타설부위가 side wall인 경우, 강섬유보강숏크리트는 강섬유의 혼입율이 증가할수록 와이어메쉬보강숏크리트에 비해 20%~35%의 리바운드율의 감소효과를 나타내었다. 또한, 이러한 리바운드율의 감소효과는 10%의 실리카 흙을 혼입한 경우에는 더욱더 큰 폭으로 감소되는 경향을 보였으며, 타설부위가 shoulder와 crown인 경우에도 유사한 결과를 나타내었다.

한편, 본 연구에서는 강섬유보강숏크리트에 대한 기존의 2단계 리바운드 현상을 기초로, 골재와 강섬유간의 미시적인 상호작용에 따른 4단계의 리바운드 발생 현상을 추정하였다.

(접수일자: 1998.3.4)