

강섬유보강 콘크리트의 국내 및 국외의 현장 적용 사례(I)  
 -현장적용을 위한 품질관리-

Field Application Examples of Steel Fiber Reinforced  
 Concrete at Domestic and Foreign Countries(I)  
 -Quality Control for Field Application of SFRC-



박 승 범\*



윤 의 식\*\*

1. 머리말

강섬유 보강 콘크리트 (Steel Fiber Reinforced Concrete, SFRC)는 구조물 설계시 기준으로 한 강도, 인성, 소요의 내구성 및 수밀성을 가지고 품질변동이 작아야 하며, 또한 작업에 알맞은 워커빌리티를 가져야 한다. SFRC는 특히 강섬유가 균등하게 분산되지 않았거나 특정 방향으로 배향되었을 때 소요의 강도와 인성을 얻을 수 없는 경우가 있기 때문에 SFRC의 제조와 시공에 있어서는 충분히 주의해야 한다.

따라서 설계서, 시방서 등에 표시된 규격을 만족

하는 구조물을 만들고, 결함을 사전에 방지하여 유해한 것을 제거하며 품질변동을 허용 범위 내로 최소화시킴과 함께 이상원인을 조사·규명하여 조치함으로써 경제적·내구적인 구조물 만들고 생산성을 향상시키기 위하여 SFRC 공사의 전단계에 걸쳐서 철저한 SFRC의 품질관리를 실시할 필요가 있다.

본 고에서는 현재 일본, 미국, 유럽 등 외국에서 사용되고 있는 SFRC의 품질관리규준 등을 참고로 소요의 품질의 SFRC를 얻고 품질변동이 적은 SFRC를 제조하기 위한 SFRC의 품질관리 및 품질검사에 대하여 간단히 설명하기로 한다.

\* 정희원, 충남대학교 토목공학과 교수  
 \*\* 정희원, 한국원자력안전기술원 선임연구원

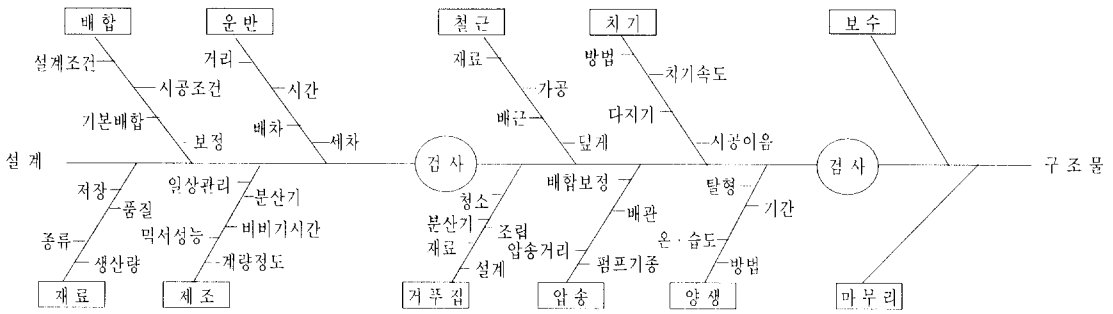


그림 1 품질 특성에 미치는 요인

## 2. SFRC의 품질관리

### 2.1 SFRC의 품질에 미치는 요인 및 관리특성

SFRC의 품질관리는 전술한 바와 같이 목표로 하는 SFRC의 품질을 설정하고 이를 실현하기 위하여 실시하는 모든 활동을 말한다. 목표로 하는 SFRC의 품질은 그것으로 만들어지는 구조물이 소요의 강도, 인성 및 내구성 등의 성능을 가져야 하므로 단순히 사용하는 SFRC가 소요의 강도 및 슬럼프를 갖느냐 하는 것 뿐만 아니라 실제로 타설해 경화된 구조체의 SFRC의 품질을 대상으로 해야 한다.

SFRC는 그림 1과 같이 강섬유, 시멘트, 골재, 물 및 혼화재료 등의 원료로부터 배합설계, 믹싱, 타설, 다짐, 양생 등의 많은 공정을 거쳐 구조체 콘크리트로서 완성되는 것이므로 그 사이에 있는 각종 품질변동요인이 최종적인 SFRC의 품질에 많은 영향을 미친다.

그렇지만 이들 품질요인이나 SFRC의 품질 그 자체에도 정량화하기가 곤란한 것이 많기 때문에 SFRC의 품질관리는 용이하지 않을 뿐만 아니라, 단순히 시험이나 검사를 하는 것 만으로는 참된 품질관리를 달성할 수 없다.

보통콘크리트의 경우 현재 콘크리트와 압축강도와 물·시멘트비를 관리특성으로 이용하고 있다. 그러나 SFRC의 경우에는 최종품질을 직접 시험하는 적절한 시험방법이 개발되어 있지 않은 현 상태에서는 경화된 SFRC에서 채취한 공시체의 강도 및 인성 또는 강섬유 혼입율에 의해 관리한다.

SFRC의 강도는 일반적으로 표준양생을 실시한 재령 28일의 압축강도 및 휨강도를 기준으로 하기 때문에 콘크리트가 소요 강도를 갖는지의 여부를 확인하기 위해 재령 28일의 압축강도 및 휨강도 시험을 실시하는 것이 필요하다. 그렇지만 소요의 휨강도를 가지면 그 압축강도가 소요의 값 이상으로 되는 것이 확인될 경우에는 책임기술자의 지시에 따라 압축강도에 의한 관리를 생략해도 좋다.

그러나 품질관리에 있어서는 코어를 채취하기 전후의 작업이 적절하게 이루어졌다 하더라도 타설, 다짐, 양생 등의 조건이 다르고, 시험값을 얻기까지는 약 1개월의 긴 시간이 필요하며, 또한 공정의 상태가 나쁘게 되어도 발견이 늦기 때문에 불량 품질의 SFRC가 다량으로 제조될 위험이 크고, 1개월 전의 공정상태와 현재의 공정상태와의 상관성이 밝혀지지 않기 때문에 조기강도를 사용하여 관리하는 방법이 사용되기도 한다. 조기재령에서의 강도를 관리특성으로 이용하는 경우에는 재령 28일의 강도와의 상관관계를 구해두거나 필요에 따라 재령 28일의 강도시험도 실시하여 소요의 강도가 얻어지는가를 확인해야 한다.

한편, SFRC의 인성에 대해서는 재령 28일의 휨인성 시험을 실시하는 것이 바람직하지만, 보다 간편하게 조사하기 위해 콘크리트중의 강섬유 혼입율을 측정하는 방법으로 확인해도 좋다.

### 2.2 SFRC의 품질관리

SFRC의 품질관리는 전술한 바와 같이 믹싱한 SFRC의 품질을 대상으로 하여 관리하는 것만으로

는 불충분하므로 재료 및 모든 작업공정에 대하여 표준화해야 할 필요가 있다. 또한 SFRC의 품질을 관리하기 위해서는 목표와 변동을 합리적으로 설정할 필요가 있다. 일반적으로 목표값을 높게 설정함으로써 변동을 적게 하도록 관리하는 경우가 재료를 절약할 수 있고 수고도 덜 수 있으므로 경제적이다.

SFRC의 품질관리를 실시할 때 다음과 같은 기본 사항을 지킬 필요가 있다.

(1) 품질관리를 위한 샘플링, 또는 제조·시공관리를 위한 측정 등의 회수를 줄이기 위하여 재료의 입수, 저장 등의 각 단계에서 균일화를 도모함과 아울러 작업순서를 표준화하여 충분한 관리를 할 수 있는 체제로 한다.

즉, 시험 및 측정회수를 증가하는 것 보다도 재료 및 시공방법의 변경을 적게 하여 관리대상을 가능한 한 적게 하는 것이 중요하다. 또한 콘크리트 플랜트에 있어서 골재 야적장에 충분한 여유를 두는 것은 품질 및 공정의 안정에도 필요하다.

(2) 공사중의 측정은 가능한 한 간편하고 결과를 빨리 얻을 수 있는 방법으로 계속 실시한다. 그 결과, 어떤 이상이 나타났을 때는 측정을 추가해 실시하거나 다른 시험을 실시하여 상세하게 조사해야 한다.

(3) 일상 관리시험 결과 및 제조·시공 관리시의 측정결과 등에 기초하여 필요하면 시공방법을 수정한다. 이를 위하여 각 관리수단의 목적을 충분히 이해하고, 시험 및 측정에 이용하는 시험기계·기구의 오차를 가능한 한 작게 하고, 시험 및 측정에 의해 얻어진 결과를 빨리 정리해 두는 것이 중요하다. 또한 현장기술자가 항상 시공시 세부사항을 주의깊게 관찰해 두는 것은 관리의 일환으로도 중요하다.

### 2.2.1 재료관리

소요품질의 SFRC를 만들기 위해서는 적절한 재료를 사용하는 것이 중요하다. 즉, 시멘트, 골재, 혼합수 및 혼화재료는 콘크리트 표준시방서에 규정된 품질의 것을 사용해야 한다. SFRC는 강섬유의 길이가 길수록 보강효과가 크기 때문에 강섬유는 30 mm 또는 40 mm의 강섬유를 사용하는 것이 좋다. 또한 강섬유의 형상에 따라 SFRC의 물리적·역학적 성질이 다르므로 이를 확인하고 사용해야 한다.

따라서 재료는 시험 또는 지금까지의 사용실적에 등에 의해 그 품질이 확인된 것을 사용한다.

원재료의 받아들이기 검사를 할 때는 품질검사를 실시하여 불량품을 배제하고 소정의 품질수준이상으로 유지한다. 검사는 원재료의 생산지, 종류 등에 변화가 없는 한 월 1회 정도가 좋으나, 변화가 있는 경우에는 그 때마다 시험을 실시한다.

또한 SFRC 구조물은 SFRC 등의 품질에 따라 결정된 것이므로 이것이 소요의 품질을 가지고 있다는 것을 공사 개시전 또는 재료 및 배합을 변경하기 전에 실시해 둘 필요가 있고, 관리 및 검사를 위해 필요한 수치를 사전에 시험을 실시해 구해둘 필요가 있기 때문에 관리기준 시험을 실시할 필요가 있다.

관리기준 시험 중 KS 등에 품질이 정해져 있는 것에 관해서는 제조자에 의한 시험성적표에 의해 확인할 수 있지만, 대규모 공사에 있어서는 샘플링 시험을 실시하는 것이 바람직하다.

관리기준 시험의 항목과 시험방법 예는 표 1에 나타내었다.

### 2.2.2 제조·설비 관리

원재료의 받아들이기, 저장, 운반, 계량 및 SFRC의 믹싱, 운반을 위한 기계설비·기기와 시험용 기계·기기는 공사개시 전에 우선 그 용량·성능이 SFRC의 안정한 품질을 확보할 수 있도록 항상 점검·정비가 이루어져야 한다. 이를 위하여 "설비·기기 관리 규정"을 만들어 일상점검, 정기점검 등을 실시해야 한다. 제조관리는 기기·설비의 정상적인 작동으로 이루어지는 경우가 많으므로 이들의 관리가 특히 중요하며, 주요 설비의 관리 방법을 표 2에 나타내었다

설비관리 중 특히 중요한 것은 계량기의 정도(精度)관리이다. 재료의 허용오차는 표 3에 나타낸 바와 같이 규정되어 있고, 계량기의 정하중 검사에서는 각 계량기의 오차가 허용오차의 1/2 이하, 동하중 검사에서는 연속배치를 검정하여 1회 계량분량에 대한 오차가 허용범위 내에 있어야만 한다.

### 2.2.3 제조·공정 관리

공사 개시전에 재료의 시험 및 SFRC의 배합을

표 1 SFRC의 관리기준 시험 예

구분	시험항목	시험방법	비고	
시멘트	시멘트의 물리 해석	KS L 5110.5201	시험성적표	
	신선도	육안, 촉감	이물질, 고형분유물, 시멘트 온도	
골재	입도	KS F 2502		
	잔골재 표면수율	KS F 2509		
	비중 및 흡수율	잔골재	KS F 2503	
		굵은 골재	KS F 2504	
	유해물질	점토덩어리	KS F 2512	육안 관찰로 문제 없으면 생략
		비중 1.95의 액체에 뜨는 것	KS F 2513	
		연석량	KS F 2516	육안관찰로 문제 없으면 생략
		유기불순물	KS F 2510	표준색 보다 진한 경우 모르티 시험
		셋기 손실량	KS F 2511	평상시 침강법에 의한 간이시험, 결과에 따라 KS 시험
		잔골재 염분량	KS F 2534	NaCl 환산 함유량
	안정성	KS F 2507		
단위용적중량	KS F 2505			
혼화재	AE제, 감수제, AE감수제	KS F 2560	시험성적표	
	철근콘크리트용 방청제	KS F 2561	시험성적표	
혼화재	플라이애쉬	KS F 2505	시험성적표	
	팽창제	KS F 2562	시험성적표	
강섬유	콘크리트용 강섬유	JSCE 참조	JSCE, ASTM 규격 참조	
SFRC	슬럼프	KS F 2402	VecBee 침하도하와의 상관관계 조사	
	공기량	KS F 2421		
	단위용적중량	KS F 2409		
	압축강도	JCI-SF5, ASTM		
	휨강도	JCI-SF5, ASTM		
	휨인성계수	JCI-SF4 참조	강섬유 혼입율(JCI-SF 7)과의 관계 조사	

표 2 주요 제조설비의 관리방법

제조설비	관리항목	시험방법	시험빈도
계량기	계량정도	동하중 검사	1회 이상/2주
		정하중 검사	1회 이상/년
믹서	믹싱상태	KS F 2455	1회 이상/3월
강섬유 분산기	강섬유의 분산능력	강섬유의 분산-배합상태 조사	1회 이상/3월
운반차	운반능력	KS F 4009	1회 이상/6월
거푸집 진동기	진동성능	진폭, 진동수 및 가속도 측정	1회 이상/6월
진동성형기 (공장제품용)	진동성능	진폭, 진동수 및 가속도 측정	1회 이상/3월

표 3 계량 허용오차

재료	계량방법	허용오차
시멘트	중량	1%
물	중량 또는 체적	1%
골재	중량	3%
혼화재	중량	2%
혼화재 (용액)	중량 또는 체적	3%
강섬유	중량	2%

정하기 위한 시험을 실시하고, 소정의 배합을 이용하여 소요의 품질을 확보할 수 있는지 확인해야 한다.

(1) 배합 및 믹싱

SFRC의 배합 및 믹싱에서 가장 중요한 조건은 강섬유를 콘크리트 중에 균등하게 분산시켜 믹싱 중에 재료분리 또는 fiberball이 형성되지 않도록

하는 것이다. SFRC의 경우 믹싱 중에 쉽게 fiberball이 형성되는데, 한 번 fiberball이 생기면 이것을 다시 분산시키는 것은 거의 불가능하고, 또한 fiberball이 생긴 SFRC는 강섬유 보강효과가 현저히 저하되므로 특히 주의해야 한다.

한편, SFRC의 믹싱에 이용하는 믹서는 어떤 형식의 믹서를 사용해도 좋으나, 강섬유 혼입율이 2% 정도인 콘크리트에서는 강제식 배치믹서를 사

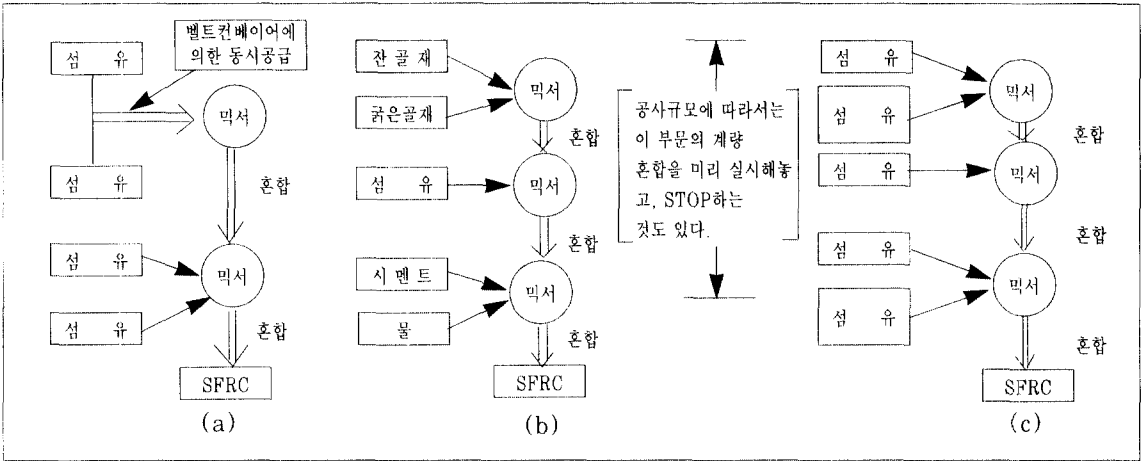


그림 2 SFRC의 믹싱 순서 예

용하여 공칭용량의 1/2 이하로 믹싱하면 좋고, 연속 믹서도 SFRC를 쉽게 믹싱할 수 있다. 또한 레미콘의 경우에는 믹싱량을 트럭 에지데이터 공칭용량의 75% 이하로 하는 것이 좋다고 알려져 있다.

계량과 믹싱 순서는 섬유의 종류와 믹서의 type 및 제조하는 콘크리트량의 대소에 따라 다르지만, SFRC에 관해서는 지금까지 실시되고 있는 방법을 들면 다음과 같다.

① 섬유와 골재를 시멘트 및 물보다 먼저 믹서에 공급하는 방법 : 주로 미국에서 실시되고 있는 방법으로서 시공규모 및 현장 플랜트의 조건 등에 따라 그림 2에 나타난 방법들이 이용된다.

② 먼저 섬유 이외의 재료를 믹싱하고, 믹싱 중에

섬유를 투입하여 혼합하는 방법 : 실험실이나 기타 소규모 공사에 적합한 방법이다.

③ 우선 시멘트, 골재 및 섬유의 혼합물을 만들어 놓고, 이것을 혼합수가 이미 공급된 믹서 내에 투입하여 믹싱하는 방법

(2) 타설 및 다짐

SFRC의 타설 및 다짐에는 보통 콘크리트보다 큰 에너지를 필요로 한다.

SFRC의 다짐에는 일반적으로 거푸집 진동기, 진동대 또는 표면 진동기가 적합하고, 내부진동기의 사용은 대단히 어렵다. 포장 시공에는 slip form favor가 적합하다.

(3) 품질관리시험

표 4 SFRC의 품질관리시험 항목

재 료	품질관리시험항목	시험 방법	시험 빈도	빈 도
골 재	불 성 시 험	KS 참조	보통 콘크리트의 Q/C와 동일	
SFRC	슬 럽 프	KS F 2402	1회/각 운반차 안정상태에 있으면- 2회/일	
	공 기 량	KS F 2421	"	
	안 위 용 적 중 량	KS F 2409	"	
	압 축 강 도	JSCE	2회/일	
	휨 강 도	JSCE	2회/일	
	강 섬유 혼 입 율	JSCE	2회/일	
	뿔 어 붙 인 두 겹	-	수시	Shotcrete용 공사 중 또는 공사후
	뿔 어 붙 인 SFRC	-	수시	Shotcrete용 공사 중 또는 공사후
	표 면 의 변 상 규 모	-	수시	
	SFRC 온 도	온도계	슬럼프 또는 공기량 시험시	포장용
기 타	-	수시		

(주) SFRC의 편인성계수는 휨인성 시험에 의해 측정하는데, 이때 특수한 시험기구를 필요로 하기 때문에 현장에서는 비교적 쉽게 실시할 수 있는 강섬유 혼입율 시험으로 휨인성 시험을 대체하는 것으로 하였다.

표 5 SFRC의 품질조건

SFRC의 종류	관 리 항 목	품 질 조 건								
타 설 용 S F R C	압축강도로부터 W/C비를 구한 경우	압축강도의 시험값이 설계기준강도 이하로 되는 확률이 5% 이하로 되는 것을 적당한 위험율로 추정할 수 있으면 소요의 품질을 가진 것으로 한다.								
	내구성 및 수밀성으로부터 W/C비를 구한 경우	시험값의 평균값이 소요의 물·시멘트비 이상 또는 이에 상응하는 압축강도를 상회하면 소요의 품질을 가진 것으로 한다.								
	휨강도로 부터 강섬유 혼입률을 정현경우	휨강도의 시험값이 설계기준휨강도 이하로 되는 확률이 5% 이하로 되는 것을 적당한 위험율로 추정할 수 있으면 소요의 품질을 가진 것으로 한다.								
	휨인성으로부터 강섬유 혼입율을 정한 경우	휨인성 값이 다음 표 값 이하로 되는 확률이 5% 이하로 되는 것을 적당한 위험율로 추정할 수 있으면 소요의 품질을 가진 것으로 한다.								
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>설계기준휨강도</th> <th>휨인성 계수</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>55kg/cm<sup>2</sup> 이상</td> <td>35kg/cm<sup>2</sup> 이상</td> </tr> <tr> <td>70kg/cm<sup>2</sup> 이상</td> <td>55kg/cm<sup>2</sup> 이상</td> </tr> <tr> <td>90kg/cm<sup>2</sup> 이상</td> <td>70kg/cm<sup>2</sup> 이상</td> </tr> </tbody> </table>	설계기준휨강도	휨인성 계수	55kg/cm <sup>2</sup> 이상	35kg/cm <sup>2</sup> 이상	70kg/cm <sup>2</sup> 이상	55kg/cm <sup>2</sup> 이상	90kg/cm <sup>2</sup> 이상	70kg/cm <sup>2</sup> 이상
설계기준휨강도	휨인성 계수									
55kg/cm <sup>2</sup> 이상	35kg/cm <sup>2</sup> 이상									
70kg/cm <sup>2</sup> 이상	55kg/cm <sup>2</sup> 이상									
90kg/cm <sup>2</sup> 이상	70kg/cm <sup>2</sup> 이상									
		그러나 휨인성 시험은 복잡하고 숙련을 요하므로 사전에 구한 휨인성과 강섬유 혼입율과의 상관관계로부터 강섬유 혼입율을 구해 합격으로 한다.								
포 장 용 S F R C	휨 강 도	① 3회의 시험결과 평균값은 설계기준휨강도 이상일 것 ② 1회의 시험결과는 설계기준휨강도의 85%이상인 것의 2가지 조건을 만족할때 합격으로 한다								
	휨인성 계수	타설요 SFRC의 휨강성으로부터 강섬유 혼입율을 정한 경우와 同一함								

(주) 압축강도, 휨강도 및 휨인성계수는 제령 28일에서의 강도 및 휨인성이다.

공사 개시전 및 공사중에는 필요한 경우 책임기술자의 지시에 따라 표 4와 같은 품질시험을 실시한다.

### 3. SFRC의 품질검사

시험값에 의한 콘크리트의 품질을 검사할 경우에는 책임기술자의 지시에 따라 얻어진 모든 시험값 및 일부의 연속하는 시험값을 한 조로 검사하고, 검사결과 SFRC의 품질이 적당하지 않은 경우에는 책임기술자의 지시에 따라 배합 수정, 실비 성능 검사, 작업방법 개선 등 적절한 조치를 취하는 동시에 구조물에 타설한 SFRC가 소요의 목표를 달성할 수 있는지 여부를 확인하고 필요에 따라 적절한 조치를 강구해야 한다.

SFRC의 품질은 표 5의 값을 만족하는 것이라야 한다.

### 4. 맺음말

SFRC는 보통 콘크리트에 비하여 많은 장점을

가지고 있으나 일반적으로 섬유 혼입에 따라 단위수량 및 단위시멘트량이 증대하는 경향이 있고, 어느 정도의 슬럼프를 가지도록 한 경우 SFRC의 단위 시멘트량은 400kg/m<sup>3</sup>을 초월하는 것이 보통이다. 또한 SFRC의 제조에 있어서는 강섬유를 콘크리트 및 모르타 매트릭스 중에 균등 분산시켜야 하고 믹싱 중 강섬유와 매트릭스가 분리하기도 하고, Fiberball이 생긴 경우 소기의 목적을 달성할 수 없고, 믹싱시 섬유를 균등분산시켰다 해도 타설 다짐 중에 분리할 수도 있으며, 타설·다짐이 곤란한 위커빌리티에 있어서는 사용이 불가능하다. 그리고 섬유의 균등 분산 및 타설·다짐이 가능해도 경화 후 당초 예상했던 균열강도, 인장·휨강도, 내충격성 등의 각종 요구성능을 만족하지 못하면 결과적으로 강섬유를 혼입한 의미가 없어져 버리고 Cost-Performance가 낮은 복합재료가 되어버린다.

따라서 SFRC의 제조에 있어서는 강섬유의 매트릭스 중의 균등분산, 적절한 위커빌리티 및 요구성능의 확보 등 3가지 점을 항상 고려하는 것이 중요하다.

이를 위해서는 원재료의 검사는 물론 배합, 믹싱,

타설 및 다짐 등의 공사 전단계에 걸쳐 철저한 품질 관리 및 품질검사를 통하여 소요 품질의 SFRC를 제조할 수 있을 것이다.

그러나 우리나라의 경우 SFRC의 설계·시공 지침(안)이 마련되어 있지 않을 뿐만 아니라, SFRC의 제조·공급에 대해서는 레미콘 제조 및 현장타설법 등이 있으나 아직 시험적인 단계일 뿐이며, 요구되는 품질의 SFRC를 확실히 제조·공급할 수 있는 제조관리체제는 완전히 확립되지 않은 상태이다. 또한 펌프공법에 의한 SFRC의 타설시 Fiberball에 의한 막힘 및 과부하상태에 의한 압송성 저하가 일부 보고되고 있으며, 거푸집내의 타설, 성형의 적절한 방법에 관해서도 연구보고가 부족하기 때문에 앞으로 많은 시공실적의 축적을 통한 품질관리 시스템의 확립이 요망되고 있다.

## 참 고 문 헌

1. 朴承範, “纖維補強 콘크리트의 特性과 最近의 技術(基Ⅱ) -鋼纖維補強 콘크리트”, 레미콘지, pp. 14-28, 1990. 9
2. 朴承範 外, “에너지 節約型 高機能 纖維補強 콘크리트의 開發 및 設計 施工 指針案 作成에 關한 研究”, KICT 研究要約報告書, 1996
3. 朴承範, “시멘트 콘크리트의 品質試驗 및 品質管理 - 콘크리트의 品質管理 및 品質檢査方法”, 韓國콘크리트學會 3회 技術講座, pp. VIII-1-71, 1994
4. 日本土木學會, “鋼纖維補強 콘크리트 設計·施工 指針(案)”, p. 183, 1983
5. 鋼材俱樂部, “鋼纖維補強 콘크리트 設計·施工 指針(案)”, 日本建築學會, P. 195, 1993
6. 小林一輔, “鋼纖維補強 콘크리트의 配合”, 콘크리트工學, Vol. 15, No. 3, pp. 78-83, 1977
7. 鋼材俱樂部 SFRC構造設計施工研究會, “鋼纖維補強 콘크리트 設計施工 마뉴얼 : 톤넬編”, 技報堂 出版, p. 290, 1995
8. 鋼材俱樂部 SFRC構造設計施工研究會, “鋼纖維補強 콘크리트 設計施工 마뉴얼 : 道路鋪裝編”, 技報堂 出版, p. 94, 1995