

## 강섬유 보강콘크리트의 강섬유 분산이 표면전기저항에 미치는 영향

### Effect of Steel Fiber Distribution in Steel Fiber-reinforced Concrete on Surface Electrical Resistivity

김 성 도<sup>1)</sup>      문 도 영<sup>2)\*</sup>  
Kim, Seong Do      Moon, Do Young

#### Abstract

One of feasible non-destructive test methods for evaluation of concrete permeability is the measurement of surface resistivity. But the application to steel fiber-reinforced concrete has been limited because mis-evaluation could be caused by the steel fibers in concrete. In this study, the effect of fiber distribution on surface electrical resistivity of steel fiber-reinforced concrete was investigated through experimental program. Resistivity was measured three times on four surfaces in three rectangular and circular specimens with 0.5%, 1% and 1.5% steel fibers by volume and compared each other. The results obtained from circular specimens were consistent compared to those from rectangular specimens. And the results demonstrated that the effect of fiber distribution on surface resistivity was not significant compared to that of mixing ratio of steel fibers. In conclusion, this non-destructive testing method using measurement of surface resistivity could be used for SFRC within 0.5% steel fibers by volume.

**Keywords** : Surface resistivity of concrete, Steel fiber, Fiber distribution, Permeability

#### 1. 서 론

콘크리트 표면전기저항 측정은 콘크리트 구조물의 비파괴시험방법 중 하나로써, 투수성(permeability)을 평가하기 위하여 사용된다. 표면저항 측정결과의 평가수준에 따른 기준치를 살펴보면,  $12k\Omega - cm$  이하이면 투수성이 매우 높음,  $12k\Omega - cm \sim 21k\Omega - cm$  이면 중간,  $21k\Omega - cm \sim 37k\Omega - cm$  이면 낮음으로 평가하도록 되어있다(Gowers and Millard, 1999). 본 평가방법은 염소이온투과성능(Rapid Chloride Penetration) 실험결과와 매우 일관된 상관관계를 갖는 것으로 연구, 분석되었으며, 미국의 루이지애나주에서는 콘크리트 구조물의 초기평가시 RCP 시험을 표면전기저항 시험으로 대체함으로써, 예산 절감의 큰 효과가 있었음을 보고한바 있다(Rupnow and Icenogle, 2011). 표면전기저항측정방법

은 하프셀 방법 등과 비교할 때, 철근을 노출시킬 필요가 없다는 측면에서 현장적용측면에서 간편하다. 이상과 같이 콘크리트 표면전기저항시험법은 일반콘크리트 투수성 평가에 매우 간편하면서도 효과적인 비파괴 검사법임에 틀림없다.

강섬유보강 콘크리트에서도 투수성은 일반콘크리트에서와 같이 매우 중요한 검사항목이다. 강섬유가 균열을 제어하는데 효과적이라 할지라도 투수성이 크면, 내부 이형철근의 부식과 그로인한 수명의 단축을 막을 수 없기 때문이다. 그러나, 강섬유보강 콘크리트 투수성 평가를 위하여 표면저항측정방법을 이용한 비파괴 검사법을 적용하기에는 매우 중대한 제약이 있다. 전도체인 강섬유가 표면저항치에 영향을 주기 때문에 강섬유보강 콘크리트의 표면저항측정 결과의 판독 및 평가에 오류가 발생할 수 있기 때문이다(Moon, 2012; Moon et al., 2011; So,

1) 정회원, 경성대학교 토목공학과 교수

2) 정회원, 경성대학교 토목공학과 조교수, 교신저자

\* Corresponding author : dymoon@ks.ac.kr 051-663-4756

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 2월 28일까지 학회로 보내주시면 2013년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2008; So, 2009; Su et al., 2002)

한편, 일반 콘크리트 구조물의 내부 이형철근도 전도체로서, 동일한 문제가 발생할 수 있다. 그러나 이형철근의 영향은 다양한 영향인자들, 철근의 간격, 배근방향 및 깊이와 장비 전극간격 등에 대한 면밀하고 정량적인 분석이 수행되었으며(Sengul and GrΦrv, 2009), 이에 근거하여 그 영향을 최소화할 수 있는 측정방법과 평가기준이 도출되었다.

강섬유보강 콘크리트의 강섬유로 인한 문제도 동일한 연구방법을 통해 해결될 수 있다. 현재, 강섬유보강 콘크리트의 투수성 평가는 RCP 시험에만 의존하고 있다. 강섬유의 영향을 최소화할 수 있는 표면저항측정방법 및 장비의 개발이 가능하다면, 일반 콘크리트 뿐 아니라 강섬유보강 콘크리트 건설 분야에서도 표면전기저항측정방법의 가능성과 효용성은 더욱 증대될 수 있다.

그러나, 강섬유보강 콘크리트의 표면전기저항과 관련된 연구는 매우 제한적이다. 특히, 강섬유보강 콘크리트의 표면전기저항에 영향을 주는 인자와 그 영향에 대한 정량적인 분석 결과는 전무한 실정이며, 매우 단편적인 연구 결과만이 제시되어 있다. Roque 등(2009)은 각종 섬유보강 콘크리트의 수송계수(transportation coefficient)의 분석을 위하여 강섬유보강콘크리트의 표면전기저항을 측정하였으며, 1% Vol. 강섬유보강 콘크리트의 표면전기저항이 타 비전도체 섬유보강콘크리트의 표면저항치에 비하여  $6k\Omega - cm \sim 10k\Omega - cm$  정도 낮다고 제시하였다. 또한, Lataste 등(2008)은 콘크리트에 혼입된 강섬유의 배치방향을 예측하기 위하여 표면전기저항측정방법을 강섬유 보강콘크리트에 적용하였으며, 8개의 동일한 2%의 강섬유 혼입량의 슬래브 콘크리트의 측정결과를 제시하였다. 측정 결과에 따르면, 강섬유 방향 등의 요인에 의하여  $0.4k\Omega - cm$  정도의 표면저항치 변화가 발생하는 것으로 보고하였다.

본 논문에서는 강섬유보강 콘크리트에서 강섬유의 배치 및 분산도가 표면전기저항에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 강섬유보강 콘크리트의 강섬유의 배치와 분산도는 동일한 배합이라 할지라도 진동 다짐정도 및 방법, 구조물의 형상 및 타설 위치에 따라 달라질 수 있다. 그러므로, 본 실험에서는 다양한 혼입률의 강섬유보강 콘크리트의 콘크리트 배치, 실험체의 형상과 측정위치에 따른 표면전기저항을 측정하고 상호 비교하였다. 이 실험적 연구의 결과는 표면전기저항측정방법의 강섬유보강콘크리

트 적용성 판단을 위한 기초자료를 제공하는데 그 의미가 있다.

## 2. 실험

### 2.1 실험체제작 및 변수

콘크리트 실험체는 두가지 형태로 150mm 정방형 실험체와 직경 150mm의 원형 실험체를 제작하였다(Fig. 1 참조). 정방형 실험체의 4개의 표면과 원형실험체의 원주면 상의 4개 표면에서의 저항측정결과를 상호 비교함으로써, 강섬유의 배치 상태와 분산도의 영향을 분석할 수 있다. 또한, 각 실험체의 동일한 변수에 대하여 3개의 실험체를 제작하였다. 3개의 실험체는 별도의 배치에 의해 타설되었다. 따라서, 동일한 배합으로 제작된 실험체이지만 3개의 실험체의 결과를 상호 비교함으로써, 콘크리트 배치의 영향을 분석할 수 있다.

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계압축강도 24MPa의 콘크리트로서, 배합은 Table 1과 같다. 표면전기저항



Fig. 1 Rectangular and circular specimen

Table 1 Mix proportion

$f_{ck}$ (MPa)	W/B	S/a	Mix amount (kg/m <sup>3</sup> )					Steel Fiber
			W	C	S	G		
24	47	40	189	406	653	1006	- (0%)	
							40 (0.5%)	
							80 (1%)	
							120 (1.5%)	

측정을 위한 실험체의 제작시 압축강도 측정을 위한 직경 100mm, 높이 200mm의 공시체를 제작하였으며, 28일 재령 후 일축압축강도 실험을 실시하였으며, 압축강도는 31MPa로 나타났다.

콘크리트의 혼합은 200리터 용량의 믹서를 사용하였다. 강섬유는 미리 물에 혼입시켜 섬유간 본드를 제거하여 준비된 상태에서 제일 마지막에 추가하였다. 각 실험체의 타설은 3단으로 나누어 타설하였으며, 각 단계에서 다짐봉을 이용하여 다짐을 시행하였다.

Fig. 1에 표시한 바와 같이 정방형 및 원형 실험체의 4개의 표면을 정의하고, 각 표면에 대한 저항측정치를 비교하였다. 정방형 실험체의 경우 콘크리트 타설면을 S1으로 명명하였으며, 반시계 방향의 순서대로 S2, S3, S4로 하였다. 정방형 실험체의 S2와 S4는 측면을, S3는 바닥면을 대표한다. 한편, 원형실험체의 경우에는 90도 각도를 갖는 임의의 4면을 설정하여 반시계 방향으로 S1~S4까지 정하였다. 원형 실험체의 S1부터 S4는 콘크리트 타설면에 대하여 모두 측면에 해당된다.

## 2.2 시험방법 및 분석

Moon(2012)은 강섬유혼입량이 체적비에 대하여 1%~3% 범위일 때, 표면전기저항치에 미치는 영향을 분석하였다. 연구결과에 따르면, 강섬유 혼입량이 2% 이상일 때 표면 전기저항치가 60%~90%까지 감소하였다. 또한, 이 보다 더욱 큰 영향을 미치는 인자는 콘크리트의 수분상태이며, 이로 인해 초기치의 150%까지 증가할 수 있다고 제시하였다. 본 논문에서는 수분의 영향을 배제하기 위하여 실험체가 포화상태일때의 표면저항치를 측정하였다. 포화상태를 만들기 위하여 모든 실험체는 타설 후 측정시(재령 28일)까지 수조에서 양생되었다. 측정전 측정장비의 검교정을 완료하고, 이후 수조에서 꺼내진 실험체의 각 표

면은 깨끗한 타월로 물기가 제거된 상태에서 바로 표면저항치의 측정이 이루어졌다. 정방형 및 원형실험체의 측정 위치는 Fig. 1에 실험체의 표면에 매직으로 표시된 것과 같이 중방향으로 각 표면의 중앙에서 수행되었다.

S1~S4까지 모든 표면에서 3번씩 반복하여 저항치가 측정되었다. 제시된 모든 측정 결과는 3번 측정의 평균값이다. 3개의 동일한 실험체에 대한 평균저항치들을 실험체의 형태별, 측정표면별 평균, 변동계수를 비교, 고찰하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 무강섬유 실험체

Table 2는 정방형 실험체 3개의 결과를 나타내고 있다. 타설면인 S1은 최소 3.1kΩ-cm에서 최대 3.8kΩ-cm로 측정되었으며 평균은 3.4kΩ-cm, 변동계수는 10%인 것으로 나타났다. 측면인 S2와 S4는 3개 실험체의 평균이 각각 4.5kΩ-cm, 4.8kΩ-cm로 나타났다. 그러나 실험체간 변동계수가 12%에서 13%로 다소 크게 나타났다. 바닥면인 S3는 평균치가 5.7kΩ-cm이며, 변동계수가 12%로 나타났다.

이 결과로부터 타설 콘크리트 배치의 영향과 각 측정표면의 강섬유 배치 및 분산도에 따른 영향을 알 수 있다. 동일한 표면에 대한 3개의 서로 다른 배치의 콘크리트 실험체의 결과를 살펴보면, 동일한 배합으로 타설되었지만, 배치에 따라 표면저항은 0.7kΩ-cm~1.2kΩ-cm의 차이가 발생하며, 10%~13% 정도의 표면저항치의 변동

Table 2 Results for rectangular specimens with no fibers

Specimens	Resistivity (kΩ-cm)	Mean (kΩ-cm)	C.V (%)	Ratio to S1 (%)
S1	1	3.1	3.4	10
	2	3.2		
	3	3.8		
S2	1	4.9	4.5	13
	2	3.8		
	3	4.8		
S3	1	6.1	5.7	12
	2	4.9		
	3	6.1		
S4	1	5.5	4.8	12
	2	4.5		
	3	4.5		

이 발생한다. 이는 동일한 배합이라 할지라도 배치에 따라, 타설 조건에 따라 콘크리트의 공극구조(pore structure)가 미세한 차이를 나타내기 때문이다.

한편, 각 표면의 측정결과를 S1 표면과의 비로 나타낸 것을 살펴보면, 표면저항치가 바닥면(S3) > 측면(S2) > 타설면(S1)의 순서임을 알 수 있다. 특히 S3 표면의 표면저항치는 S1 표면 저항치의 168%인 것으로 나타났다. 전술한 바와 같이 실험체의 측정이 포화상태에서 수행되었기 때문에 각 표면의 수분상태는 동일함에도 불구하고, 표면에 따라 큰 차이가 발생하였다. 이와 같은 차이는 표면저항치가 각 표면의 위치상의 특징을 매우 잘 반영하고 있기 때문이다. 상면(S1)의 경우 타설면으로서 블리딩과 다수의 공극이 발생하기 때문에 가장 낮은 저항치를 나타낸 반면, 바닥면인 S3는 다짐에 의하여 치밀해짐으로서, 높은 표면 저항치를 나타낸 것이다.

한편, 원형 실험체의 결과는 Table 3에 나타내었다. 서로 다른 배치로부터 타설된 3개의 실험체에 대한 측정결과를 살펴보면, 표면저항치는  $0.3k\Omega - cm \sim 1.3k\Omega - cm$ 의 차이가 발생하며, 변동계수는 3%에서 7%로 전반적으

Table 3 Results for circular specimens with no fibers

Specimens	Resistivity ( $k\Omega - cm$ )	Mean ( $k\Omega - cm$ )	C.V (%)	Ratio to S1 (%)
S1	1	5.0	7	100
	2	5.8		
	3	5.5		
S2	1	5.5	3	100
	2	5.5		
	3	5.2		
S3	1	5.5	4	106
	2	5.6		
	3	6.0		
S4	1	6.2	14	106
	2	6.1		
	3	4.8		

Table 4 Results for rectangular specimens with fibers

Specimens	0.5% Vol.				1.0% Vol.				1.5% Vol.			
	Mean ( $k\Omega - cm$ )	C.V (%)	Ratio to S1 (%)	Ratio to NR (%)	Mean ( $k\Omega - cm$ )	C.V (%)	Ratio to S1 (%)	Ratio to NR (%)	Mean ( $k\Omega - cm$ )	C.V (%)	Ratio to S1 (%)	Ratio to NR (%)
S1	3.0	2	100	88	2.8	12	100	82	2.5	6	100	74
S2	2.9	15	97	64	2.4	4	86	53	1.8	24	72	40
S3	1.4	12	47	25	1.2	10	43	21	1.0	2	40	18
S4	2.3	26	77	48	2.0	20	71	42	1.4	10	56	29

로 정방형 실험체 보다 작은 것으로 나타났다. 더욱이 각 표면의 표면저항치 평균은 5.4(S1), 5.4(S2), 5.7(S3), 5.7(S4)로 표면간의 차이가 거의 없다. 이와 같은 결과는 원형 실험체의 모든 측정 표면이 측면의 조건으로 동일한 공극량과 공극구조를 갖고 있기 때문이다.

이상의 결과를 종합적으로 고려할 때, 표면전기저항치는 콘크리트 타설 조건, 즉 타설 위치와 다짐도에 따른 공극량 및 공극구조 특징을 매우 잘 반영하고 있다고 판단되며, 따라서 무강섬유 콘크리트의 투수성을 평가하는데 유효하게 적용할 수 있는 비파괴 평가방법임을 확인할 수 있다.

### 3.2 강섬유 보강실험체

#### 3.2.1 정방형 실험체 결과

Table 4에는 강섬유보강 실험체의 표면저항 측정결과가 정리되어 있다. 강섬유가 0.5% 보강된 3개의 정방형 실험체의 측정결과를 살펴보면, 무강섬유 실험체의 결과와 다소의 차이가 있다. 우선, 저항치의 감소가 발생하였다. 이것은 전도체인 강섬유의 보강으로 인한 전류간섭의 영향이다. S1의 저항치는  $3.0k\Omega - cm$ , S2는  $2.9k\Omega - cm$ , S3는  $1.4k\Omega - cm$ , S4는  $2.3k\Omega - cm$ 로 무강섬유 실험체의 각 표면 저항치에 대하여 각각 88%, 64%, 25%, 48%에 불과한 것으로 나타났다. 또한, 주요한 차이는 바닥면인 S3의 결과이다. 무강섬유 실험체와 달리 바닥면 S3의 저항치가 오히려 감소하는 것을 확인할 수 있다. 무강섬유 결과에서는 다짐의 영향으로 표면저항치의 증가가 발생하는 반면 강섬유 보강 실험체에서는 큰 감소를 나타내고 있으며, 이는 강섬유의 배치 및 분산도의 영향이다. 즉, 다짐으로 인해 바닥면에 강섬유가 많이 배치되었기 때문이며, 공극등 재료적 문제로 인한 낮은 투수성능과는 직접적인 관계가 없다. 이는 강섬유의 영향으로 인하여 투수성 평가에 오류가 발생할 수 있음을 의미한

Table 5 Results for circular specimens with fibers

Specimens	0.5% Vol.				1.0% Vol.				1.5% Vol.			
	Mean ( $k\Omega-cm$ )	C.V (%)	Ratio to S1 (%)	Ratio to NR (%)	Mean ( $k\Omega-cm$ )	C.V (%)	Ratio to S1 (%)	Ratio to NR (%)	Mean ( $k\Omega-cm$ )	C.V (%)	Ratio to S1 (%)	Ratio to NR (%)
S1	2.5	8	100	46	1.9	22	100	35	1.8	35	100	33
S2	3.1	20	124	57	1.8	19	95	33	1.6	22	89	30
S3	3.0	25	120	53	2.1	21	111	37	1.7	26	94	30
S4	3.0	10	120	53	2.2	11	116	39	1.3	8	72	23

다. 한편, 무강섬유 실험체와 같이 콘크리트 배치에 따라 측정치의 변동이 발생하며, 무강섬유 실험체에 비하여 전반적으로 변동계수가 다소 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 공극구조의 차이에 의한 영향에 강섬유 배치 및 분산도의 영향이 더하여진 결과라고 판단된다.

1.0% 강섬유보강 콘크리트 실험체의 결과와 1.5% 강섬유보강 콘크리트 실험체 결과에서도 동일한 경향이 나타났다. 표면저항치는 강섬유의 혼입량이 증가할수록 감소하며, 바닥면인 S3의 저항치 감소량이 가장 큰 것으로 나타났다.

### 3.2.2 원형 실험체 결과

Table 5에는 0.5%, 1.0% 및 1.5%의 강섬유가 보강된 원형 실험체의 측정 결과를 나타내고 있다. 전도체인 강섬유 혼입으로 인하여 저항치가 감소되는 것은 정방형 실험체와 동일하다. 그러나, 정방형 실험체의 결과와 달리 원형실험체의 결과에서는 표면간 저항치의 차이가 크지 않고, 모든 표면에서 거의 유사한 결과를 나타내고 있다. 0.5%의 경우 S1 표면 결과치의 100%~124% 범위에, 1.0%의 경우 95%~116%, 1.5%의 경우 72%~100% 범위에 있다.

동일한 배치에서 강섬유의 배치 및 분산도 차이로 인한 표면저항치의 변화는 약  $0.5k\Omega-cm$ 에 불과하며, 동일한 결과를 Lataste 등(2008)의 실험결과에서도 확인할 수 있다. 또한, 콘크리트 타설 배치에 따른 측정치의 변동계수를 분석할 때, 배치에 따라  $0.75k\Omega-cm$  정도의 표면저항치 차이가 발생할 수 있다.

## 4. 분석 및 고찰

### 4.1 실험체 형상

본 실험에서 원형실험체와 정방형실험체의 4개 표면에

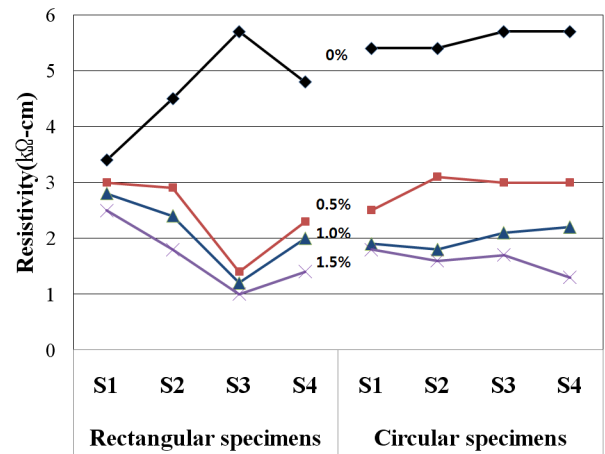


Fig. 2 Effect of specimen shape

대한 표면전기저항치를 측정하고 비교하였다. Fig. 2와 같이 원형실험체의 결과는 각 표면의 결과와 거의 유사한 반면, 정방형 실험체 결과는 매우 변화가 큰 것으로 나타났다. 이는 정방형 실험체의 경우 타설면과 바닥면에 다짐에 의한 공극 및 강섬유의 분포에 큰 영향을 받는 반면, 원형실험체의 경우 모든 표면이 동일한 조건으로 그 영향이 없기 때문이다. 따라서, 순수한 강섬유의 배치 및 분산도, 콘크리트 타설 배치의 영향을 분석하기 위해서는 원형실험체의 결과를 통한 분석이 유효하다. 또한, 강섬유보강 콘크리트의 투수성 평가를 위한 표면전기저항측정 실험체는 원형실험체를 사용하여야 한다.

### 4.2 강섬유 분산도 영향

원형실험체의 결과에 근거하여 각 표면에서의 표면저항치 비교를 통해 강섬유의 배치 및 분산도의 영향을 분석한 결과(Fig. 2 Circular specimens 결과 참고), 이로 인한 표면저항치의 최대변화가  $0.6k\Omega-cm$  (강섬유 1.5% 혼입)로 나타났다. 이와 같은 저항치는 0.5% 강섬유 실험체 평균저항치의 20%, 1.0% 강섬유 실험체 평균치의

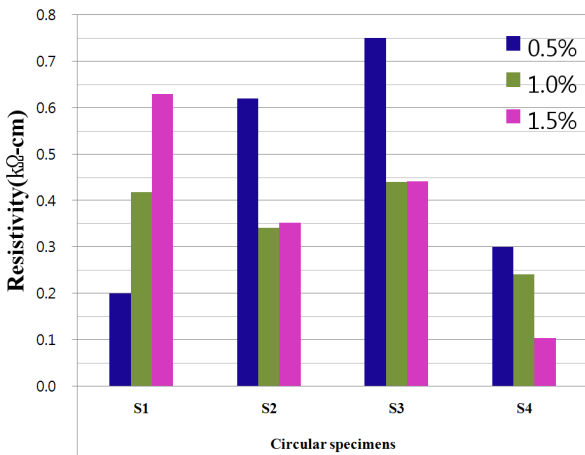


Fig. 3 Effect of concrete batch

30%, 1.5% 강섬유 실험체 평균치의 38%에 해당하는 변동이다. 따라서, 1% 이상의 강섬유를 포함하는 경우에는 강섬유의 분산도에 따른 저항치의 변화가 상당한 것으로 판단되며, 강섬유의 분산도에 의한 최대영향은 약 38%임을 알 수 있다.

#### 4.3 콘크리트 타설 배치의 영향

원형 실험체의 결과, 표 5의 변동계수(C.V) 결과로부터 콘크리트 타설 배치의 영향을 고찰할 수 있으며, 결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 3의 종축은 표 5에 제시된 평균치(Mean)에 변동계수(C.V)를 곱하여 얻은 결과를 제시하고 있다. 즉, 배치에 의하여 원형실험체의 표면저항치에 발생할 수 있는 표면저항치의 최대값을 의미한다. 결과를 살펴보면, 콘크리트 배치의 차이로 인한 저항치의 차이는  $0.75k\Omega - cm$ 로 강섬유의 분산도에 의한 표면저항치의 차이  $0.5k\Omega - cm$ 보다 다소 큰 것으로 나타났다. 강섬유 0.5%를 포함하고 있는 원형실험체의 표면저항치가  $2.5k\Omega - cm \sim 3k\Omega - cm$ 임을 감안할 때,  $0.75k\Omega - cm$ 는 25%~30%에 해당하므로, 콘크리트 배치에 대한 최대 영향은 약 30%임을 알 수 있다.

#### 4.4 강섬유 혼입량의 영향

원형실험체의 결과에 근거하여 강섬유 혼입량이 표면전기저항치에 미치는 영향을 분석하였으며, Fig. 4와 같다. 제시된 바와 같이 모든 표면에서의 결과가 매우 유사한 것을 알 수 있으며, 무강섬유 실험체의 표면전기저항

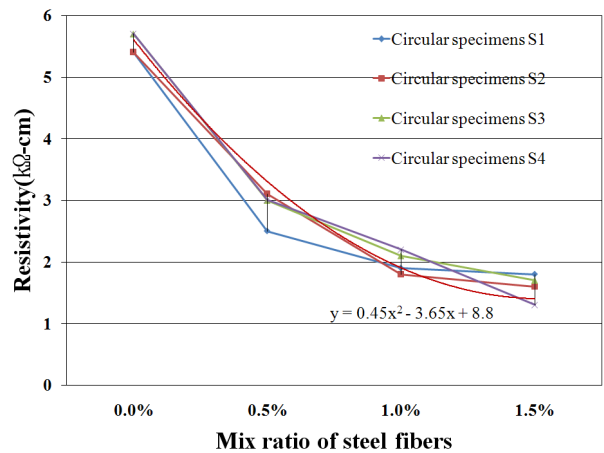


Fig. 4 Effect of mix ratio

치에 대하여 혼입량 0.5%에서 약 50%, 혼입량 1%에서 약 65%, 혼입량 1.5%에서 약 70%의 저항치 감소가 나타났다. 이 결과로부터 판단할 때, 강섬유의 분산도, 콘크리트 배치의 영향 보다는 강섬유 혼입률의 영향이 지배적인 것을 알 수 있다. Moon(2012)은 1%~3%의 강섬유콘크리트 정방형 실험체의 표면전기저항 실험과 저항치의 분석을 하였으며, 강섬유 1% 이상의 혼입률에서는 강섬유 혼입으로 인한 저항치의 감소가 다른 영향인자에 비하여 너무 지배적이기 때문에 투수성의 판단 및 평가가 불가능하다는 결론을 제시하였다. 본 실험에서는 0.5%와 1.5%의 강섬유를 포함하고 있는 실험체의 결과를 추가로 고찰하였으며, 역시 0.5% 혼입률이 강섬유보강콘크리트의 투수성능을 평가할 수 있는 상한치에 해당하는 것으로 판단된다. Fig. 4에 추세선과 식을 삽입하였다. 제시된 식에 x는 체적비에 대한 강섬유의 혼입량의 %를 의미하여 이를 통해 표면저항치의 감소정도를 예측할 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 강섬유보강 콘크리트의 강섬유 분산도가 콘크리트 표면전기저항측정치에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석하였다. 이 결과는 강섬유보강 콘크리트의 투수성 평가를 위한 콘크리트 표면전기저항 비파괴평가 방법의 적용성을 평가하는 기초자료로서 그 의미가 있다. 실험결과로부터 획득한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 정방형 실험체와 원형 실험체의 실험결과, 정방형 실험체는 각 표면마다 저항치의 변동성이 매우 큰

것으로 나타났다. 변동성은 무강섬유 실험체의 경우에는 타설면과 바닥면의 다짐에 의한 공극구조의 차이가 원인이며, 강섬유보강 콘크리트의 경우에는 공극구조의 차이와 함께 바닥면에 강섬유 배치가 몰린 것이 원인으로 판단된다. 따라서, 강섬유가 표면저항치에 미치는 영향을 오류없이 명확하게 판단하기 위해서는 원형실험체의 결과가 유효한 것으로 확인되었다. 또한, 향후 강섬유보강 콘크리트의 표면전기저항측정법을 이용한 투수성 평가방법 도출시 원형실험체가 적용되어야 할 것이다.

- (2) 강섬유의 분산도와 콘크리트 배치에 따른 영향을 고찰한 결과, 분산도에 따라 약  $0.6k\Omega - cm$ , 콘크리트 배치에 따라 약  $0.75k\Omega - cm$ 의 표면저항치의 변동이 발생하였으며, 분산도에 따라 38%, 배치에 따라 30%의 영향이 있는 것을 알 수 있다. 그러나 강섬유 혼입률의 영향보다는 영향이 크지 않은 것을 확인하였다.
- (3) 강섬유보강 콘크리트의 강섬유 혼입량이 지배적으로 표면저항치를 감소시키는 것으로 나타났으며, 감소치는 0.5%, 1.0% 및 1.5% 각각의 혼입률에 대해서 무강섬유 실험체 표면저항치의 50%, 65% 및 70%에 달하는 것으로 나타났다. 본 실험에서 사용된 강섬유보강콘크리트 배합에 대하여 획득한 실험결과의 회귀분석을 하였으며, 강섬유 혼입률 (%)에 따른 표면전기저항치를 예측할 수 있는 2차식을 제안하였다.
- (4) 이상의 결과를 종합할 때, 표면전기저항측정방법을 이용한 강섬유보강콘크리트의 투수성 평가 기준간 민감도는 최소 50% 이상이어야 할 것으로 판단된다. 만일 그 이하의 경우에는 강섬유 분산도와 콘크리트 배치로 인한 저항치의 차이가 강섬유보강콘크리트 미세구조의 영향을 지배하기 때문에 적절한 판단이 불가능하다.
- (5) 향후 연구과제로서, 표면전기저항치와 강섬유 보강콘크리트의 RCPT 시험결과 및 미세구조분석결과와의 상호관계를 도출함으로써, 본 전기저항측정방법을 이용한 강섬유보강콘크리트의 투수성의 평가와 기준의 도출이 가능하리라 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 경성대학교 사후 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

## 참고문헌

1. Gowers, K. R. and Millard, S. G., "Measurement of concrete resistivity for assessment of corrosion severity of steel using Wenner technique", ACI Materials Journal, vol. 96, No. 5, 1999, pp.536-541.
2. Lataste, J. F., Behloul, M., Breyse, D., "Characterization of fibres distribution in a steel fibre reinforced concrete with electrical resistivity measurements", NDT&E International, vol. 41, Issue 8, 2008, pp.638-647.
3. Moon, D., "Sensitivity of Resistivity Measurement of Steel Fiber-Reinforced Concrete", Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation, vol. 12, No. 5, 2012, pp.53-61.
4. Moon, D., Lee, G., Jang, S., Bae, G., "Effect of steel fibers on surface resistivity of steel fiber reinforced concrete for shield segment", Journal of Korean Tunneling and Underground Space Association, vol. 13, No. 6, 2011, pp.557-569.
5. Roque, R., Kim, N., Kim, B., Lopp, G., Durability of Fiber-Reinforced Concrete in Florida Environments, University of Florida, Tallahassee FL, USA, 2009, pp.84-85.
6. Rupnow, T. D., Icenogle, P., Evaluation of Surface Resistivity Measurements as an Alternative to the Rapid Chloride Permeability Test for Quality Assurance and Acceptance, Report FHWA/LA.11/479, Louisiana Transportation Research Center, Baton Rouge LA, USA, 2011.
7. Sengul, O. and Gjrv, O. E., "Effect of embedded steel on electrical resistivity measurements on concrete structures", ACI Materials Journal, vol. 106, No. 1, 2009, pp.11-17.
8. So, H. S., "An Experimental Study on the DC Resistivity Technique for the Evaluations of Reinforcement Corrosion Rate in Concrete Structures", Journal of Architectural Institute of Korea, vol. 24, No. 6, 2008, pp.93-100.
9. So, H. S., "Influence of Environmental Factors and Reinforcing Steel Bars on the Measurement of Concrete Resistivity in RC Structures", Journal of Architectural Institute of Korea, vol. 25, No. 6, 2009, pp.91-98.
10. Su, J., Yang, C., Wu, W. and Huang, R., "Effect of moisture content on concrete resistivity measurement", Journal of Chinese Institute of Engineers, vol. 25, No. 1, 2002, pp.117-122.

Received : 11/06/2012

Revised : 12/10/2012

Accepted : 12/11/2012

---

## 요 지

콘크리트의 투수성능을 평가하는 여러 가지 비파괴시험방법 중의 하나는 표면전기저항을 측정하는 것이다. 그러나 콘크리트내에 강섬유로 인한 판단의 오류가 발생할 수 있기 때문에 강섬유 보강콘크리트에 본 표면전기저항측정방법을 적용하기에는 한계가 있다. 본 연구에서는 강섬유보강 콘크리트의 강섬유 분산도가 표면전기저항에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였다. 3개의 정방향 및 원형 실험체의 4개면에서의 저항치를 3번 반복하여 측정하였으며, 서로 비교하였다. 측정결과에 의하면, 원형실험체를 이용한 실험결과가 정방향 실험체의 결과에 비하여 강섬유의 영향을 일관되게 나타내고 있는 것으로 확인되었다. 또한, 강섬유의 분산도는 강섬유 혼입량에 비하여 측정결과에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 결론적으로, 표면전기저항측정을 이용한 비파괴 평가법은 0.5%까지의 강섬유를 포함한 SFRC의 투수성 평가에 적용될 수 있는 것으로 판단된다.

**핵심 용어** : 콘크리트 표면저항, 강섬유, 섬유분산도, 투수성

---