

# 포장 기층재료로 활용하기 위한 섬유보강콘크리트의 강도특성

## Strength Development of Fiber Reinforced Lean Concrete for Subbase Material

최우현\* · 박철우\*\* · 박종섭\*\*\* · 정우태\*\*\*\* · 장영재\*\*\*\*\*

Choi, Woo Hyeon · Park, Cheol Woo · Park, Jong Sub · Jeong, Woo Tae · Jang, young Jae

### 1. 서 론

우리나라의 도로부문 투자액은 연간 약 15조원에 이를 정도로 막대한 사회 자본이 투자되고 있으며, 이 중 80%가 순수한 도로에 투자되고 있는 실정이다. 하지만 이러한 막대한 투자에도 불구하고 도로포장 구조물의 성능 발현은 예상 기대치에 미치지 못하고 있다. 도로포장의 공용수명은 50~100년에 이르는 교량이나 터널 등과 같은 다른 도로 시설물의 공용수명에 비해 매우 낮은 실정으로 이는 기존 도로포장 시스템의 설계/시공/유지관리등에 있어 많은 부분이 개선되어야 함을 시사한다고 할 수 있다.(한국건설기술연구원, 2009) 또한, 도로 포장 관련 기술 대부분은 미국이나 유럽, 일본 등에서 도입된 것으로 이와 같은 설계는 국내의 조건이 적절하게 고려되지 않은 경험적 설계방식에 의한 설계로 설계수명 전에 포장이 조기에 파손되어 막대한 국가 예산 낭비의 원인이 되고 있다. 이와 같이 국내의 지반조건, 골재품질, 사용재료 등을 고려하지 못하고 도입된 외국 포장 기술로 인해 국내 포장의 품질, 신뢰성에 대한 의문이 지속적으로 제기되고 있는 상태이므로 이에 대한 개선이 필요하다. 특히 도로 포장에 대한 독창적이며, 검증 가능한 세계적 기술 확보를 위해서는 국내 실정을 고려한 포장 재료 및 포장 해석/설계/유지관리를 망라하는 체계적인 연구가 필요하다.

따라서, 현재 국내에서는 한국건설기술연구원이 주축이 되어 국내의 실정을 반영하는 새로운 개념의 다기능복합포장 기술의 개발을 진행하고 있다. 본 연구는 이러한 다기능복합포장의 기층재료로 활용하기 위한 섬유보강콘크리트를 개발하는 기초 연구의 일환이다. 이에 포장 기층재료로 활용하기 위한 섬유보강콘크리트의 경화전 특성 및 강도발현에 대한 기초적인 실험적 연구결과를 소개하고자 한다.

### 2. 실험개요

포장 기층재료로 활용하기 위한 섬유보강콘크리트의 최적배합을 도출하기 위하여 굵은골재 최대치수, 사용 섬유에 따른 역학적 특성과 더불어 장기강도의 기여와 탄소 저감형 친환경성 증대를 위하여 플라이애시의 치환을 실험변수로 하여 경화전의 특성 및 압축강도발현 특성을 분석하였다.

#### 2.1 사용재료

본 실험에서 사용한 국내 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 골재는 강원도 삼척인근의 골재원에서 채취한 것을 사용하였다. 플라이애시의 기본적인 특성은 KS L 5405의 규격을 만족하며 화학적 성분

\* 학생회원 · 강원대학교 토목건설공학전공 석사과정(E-mail : cwh2337@naver.com)

\*\* 정 회 원 · 강원대학교 공학대학 건설공학부 토목공학과 부교수 · 공학박사(E-mail : tigerpark@kangwon.ac.kr)

\*\*\* 정 회 원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 공학박사(E-mail : spark1@kict.re.kr)

\*\*\*\* 정 회 원 · 한국건설기술연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail : woody@kict.re.kr)

\*\*\*\*\* 학생회원 · 강원대학교 건설공학부 토목건설공학전공 석사과정(E-mail : incsjyj@gmail.com)

은 표 1에 나타내었다. 또한, 2009 FRC 복합포장 혼합물개발 보고서(한국건설기술연구원, 2009)에서 여러 종류의 섬유를 혼입한 콘크리트의 특성을 고려한 결과 섬유보강콘크리트의 요구성능에 적합한 4가지 섬유(그림 1 참조)를 선택하였으며 물리적 특성은 표 2에 나타내었다.

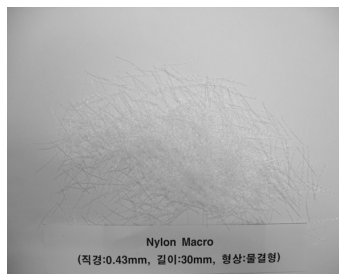
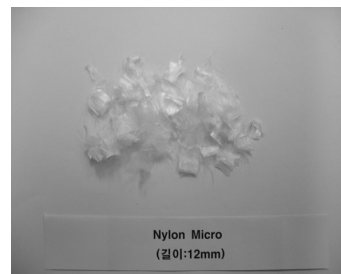
**표 1. 플라이애시의 화학적 특성**

화학 성분	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
플라이애시(%)	47.5	10.1	18.1	14.4	2.79	1.03	1.63

**표 2. 사용한 섬유의 물리적 성질**

섬유	밀도( $g/cm^3$ )	탄성계수(GPa)	인장강도(MPa)	융해점(°C)
강섬유(ST)	7.9	200	1,200	-
폴리비닐알코올(PVA)	1.3	23~41	900~1,600	230
나일론(NY)	1.16	-	500	210


**(a) 강섬유**

**(b) PVA**

**(c) NYmacro**

**(d) NYmicro**
**그림 1. 사용 섬유**

## 2.2 배합계획

본 연구에서는 도로공사표준시방서(국토해양부, 2009)에 명시된 빈배합 콘크리트 기층의 기준에 따라 단위 시멘트량을  $150kg/m^3$ 으로 고정하였다, W/C 0.795, 잔골재율 40%, 섬유 혼입율은 전체 체적의 0.2%로 고정하였다. 굵은골재는 현행 기층재료 기준을 고려하여 최대치수 40mm와 25mm를 선택하였으며, 각 치수별로 총 9가지의 변수를 고려하여 실험을 수행하였다. 아래의 표 3과 표 4에서는 본 연구에서 활용한 상세의 배합표를 나타내고 있다.

표 3. 굵은골재 최대치수25mm사용배합표

시험체	W/C	S/a	섬유혼입율(%)				단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )				
			ST	PVA	NY		W	C	F.A.	C.A.	F/A
					micro	macro					
Plain	0.795	40	-	-	-	-	119.3	150.0	831.2	1325.3	-
ST			0.2	-	-	-	119.3	150.0	831.2	1325.3	-
PVA			-	0.2	-	-	119.3	150.0	831.2	1325.3	-
ST+NY(micro)			0.1	-	0.1	-	119.3	150.0	831.2	1325.3	-
PVA+NY(micro)			-	0.1	0.1	-	119.3	150.0	831.2	1325.3	-
NY(macro)			-	-	-	0.2	119.3	150.0	831.2	1325.3	-
NY(macro) +NY(micro)			-	-	0.1	0.1	119.3	150.0	831.2	1325.3	-
ST+NY(micro) +F/A10%			0.1	-	0.1	-	119.3	135.0	829.1	1321.9	15
PVA+NY(micro) +F/A10%			-	0.1	0.1	-	119.3	135.0	829.1	1321.9	15

표 4. 굵은골재 최대치수40mm사용배합표

시험체	W/C	S/a	섬유혼입율(%)				단위 재료량(kg/m <sup>3</sup> )				
			ST	PVA	NY		W	C	F.A.	C.A.	F/A
					micro	macro					
Plain	0.795	40	-	-	-	-	119.3	150.0	831.2	1349.8	-
ST			0.2	-	-	-	119.3	150.0	831.2	1349.8	-
PVA			-	0.2	-	-	119.3	150.0	831.2	1349.8	-
ST+NY(micro)			0.1	-	0.1	-	119.3	150.0	831.2	1349.8	-
PVA+NY(micro)			-	0.1	0.1	-	119.3	150.0	831.2	1349.8	-
NY(macro)			-	-	-	0.2	119.3	150.0	831.2	1349.8	-
NY(macro) +NY(micro)			-	-	0.1	0.1	119.3	150.0	831.2	1349.8	-
ST+NY(micro) +F/A10%			0.1	-	0.1	-	119.3	135.0	829.1	1346.4	15
PVA+NY(micro) +F/A10%			-	0.1	0.1	-	119.3	135.0	829.1	1346.4	15

### 2.3 시험체 제작 및 실험방법

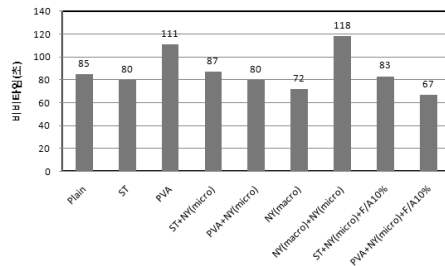
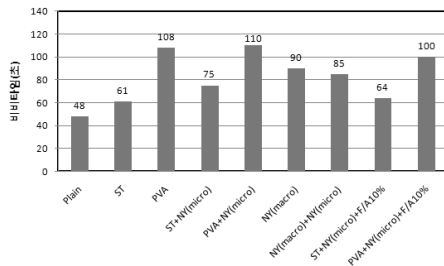
콘크리트 혼합은 표 3과 표 4의 배합설계에 따라 강제식 팬타입 믹서(100ℓ)를 사용하였고, 잔골재, 굵은골재, 시멘트 및 플라이애시를 순서대로 투입하여 약 30초 동안 건배합 비빔을 실시하였으며 배합수를 첨가하여 60초 동안 비빔 후 섬유를 투입하고 90초간 믹싱하여 배합을 완성하였다. 시험체의 제작은 각 종류별 시험체에 대하여 동일한 제작기준을 적용하여 시험체간의 변동계수를 최소화 할 수 있도록 하였다. 경화전 콘크리트의 특성을 위하여 슬럼프 측정은 KS F 2402, 굳지않은 콘크리트의 반죽질기 시험(비비방법)은 KS F 2427, 공기량 시험은 KS F 2421, 단위용적질량 특성은 KS F 2409에 의거하여 수행하였고 경화후 콘크리트의 특성 중 본 연구에서 수행되어지는 압축강도 측정을 위해 KS F 2403에 따라 원주형 시험체를 제작하였다. 이때, 굵은골재 최대크기가 25mm인 경우 지름 10cm의 시험체를, 4mm인 경우 지름 15cm의 원주형 시험체를 각각 제작하였다. 제작된 시험체는 재령 7일과 재령 28일에 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법에 의거하여 압축강도를 측정하였다. 또한 시험체의 양생은 강도 측정 재령까지 비닐덮개를 이용하여 습윤양생을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 경화전 콘크리트의 특성

경화전 콘크리트의 가장 기초적인 특성 중 하나인 슬럼프값은 본 연구에서 고려하는 콘크리트의 낮은 단위시멘트량과 단위수량으로 인하여 거의 모든 변수별 배합에서 0cm에 가까웠다. 그리고 콘크리트의 반죽질

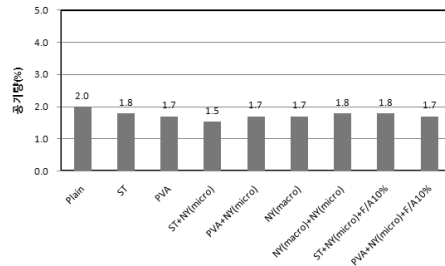
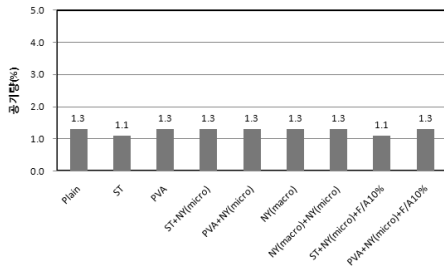
기를 판단하는 Vebe시간의 경우(그림 2참조), 굵은골재 최대치수가 25mm의 배합군에서는 각 변수별로 약 80초 전후의 값을 가지는 것으로 나타났고, 굵은골재 최대치수가 40mm의 배합군에서는 NY(macro)와 PVA+NY(micro)+F/A10%변수를 제외하고는 모두 80초 이상의 값을 나타내었다. 굵은골재 최대치수가 25mm와 굵은골재 최대치수가 40mm의 두 배합군 모두 각 변수별 특성을 분석하기에는 변화가 심한 수준이었으나 실제 배합을 하고 시험체를 제작하는 등의 과정에서 실험자가 느낄 수 있는 차이는 크지 않았다. 공기량의 경우(그림 3참조), 본 연구에서 수행한 배합에서는 공기연행제를 사용하지 않았으므로 굵은골재 최대치수 25mm의 경우 각 변수별로 다소 낮은 공기량 측정값을 나타내었다. 강섬유(ST)를 함유한 경우(ST 및 ST+NY(micro)+F/A10%)의 공기량 측정값은 감소하는 것으로 나타났으나 감소폭은 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 굵은골재 최대치수 40mm의 경우 각 변수별 공기량은 대부분 약 1.5~2.0%로서 일반적인 공기연행제를 사용하지 않은 공기량을 나타내었다. 굵은골재 최대치수 25mm의 단위용적질량은 약 2,200~2,300kg/m<sup>3</sup>의 값을 나타내어 일반적인 콘크리트에 비하여 다소 낮은 수준이었다. 하지만 플라이애시(F/A)를 첨가한 경우에는 단위용적질량이 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 최대치수 40mm의 경우, 전반적으로 약 2,250kg/m<sup>3</sup>로서 최대치수 25mm의 경우에 비하여 약간 높은 수준이었다. 하지만 최대치수 25mm인 경우와 비교하여 볼 때 섬유유 함유로 인하여 단위용적질량의 변화가 크지 않은 것으로 판단된다(그림 4참조).



(a) 굵은골재 최대치수-25mm

(b) 굵은골재 최대치수-40mm

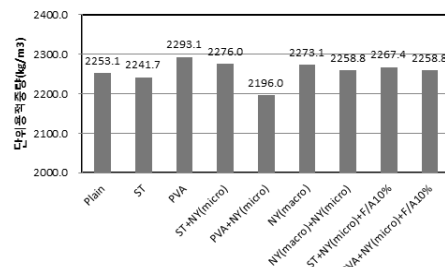
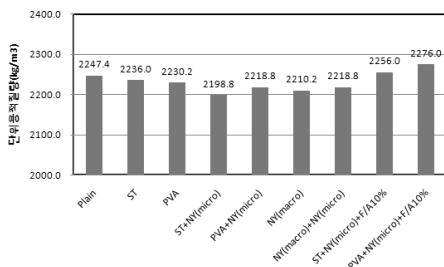
그림 2. 굵은골재 최대치수별 Vebe시간



(a) 굵은골재 최대치수-25mm

(b) 굵은골재 최대치수-40mm

그림 3. 굵은골재 최대치수별 공기량 측정결과



(a) 굵은골재 최대치수-25mm

(b) 굵은골재 최대치수-40mm

그림 4. 굵은골재 최대치수별 단위용적질량

### 3.2 압축강도 특성

본 연구에서는 굵은골재의 최대치수를 25mm와 40mm의 두 종류를 고려하여 표 3과 표4에 나타낸 바와 같이 총 18개의 변수로, 각 변수별로 3개씩의 시험체에 대하여 실험을 수행하였다. 압축강도는 본래 재령 7일, 28일에 측정하는 것을 원칙으로 하였으나 실험을 수행하는 과정에서 내부사정으로 인하여 다소 조정이 불가피하였다. 그리하여 최대치수 25mm의 경우 재령 7일 대신 11일에 압축강도 실험을 수행하였으며, 40mm의 경우 재령 7일 대신 8일에 강도실험을 수행하였고 그 결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 최대치수 25mm의 경우, 재령 7일(11일)에서 섬유가 함유되지 않은 Plain 시험체에 비교할 때 섬유의 함유로 인하여 대부분의 시험체에서 강도의 감소가 나타났다. 또한 플라이애시(F/A)를 함유한 경우 초기강도발현이 늦어지는 특성상 강도가 다소 낮은 것으로 측정되었다. 하지만 플라이애시(F/A)를 사용한 경우에는 초기재령에서는 강도가 다소 낮았지만 지속적으로 강도의 증진이 일어나 재령 28일의 경우, 플라이애시(F/A)함유 변수의 시험체 강도가 상대적으로 증가한 것으로 나타났다. 최대치수가 25mm인 경우, 대부분의 시험체에서 압축강도는 약 15MPa 전후로서 변수별 강도의 차이를 인식하기에는 다소 무리가 있는 것으로 나타났다.

최대치수 40mm의 경우, 25mm의 경우에서 섬유의 함유로 인하여 강도가 다소 감소한 경우와 달리, 재령 7일(8일)에서 40mm 골재에서는 섬유의 함유로 인하여 오히려 약간의 강도가 증가하였다. 또한, 플라이애시(F/A)를 사용한 경우 강도의 저하가 뚜렷이 나타났다. 마찬가지로 28일 강도의 경우, 7일(8일)강도에 비하여 재령의 증가에 따른 강도의 증가가 크지 않은 것으로 나타났으나 플라이애시(F/A)를 함유한 변수에서는 지속적인 강도의 증가가 일어났다. 대부분의 시험체에서 재령 28일 압축강도는 약 13MPa 전후로서 변수별 강도의 차이를 인식하기에는 다소 무리가 있는 것으로 판단되나 이는 약 15MPa 전후의 값을 가지는 25mm골재의 경우에 비하여 다소 감소한 것이다. 이러한 강도 결과는 한국도로공사 빈배합콘크리트 기층에 대한 강도 기준(재령 7일, 5MPa)을 만족하는 것으로 나타났다.

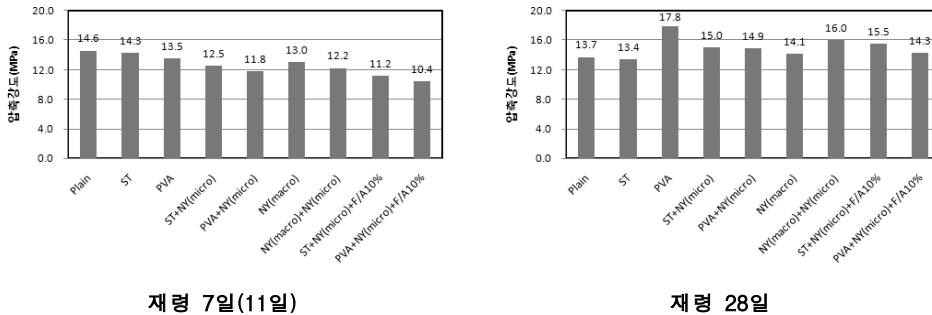


그림 5. 굵은골재 최대 치수 25mm 압축강도 결과

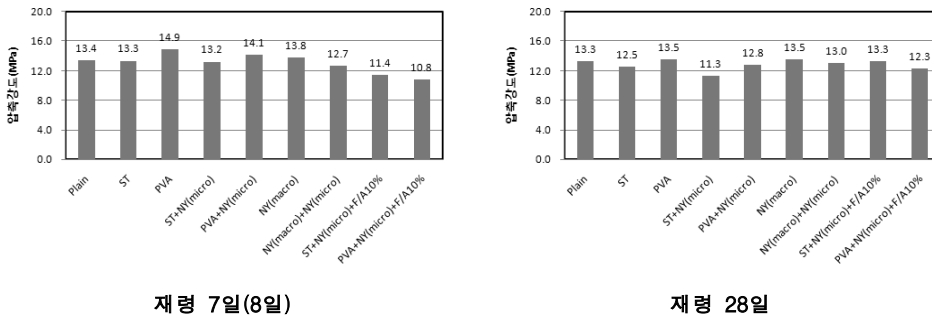


그림 6. 굵은골재 최대 치수 40mm 압축강도 결과

#### 4. 결 론

본 연구에서는 포장 기층재료로 활용하기 위한 섬유보강콘크리트 재료의 개발을 위한 기초 연구를 수행하고자 하였으며 실험적 연구로부터 도출된 결론을 다음과 같다.

- 1) 경화전 콘크리트 특성(슬럼프, Vebe시간, 공기량, 단위용적질량)은 각 변수별로 그 특성을 구별하기 쉽지 않았으며 이는 낮은 빈배합콘크리트에 섬유를 함유하여 워커빌리티가 좋지 못하고 다짐이 어려운 사실에 기인하는 것으로 사료된다. 그러나 섬유보강콘크리트의 구조·재료적인 성능에 미치는 영향은 적은 것으로 판단된다.
- 2) 재령 28일 강도의 경우, 7일(11일)강도에 비하여 재령의 증가에 따른 강도의 증가가 크지 않은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 본 연구에서 사용한 배합에서 적은 단위시멘트량과 단위수량을 사용한 것에 기인한 것으로 판단된다.
- 3) 압축강도 실험 결과 각 변수별 압축강도의 차이는 크지 않아 변수별 압축강도의 특성을 나타내기에는 어려우나 단위시멘트량이 적은 점과 더불어 빈배합콘크리트의 배합 및 타설 특성상 다짐의 수준에 많은 영향을 받는 것에 원인이 있을 것으로 판단된다. 또한 섬유의 활용은 압축강도에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 판단되며 플라이애시(F/A)를 활용한 시험체에서는 추후연구에 장기강도를 추가적으로 분석할 필요가 있는 것으로 판단된다.
- 4) 실험에서 도출된 결과로부터 도로공사표준시방서에 명시된 기층재료로 활용하기 위한 압축강도 기준에는 만족하는 것으로 나타났으나 포장 기층재료로 활용하기 위한 섬유보강콘크리트 재료의 개발을 위하여 추후 연구에 휩강도, 인장강도, 휨인성, 건조수축 길이변화 등의 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 「다기능 복합 도로포장시스템 기술개발」 연구의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] 건설기술연구원(2009), “FRC 복합포장 혼합물 개발”
- [2] 고경택, 장춘, 이건철, 강수태, 김성욱, 한천구(2005), “초고강도 강섬유보강 콘크리트의 수축특성”, 한국콘크리트학회 2005년도 가을 학술발표회 논문집, 제 17권, 제 2호, P647~650
- [3] 국토해양부(2009), “도로공사표준 시방서”
- [4] 김병기, 김광련, 권용주, 한천구(2006), “콘크리트 초기균열 제어를 위한 합성섬유의 특성 및 현장 적용 사례”, 콘크리트학회지, 제 18권, 제 1호 P36~43
- [5] 박철우, 윤경구(2009), “시멘트 콘크리트 포장의 발전을 위한 국내외 콘크리트 포장의 시공 및 배합에 대한 검토(III) - 유럽형 고성능 콘크리트 포장 배합특성 분석”, 도로학회지:도로, 제 11권, 제 4호, P37~44
- [6] 전규남, 백대현, 정우태, 박종섭, 한민철, 한천구(2009), “섬유종류 변화에 따른 도로 포장용 섬유보강 콘크리트의 기초적 특성에 관한 연구 - 제 2보, 경화 콘크리트 특성을 중심으로”, 한국콘크리트학회 2009년도 가을 학술대회 논문집, 제 21권, 제 2호, P329~330