



# 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트를 사용한 기계화경작로 확·포장공사의 현장사례 연구

## Field Case Study of Mechanized Form Roads Pavement Construction using Cellulose Fiber Reinforced Concrete

박종건<sup>\*,†</sup>

Park, Jong Gun

### Abstract

At the present, the mechanized form roads pavement was constructed with plain concrete. Mostly, it was used by welded wire mesh for preventing crack. Cellulose fibers for the reinforcement of concrete offer relatively high levels of elastic modulus, fiber count (per unit weight), specific surface, and bond strength to cement-based materials. The construction of concrete pavement confirmed that cellulose fiber reinforced concrete was applicable to mechanized form roads pavement. In the study, cellulose fibers were used here at 0.08 % volume fraction, which is equivalent to a fiber content of 1.2 kg/m<sup>3</sup>. Cellulose fiber reinforced concrete were compared with plain concrete. Field test results indicated that cellulose fiber reinforced concrete showed slightly to increase of 28 days compressive strength and improved the initial strength. it tended to increase of splitting tensile strength. Test results showed that the slump and air content tend to decreased. but, the variation of air contents is very little. Also, construction cost of cellulose fiber reinforced concrete is less than about 25.7 % the case of welded wire mesh previously used. Therefore, The cost reduction is expected to be possible in construction site by mechanized form roads pavement.

**Keywords:** Cellulose fiber; Cellulose fiber reinforced concrete; Mechanized form roads; Compressive strength; Slump; Plain concrete

### 1. 서 론

기계화경작로 확·포장공사는 농업기반시설 중 경지정리가 완료되었거나 추진될 농경지내의 주요농로와 이와 연계되는 농산물의 가공·유통시설간의 농로를 확·포장하여 기계화 영농기반을 구축함으로써 농업생산성을 향상시키고 경작지와 가공·유통시설간의 유기적 연결로 유통개선을 촉진함은 물론 농촌생활환경을 개선시키는데 있다. 현재 대부분 무근콘크리트의 균열저감 방안으로 기존에 많이 사용해왔던 와이어 메쉬를 이용하여 경작로를 포장하고 있으며, 일부에서는 와이어 메쉬를 대체할 섬유보강 콘크리트가 기계화경작로 확·포장공사에서 주목받고 있다. 콘크리트는 압축에는 강하나 인장, 휨에는 약한 취성적 성질을 나타내며, 타설 직후 가소성의 유동체가 응결되는데, 이때 인장응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하여 균열이 발생하게 된다. 이러한 콘크리트

트의 단점을 보완하기 위하여 섬유보강 콘크리트에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되어 왔다 (Shah et al., 1990; Shin et al., 2006; Jung et al., 2007; Kim et al., 2008).

최근 사용량이 증대하고 있는 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트 (Cellulose Fiber Reinforced Concrete)에 대해 국내외의 연구동향을 살펴보면, 다음과 같다. 국내의 경우 특수가공 처리된 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 역학적 특성과 건조수축균열제어 능력을 평가하여 그 결과를 제시하였다 (Won et al., 2000). 도로포장용 콘크리트의 성능향상을 목적으로 폴리프로필렌 (PP), 나일론 (NY), 폴리비닐알코올 (PVA) 및 셀룰로오스 (CL)의 섬유 종류에 변화를 주어 도로포장용 섬유보강 콘크리트 (FRC)의 공학적 특성을 분석하였다 (Han et al., 2010). 콘크리트 포장에서 균열제어 및 인성증가를 위한 섬유보강의 효과를 평가하고 섬유의 종류 및 섬유비를 변수로 하는 섬유보강 콘크리트 실험체를 제작하고 콘크리트의 역학적 특성을 평가하였다 (Choi et al., 2012). 선진외국의 경우 6종류의 다른 셀룰로오스 섬유  $V_f=05\%$  (시멘트 무게의 약 1%)가 보강된 콘크리트 시험을 실시하여 셀룰로오스 섬유보강은 균열폭을 상당히 감소시키는 능력을 보여주었다. (M. Sarigaphuti et al., 1993). 셀룰로오스 섬유는 시멘트 복합체의 파괴에너지를 높이는 동시에 인장강도, 휨강도, 인성

\* Iksan District Office, Korea Rural Community Corporation

† Corresponding author

Tel.: +82-63-860-0061 Fax: +82-63-860-0080

E-mail: park2630@kornet.net

Received: December 11, 2014

Revised: February 13, 2015

Accepted: February 16, 2015

및 충격에 저항할 수 있는 힘을 높여주는 등 시멘트 복합체의 내구성을 개선시키는데 매우 효과적인 작용을 한다고 하였다 (X. Lin et al., 1997). 종래의 일반적인 콘크리트와 고성능 콘크리트의 구속된 소성수축 균열에 대해 특수 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 소성수축의 효과적인 억제방법을 제시하였으며, 구속된 수축으로 인한 균열에 저항성이 큰 가공된 셀룰로오스 섬유를 사용한 새로운 품질의 조기고강도 콘크리트를 개발하였다 (Parviz et al., 1997, 1998, 1999).

따라서 본 연구는 콘크리트의 보강재료인 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트를 사용하였을 때 굳지 않은 콘크리트의 특성과 굳은 콘크리트의 특성을 현장시험을 통하여 보통강도 콘크리트와 비교분석하고, 기계화경작로 확·포장공사의 효율적인 사업추진을 위하여 현장적용성을 검토, 분석하고자 한다.

## II. 기계화경작로의 계획·설계기준

### 1. 개요

농어촌 농로란 농어촌지역주민의 교통편익과 농수산물의 생산유통을 원활히 하는 동시에 농어촌지역의 생활환경개선과 경제의 활성화를 위하여 이용하는 도로를 말한다. 농로의 종류는 주된 기능 및 배치에 따라 기간농로와 경지내 농로로 구분하며, 경지내 농로는 간선농로, 지선농로 및 경작로로 구분한다. 간선농로는 부락과 경지구역, 경지구역 상호간, 일반도로 또는 기간농로와 경지구역, 경지구역과 생산·가공·유통시설 등에 연결시키는 주요농로이다. 지선농로는 간선농로에서 분기하여 포구 및 경구에 연결되는 농로이며, 농작업을 위한 왕래, 비료·농약 등 영농자재의 반입, 수확물을 경지로로부터 반출하는데 이용되는 농로이다. 경작로는 수확, 방제 작업 등에 이용하기 위하여 경구의 경계부 또는 경구 내에 설치하는 농로이다.

### 2. 농로의 형상 및 구조

기계화경작로 확·포장은 포장 재료에 따라 아스팔트포장, 콘크리트포장 및 토사계포장으로 구분된다. 아스팔트포

장은 보조기층, 기층, 중간층 및 표층으로 구성되고 콘크리트 포장은 일반적으로 보조기층 및 콘크리트 슬래브로 구성되며 토사계포장은 자연흙을 이용하거나 노상위에 자갈, 쇄석, 모래 등을 깔고 그 표면을 노면으로 사용하는 포장이다. 우리나라에서 적용하고 있는 농어촌 농로의 형상 및 구조는 Table 1과 같다.

### 3. 경작로의 폭

농어촌 경작로의 폭은 대형 농기계가 안전하게 통과 할 수 있도록 지형여건을 고려하여 농기계의 폭을 감안하여 결정하여야 하며, 경지정리가 완료된 지구내 4 m 이상의 농로를 대상으로 아스팔트 또는 콘크리트로 3 m 기준으로 포장하고 있다. 경작로의 포장폭은 3 m (1차선)를 기준으로 하고 길어깨의 폭은 최소한 0~0.5 m를 확보한다.

### 4. 노면의 높이

노면의 높이는 선형, 토공, 농로의 기능, 용지 등을 고려하여 결정되되 농로의 유지 보전의 측면에서는 가급적 높은 것이 유리하다. 또한 연약지반에서는 침하를 고려하여 더쌓기를 할 필요가 있다. 일반적으로 농로의 노면높이는 도로의 선형, 용지사정 등에 의하여 좌우된다.

### 5. 진입로 및 농로의 교차

진입로는 일반적으로 각 경구에 1개소를 설치하며, 농로에 접속시켜 설치한 용·배수로를 넘어 농기계가 자유롭게 경구를 출입할 수 있도록 한다. 진입로는 지형에 따라 적당히 배치하는데 특히 대구획의 경우는 일반적으로 각 경구에 1개소 설치하는 것을 표준으로 하나, 평탄지에서는 필요에 따라 2경구에 1개소를 설치하고 농기계가 경지에 자유롭게 출입할 수 있도록 배려한다. 또한 경지면과 경작로의 표고차가 커서 농기계의 경지로 진·출입이 곤란할 경우는 경사로를 설치하여 농기계의 진출입이 용이하도록 계획한다. 농로의 교차부는 농기계가 교차할 수 있도록 교차지역을 두어 차량의 주행을 용이하게 하기 위하여 귀 붙이기를 한다.

### 6. 대피소

농어촌의 농로에서 원활한 통행을 도모하기 위하여 필요한 경우 대피소 등을 계획하여 설치하여야 한다. 대부분의 경작로 폭이 3.0~4.0 m의 노폭으로 차량이나 농기계의 교행을 위한 대피소가 필요하며 노선의 연장이 길 때 대피소의 상호간의 거리는 보통 300 m 정도로 하며 현장여건을 감안하여 대피소를 설치함이 바람직하다.

Table 1 Shape and structures of rural roads

Division		Main road	Branch road	Form road
Width of rural road	Road pavement	Over 6.0m	Over 5.0m	Over 3.0m
	Shoulder	0.5~1.0m	0.5~0.75m	0~0.5m
Height of road surface		Over 0.5m	Over 0.5m	Over 0.3m

### III. 재료 및 방법

#### 1. 시험계획

본 연구에서의 배합사항으로 W/B는 53.7%, 레미콘 호칭 강도가 21 Mpa의 시공조건을 고려하여 목표 슬럼프 80±25 mm 및 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 설정하였다. 또한 시험사항으로 굳지 않은 콘크리트는 슬럼프와 공기량을 측정하고, 굳은 콘크리트는 재령 3일, 7일, 28일 및 56일 압축 강도와 재령 7일 및 28일 쪼갬인장강도를 측정토록 계획하였다. 본 연구의 현장 시험계획은 Table 2와 같다.

#### 2. 사용재료

##### 가. 시멘트

시멘트는 국내 H사 제품의 보통 포틀랜드시멘트 (Type I) 를 사용하였으며, 비중은 3.15이고 분말도는 3,850 cm<sup>2</sup>/g 이다.

##### 나. 골재

잔골재는 김제시 금산면에서 생산한 부순모래를, 굵은골재는 최대치수 40 mm의 쇄석골재를 사용하였다. 이에 대한 골재의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

##### 다. 혼화제

혼화제는 고성능 AE 감수제 표준형 (폴리카르보실산계) 을 사용하였으며, 이에 대한 일반적인 특성은 Table 4와 같다.

##### 라. 고로슬래그 미분말

고로슬래그 미분말은 광양 제철소산 고로슬래그 미분말을 사용하였으며, 이에 대한 화학성분 및 물리적 성질은 Table 5와 같다.

##### 마. 셀룰로오스 섬유

본 지구에 사용한 셀룰로오스 섬유는 콘크리트 보강재료

Table 2 Field test plan

Factors		Levels
Mixture	Gmax (mm)	40
	W/B (%)	53.7
	Slump (mm)	80±25
	Air content (%)	4.5±1.5
	Fiber dosage (%)	0.08
	Fiber content (kg/m <sup>3</sup> )	1.2
Tests	Fresh concrete	• Slump • Air content
	Hardended concrete	• Compressive strength (3, 7, 28, 56 days) • Splitting tensile strength (7, 28 days)

Table 3 Physical properties of aggregates

Division	Size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	Finess modulus	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )
Crushed coarse aggregate	2.5~40	2.62	2.80	6.91	1,450
Fine aggregate	< 4.75	2.59	2.24	2.91	1,560

Table 4 General properties of superplasticizer

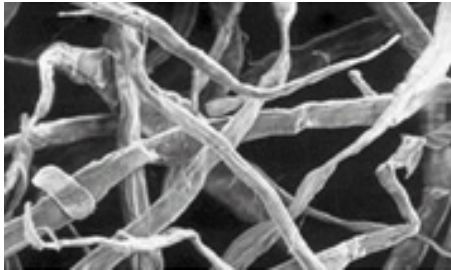
Specific gravity (20°C)	pH	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Color	Usage (%)
1,028	5.22	1,190	Dark brown liquid	1% of binder

Table 5 Physical properties and chemical composition of blast furnace slag

Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	SO <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	Ig.loss (%)	Total content of blast furnace slag (%)
3.03	4,060	2.79	2.60	1.11	45

Table 6 Physical properties of cellulose fiber

Elastic modulus (Mpa)	Bond strength (Mpa)	Tensile strength (Mpa)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Fiber length (mm)	Effective diameter (mm)	Aspect ratio	Fibers count/each (cm <sup>2</sup> )	Fibers count/each (g)
6.1×10 <sup>3</sup>	1.53	510	1.5	2.92	0.015	195	1,100	1,100,000



(a) Cellulose fibers enlarged by 400 times



(b) Finished product of specialty cellulose fiber

Photo 1 Shape of specially processed cellulose fiber

Table 7 Mixture proportion of cellulose fiber reinforced concrete

Gmax (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )						Fiber content	
			Water	Cement	Sand	Gravel	Blast furnace slag	Admixture (%)	(%)	kg/m <sup>3</sup>
40	53.7	45.7	160	208.6	849	1,008	89.4	2.09	0.08	1.2

로서 목재로부터 추출된 섬유를 가공해서 만든 것으로 섬유 장이 약 2.92 mm로서 국내 S사의 제품이다. 본 연구에 사용한 셀룰로오스 섬유의 물리적 특성은 Table 6과 같으며, 특수 가공처리된 셀룰로오스 섬유의 사진은 Photo 1과 같다.

### 3. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 배합

본 연구에 사용한 셀룰로오스 섬유는 배합설계 시 사용량을 포함하지 않는 재료로서 표준사용량은 콘크리트 1 m<sup>3</sup> 당 V<sub>f</sub>=0.08%인 1.2 kg을 적용하였다. 또한 제철소의 부산물로 생성되는 고로슬래그 미분말을 시멘트의 사용량을 최소화하기 위하여 시멘트 중량의 30%를 치환하였다. 콘크리트의 강도 발현에 중대한 영향을 미치는 굵은골재의 최대치수를 신중히 결정하여야 함으로 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 배합설계에서 굵은골재의 최대치수 40 mm를 사용하였다. 본 연구에 사용된 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 배합설계는 Table 7과 같다.

### 4. 시험방법

#### 가. 굳지 않은 콘크리트의 시험

셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 워커빌리티를 파악하기 위해서 KS F 2402 규정에 의거 슬럼프 시험을 실시하였으며, 공기량은 KS F 2421 규정에 따라 시험을 실시하였다.

#### 나. 굳은 콘크리트의 강도 시험

굳은 콘크리트의 압축강도 및 쪼갬인장강도 시험을 위해 φ 10×20 cm의 공시체를 제작하여 KS F 2405 규정에 의한 압축강도 시험과 KS F 2423 규정에 의한 쪼갬인장강도 시험을 측정하였다. 본 연구는 각각의 계획된 재령 3일, 7일, 28일 및 56일에서의 압축강도와 재령 7일 및 28일 쪼갬인장강도를 측정하였다.

#### 다. 공시체 제작 및 양생

강도시험용 공시체 제작은 φ10×20 cm의 몰드를 사용하였으며, 원주형 몰드에 3층으로 나누어 채우고 각 층마다 25회씩 다짐을 실시하는 등 콘크리트를 KS F 2043 규정에 따라 제작하였다. 공시체 제작 1일 이후 몰드를 탈형하여, 수중 양생조에서 소정의 재령까지 양생을 실시하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 시험결과 및 분석

#### 가. 굳지 않은 콘크리트의 특성

셀룰로오스 섬유보강 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 슬

Table 8 Test results of slump and air content

Division		Cellulose fiber reinforced concrete (A)	Plain concrete (B)	Rate of decrease (A÷B)
Slump (cm)	1m mediately	8,5	10,2	83,3 %
	30 minutes after	8,0	9,5	84,2 %
Air content (%)	1m mediately	4,6	4,8	95,8 %
	30 minutes after	3,9	4,0	97,5 %

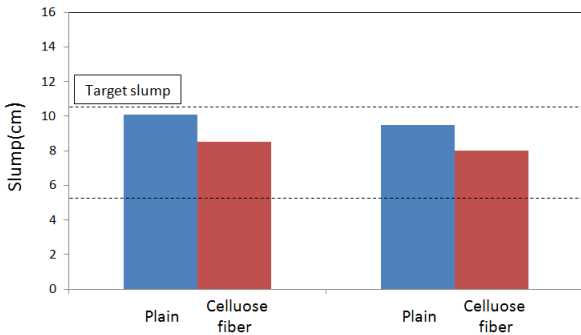


Fig. 1 Slump test results of plain concrete and cellulose fiber reinforced concrete

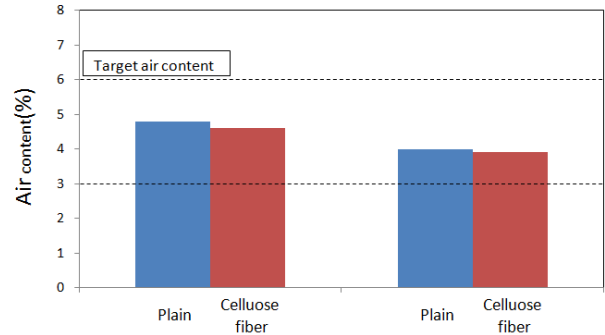


Fig. 2 Air content test results of plain concrete and cellulose fiber reinforced concrete

럼프 및 공기량의 시험결과를 정리하면 Table 8과 같다. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 워커빌리티를 파악하기 위하여 슬럼프의 경시변화 시험결과, 슬럼프는 8.0~8.5 cm의 범위로 나타났으며, 보통강도 콘크리트의 슬럼프는 9.5~10.2 cm의 범위로 나타났다. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 슬럼프 값은 셀룰로오스 섬유를 첨가하였을 때 섬유 자체의 수분을 흡수하기 때문에 수분감소로 콘크리트의 점성이 증가하여 슬럼프 값은 다소 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 셀룰로오스 섬유가 직경이 아주 작고 시멘트와 친수성으로 인하여 시멘트 매트릭스와의 초기 부착능력이 뛰어나 콘크리트 내에서 잘 분산되게 하고, 단위면적당 차지하는 섬유수가 많아 콘크리트의 슬럼프 로스가 발생하여 유동성 저하에 의한 것으로 판단된다. 셀룰로오스 섬유의 첨가로 인하여 슬럼프는 다소 감소하였는데, 슬럼프 저하에 유의한 수준을 보이지는 않았다. 콘크리트의 타설 직후 및 30분 경과 후 슬럼프 값이 모두 허용관리 범위 내에 있었다. 한편, 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 공기량 경시변화 시험결과, 공기량은 3.9~4.6 %의 범위로 나타났으며, 보통강도 콘크리트의 공기량은 4.0~4.8 %의 범위로 나타났다. 공기량은 셀룰로오스 섬유의 사용유무에 따라 그리 크지 않았으며, 슬럼프 저하에 따른 연행공기의 발생감소로 약간 적게 나타나는 경향을 보여주었다. 이와 같은 결과는 시멘트 매트릭스와 섬유사이의 부착능력 우수와 혼화제인 고로슬래그 미분말사용에 따른 AE제를

흡착하기 때문에 의한 것이라 판단된다. 공기량은 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 경우 보통강도 콘크리트 보다는 약간 감소하거나 유사하게 나타났으며, 그 감소율은 미미하였다. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 공기량 값이 허용관리 범위 내에 있어 모두 만족하는 것으로 나타났다. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험결과는 Fig. 1~Fig. 2에 나타낸바와 같다.

나. 굳은 콘크리트의 특성

재령경과에 따른 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 압축강도 및 쪼갬인장강도 현장 시험결과를 정리하면 Table 9와 같다. 본 시험결과로부터 셀룰로오스 섬유의 압축강도는 12.7~29.8 MPa의 범위로 나타났다. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 경우 압축강도는 초기 재령 3일에서는 보통강도 콘크리트에 비해 약 16.8 %의 정도 상승하는 경향을 보였으나, 재령 28일에서는 압축강도가 크게 증가하였으며, 보통강도 콘크리트에 비해 미소하게 증가하여 큰 차이를 보이지 않았다. 이와 반대로 셀룰로오스 섬유를 첨가한 재령 56일에서 콘크리트의 압축강도가 오히려 떨어져 강도 증가효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 하지만 셀룰로오스 섬유의 사용은 콘크리트의 조기강도발현에 매우 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. 각 재령별 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 압축강도 시험결과는 Fig. 0

Table 9 Test results of splitting tensile strength and compressive strength

Type of concrete	Compressive strength (MPa)				Splitting tensile strength (MPa)	
	3 days	7 days	28 days	56 days	7 days	28 days
Cellulose fiber (A)	12,5	17,3	27,8	29,8	1,8	3,2
Plain (B)	10,7	15,4	27,0	30,9	1,7	3,0
Rate of increase (A÷B)	116,8%	112,3%	102,9%	96,4%	105,9%	106,7%

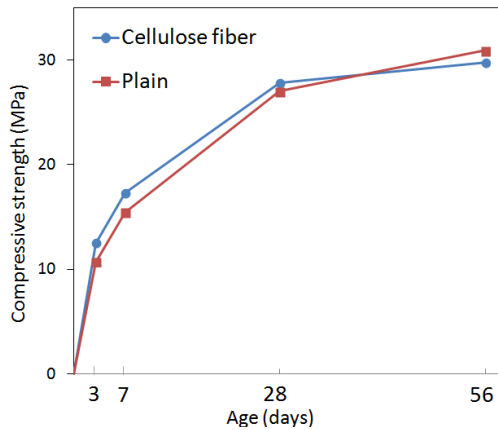


Fig. 3 Relationship between compressive strength of plain concrete and cellulose fiber reinforced concrete

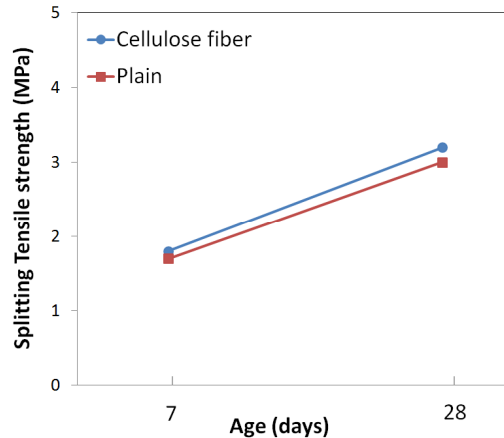


Fig. 4 Relationship between splitting tensile strength of plain concrete and cellulose fiber reinforced concrete

에 나타낸바와 같다. 한편, 재령 7일 및 28일에서의 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 쪼갬인장강도는 1.8~3.2 MPa의 범위로 나타났다. 또한 셀룰로오스 섬유를 첨가한 콘크리트의 쪼갬인장강도는 보통강도 콘크리트의 경우와 비교하여 약 5.9~6.7% 정도로 약간 크게 나타났다. 콘크리트의 인장강도와 균열에 대한 저항성 확보를 위해 사용한 셀룰로오스 섬유의 첨가는 콘크리트의 압축강도 보다는 쪼갬인장강도의 성능을 향상시켜 준다는 기존의 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 또한 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 쪼갬인장강도가 보통강도 콘크리트에 비해 약간의 강도증가로 셀룰로오스 섬유보강으로 인한 콘크리트의 물리적 성질이 다소 개선됨을 확인할 수 있었다. 재령 7일 및 28일에서의 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 쪼갬인장강도 시험결과는 Fig. 3~Fig. 4에 나타낸바와 같다.

다. 마감성 (Finish-ability)의 특성

대부분 셀룰로오스 섬유를 첨가한 섬유보강 콘크리트의 단점은 작업성의 감소 및 콘크리트 표면에 노출되는 섬유로 인한 마감성 (Finish-ability) 이다. 섬유가 사용될 때 현실적으로 가장 중요한 결점은 섬유의 뭉침 (Fiber ball)현상으로 인한 마무리 및 콘크리트 외관에 손상을 준다. 셀룰로오스 섬유보강 콘

크리트는 시멘트 입자에 비하여 상대적으로 작은 입자를 가지고 있어 밀실한 다짐으로 콘크리트의 마감성에 큰 영향을 주지는 않았다. 또한 콘크리트의 현장 타설 즉시 전형적인 진동기가 다짐에 사용되기 때문에 작업성은 더욱 양호하였다. 본 지구는 셀룰로오스 섬유를 첨가한 레미콘 공장에서 생산된 콘크리트가 타설 직후 경화 초기 소성수축균열은 거의 일어나지 않았으며, 재령경과에 따른 건조수축균열은 발견하지 못하였다. 이와 같은 결과는 셀룰로오스 첨가는 섬유특성상 보습성이 높아 수분의 급속한 증발제어로 초기 소성수축 균열억제와 안정에 매우 효과적이라는 것을 보여 주었다. 섬유의 뭉침현상 (Fiber ball)이 거의 없었기 때문에 마무리된 콘크리트의 표면은 육안으로 섬유가 보이지 않는 미적으로 만족함을 보여 주고 있었다. 기존에 사용하던 와이어 메쉬 방식과 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 마감 후 표면사진은 Photo 2와 같다.

2. 현장 적용사례

가. 사업개요

2014년도 기계화경작로 확·포장사업 기본조사가 시행된 본 지구는 전북 김제시 월봉동 지내에 위치하여 실트질점토 지반으로 토질은 연약하고 2006년도에 대구회 경지정리사업 시행 후 경작로에 다량의 자갈이 부설된 상태이다. 따라서 기



(a) Used welded wire mesh



(b) Used cellulose reinforced fiber

Photo 2 Comparison of concrete surface state

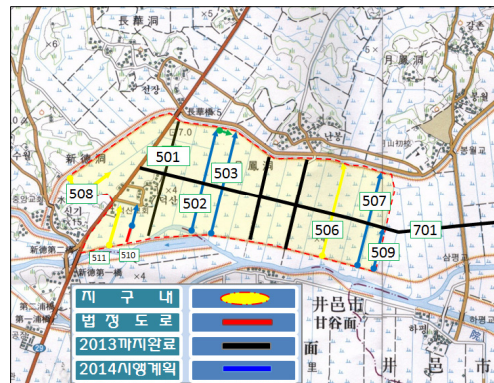
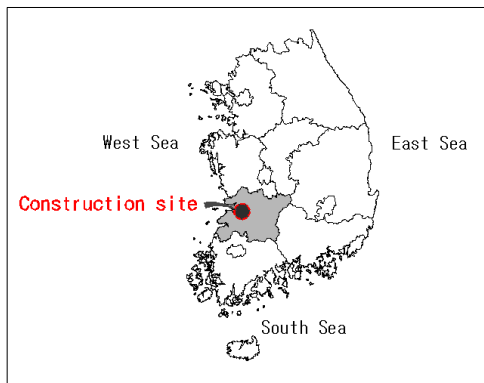


Fig. 5 Location of mechanized form roads pavement construction

Table 10 Outline of main construction works

Division	Contents
Ordered agency	Dongjin district office, Korea rural community corporation
Total length and width	Length 2,313 m × width 3.0 m
Slab thickness or subbase	20 cm, 20 cm
Construction period	May, 2014 ~ Nov, 2014
Cast-in-place concrete amount	1,521 m <sup>3</sup>
Cellulose fiber content	1,521 bag (1.2 kg/bag)

계화경작로 확·포장사업 여건은 대체적으로 양호한 편이며 기계화를 위한 영농조건 개선 등 사업효과가 크게 기대되는 지구이다. 본 지구의 사업위치는 Fig. 5에 나타낸바와 같으며, 사업개요는 Table 10과 같다.

나. 재료 및 품질기준

1) 셀룰로오스 섬유

셀룰로오스 섬유는 재생 셀룰로오스를 사용해서는 아니되며, 본 지구에 사용한 셀룰로오스 섬유는 목재를 기계적, 화

학적 처리 즉 펄핑(Pulping) 및 건식으로 분쇄 또는 해면된 것으로 날개의 단섬유를 압축하여 과립화(Granule)화한 가공 생산 제품이다.

2) 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트

본 지구의 기계화경작로 확·포장공사에 사용된 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트는 전북 김제시 A사의 레미콘 공장에서 생산된 콘크리트에 셀룰로오스 섬유를 추가 투입하여 사용하였다. 셀룰로오스 섬유보강재는 배합설계 시 사용량을 고려

Table 11 Quality criteria of cellulose fiber granule

Items	Criteria	Remarks
Moisture content	More than 12 %	KS L 2317
Apparent specific gravity	Less than 0,1	KS M ISO 287

하지 않았으며, 콘크리트 1 m<sup>3</sup> 당 셀룰로오스 사용량은 V<sub>f</sub>=0.08 % (1.2 kg/m<sup>3</sup>)에 해당된다.

### 3) 셀룰로오스 섬유유의 품질기준

셀룰로오스 섬유유는 건조해면된 것으로 날개의 섬유 그대로 사용할 경우 분진발생 및 섬유가 날리는 등 작업조건이 매우 열악하게 되므로 정량 오차가 발생할 수 있고, 겉보기 비중이 매우 낮아 배합과정에서 몽침현상으로 인하여 불 균질한 혼합이 될 수 있으므로 날개의 단섬유를 과립화한 제품을 사용하여야 한다. 본 연구에 사용한 셀룰로오스 섬유유의 품질기준은 Table 11과 같다.

### 다. 주요공정 시공장면

셀룰로오스 섬유유의 혼합된 상태는 콘크리트 전체에 골고루 균일하게 분포되었다. 셀룰로오스 섬유유의 투입은 레미콘 공장의 배척플랜트 골재 투입구에서 현장 인력에 의해 직접 첨가해야 하는 번거로움이 있었으나, 레미콘 공장 제조시에 통상의 혼합시간 보다 약간 믹싱시간을 증대시키면 더욱 효과가 있을 것을 판단된다. 이렇게 혼합된 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트는 에지테이트 트럭으로 약 10~15 km 떨어진 현장까지 운반되어 즉시 타설되었다. 셀룰로오스 섬유표면이 수산기로서 시멘트 풀과 높은 부착강도를 가지고 있어 약간의 슬럼프의 저하현상이 나타났으며, 현장에서 육안으로 판단하여 물을 추가하는 일은 절대로 없어야 한다. 본 A지구의 기계화경작로 확·포장공사에서 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트를 사용한 주요공정의 현장 전경사진은 Photo 3과 같다.

### 라. 기존의 방식 (와이어 메쉬)과의 경제성 검토

셀룰로오스 섬유보강 콘크리트와 기존의 방식(와이어 메쉬)의 경제성 검토는 와이어 메쉬의 경우 1 m<sup>3</sup>당 콘크리트 타설 작업에 투입되는 인원, 와이어 메쉬 자재가격, 콘크리트 단가를 합한 가격과 셀룰로오스 섬유유의 경우 1 m<sup>3</sup>당 콘크리트 타설 작업에 투입되는 인원, 셀룰로오스 섬유 자재가격, 콘크리트 단가를 합한 결과이다. 재료비는 전문가격 조사자인 조달청 가격정보의 2014년 2월호에서 현장 도착도 가격으로 와이어 메쉬 (150×150 #6)는 2,770 원/m<sup>2</sup> 이었으며, 셀룰로오스 섬유사용은 콘크리트 1 m<sup>3</sup> 당 1.2 kg, 즉 8,360 원/m<sup>3</sup>으로 재료비가 매우 저렴하였다. 한편, 셀룰로오스 섬유 투입의

공중발생으로 추가인력이 필요하였다. 본 연구는 기존에 사용하던 와이어 메쉬와 셀룰로오스 섬유의 경우 시공에 필요한 자재비와 노무비를 산정결과 Table 12와 같다. 그 결과 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트가 기존의 방식(와이어 메쉬)보다 자재비가 39.6 % 절감되었고, 섬유의 투입 추가공중 발생으로 노무비는 7.1 % 증가되었다. 이를 합친 총 초기 건설비는 기존의 방식(와이어 메쉬)을 적용하는 경우에 비해 약 25.7 %의 원가절감 효과가 있음을 알 수 있었다. 하지만 셀룰로오스 섬유의 투입은 레미콘 공장 배척 플랜트의 골재 투입구에서 인력에 의해 직접 첨가해야 하는바, 자동화계량 투입장치를 설치하면 더욱 원가절감이 가능하다고 판단된다.

### 마. 현장적용 결과

기계화경작로 확·포장공사에 적용되는 균열저감 방안으로 기존에 많이 사용하던 와이어 메쉬를 시공하였으나, 와이어 메쉬의 매설시 적정위치 설치 및 작업 인부들의 인식부족, 작업여건 등에 의해 콘크리트를 타설할 때 표면노출 및 피복두께 유지곤란 등 현장에서 많은 애로점을 갖고 있었다. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트는 섬유 특성상 보습성이 높아 수분의 급속한 증발을 억제하여 콘크리트의 초기 소성수축균열과 건조수축 균열억제에 효과적이었다. 본 현장에서는 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 현장타설 직후부터 경화 초기에 발생하는 소성수축균열과 양생과정에서 콘크리트 포장 슬래브 표면의 건조수축균열을 발견하지 못하였다. 따라서 본 연구결과로부터 콘크리트에 셀룰로오스 보강섬유를 적용할 경우 시공성 및 내구성, 경제성 측면에서 기존에 사용하던 와이어 메쉬 보다 우수한 것으로 사료된다. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트가 기존에 사용하였던 와이어 메쉬 보다 균열저감을 통한 균열보수비용 등 원가절감에 효과적인 방안이 될 것으로 판단된다. 아울러, 기계화경작로 확·포장공사의 효율적인 사업추진을 위하여 무근 콘크리트 균열방지는 물론 콘크리트의 섬유보강재로 유용하게 사용할 수 있을 것이라고 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 콘크리트의 보강재료인 셀룰로오스 섬유를 사용하였을 때 굳지 않은 콘크리트의 특성과 굳은 콘크리트의 특성을





(a) Views of ready-mixed concrete plant



(b) Scene of cellulose fiber added



(c) Cast-in-place concrete



(d) Finishing work



(e) 3 curing hours after



(f) 3 curing days after



(g) 28 curing days after

Photo 3 Construction landscape of cellulose fiber reinforced concrete

Table 12 Comparison results of construction cost

Division	Used welded wire mesh				Used cellulose reinforced fiber			
	Unit	Qty	Unit price (Won)	Cost (Won)	Unit	Qty	Unit price (Won)	Cost (Won)
1. Labors cost								
-Laying worker	Person	0,6	112,897	67,738	Person	0,6	112,897	67,738
-Normal worker	Person	0,6	84,166	50,499	Person	0,7	84,166	58,916
Sub-cost				118,237				126,654
2. Materials cost								
-Wire mesh (150×150 #6)	m <sup>2</sup>	100	2,770	277,000				
-Cellulose fiber (1,2kg/bag)					Bag	20	8,360	167,200
Sub-cost				277,000				167,200
3. Total cost			395,237 Won (100 %)				293,854 Won (74.3 %)	

※ Concrete laying 100m<sup>2</sup> or cast-in-place concrete 20m<sup>3</sup> (Slab thickness 20cm)

현장시험을 통하여 보통강도 콘크리트와 비교분석하였으며, 본 연구의 적용사례를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 굳지 않은 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 시험결과, 슬럼프는 8.0~8.5 cm와 공기량은 3.9~4.6 %의 범위로 나타났다. 슬럼프 값은 셀룰로오스 섬유의 흡착성 때문에 콘크리트의 점성이 증가하여 다소 감소하는 것으로 나타났다. 또한 공기량 값은 셀룰로오스 섬유의 첨가도 인하여 그리 크지 않았으나, 연행공기의 발생감소로 약간 적게 나타나는 경향을 보여주었다. 그 감소율은 미미하였다. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 목표 슬럼프 및 목표 공기량은 모두 허용관리 범위 내를 만족하였다.
2. 각 재령별 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 압축강도는 12.70~29.8 MPa의 범위로 나타났다. 초기 재령에서는 보통강도 콘크리트 보다 다소 증가하는 경향을 보였으며, 재령 28일에서는 보통강도 콘크리트에 비해 미소하게 증가하였으나, 재령 56일에서는 약간 떨어지는 경향을 보였다. 셀룰로오스 섬유의 사용은 콘크리트의 조기강도 발현에 매우 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.
3. 재령 7일 및 28일에서의 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 쪼갬인장강도는 1.8~3.2 MPa의 범위로 나타났다. 또한 셀룰로오스 섬유를 첨가한 콘크리트의 쪼갬인장강도는 보통강도 콘크리트의 경우와 비교하여 약 5.9~6.7 % 정도의 강도증진 효과가 있었다.
4. 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 상태는 점성이 다소 높고 보습성이 있어 수분의 급속한 증발 억제로 초기 소성수축 균열에 효과적이었다. 또한 마무리된 콘크리트의 표면은 육안으로 섬유가 보이지 않는 미적으로 만족함을 보여 주고 있었다.
5. 경제성 검토 결과, 농어촌 농로의 기계화경작로 확·포장공사에서 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트가 기존에 사용하던 와이어 메쉬를 적용하는 경우에 비해 약 25.7 %의 정도 원가절감 할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 다루지 못한 셀룰로오스 섬유보강 콘크리트의 휨강도 특성 및 동결융해 시험 등에 대하여는 현장시험을 포함하여 추가적인 연구를 통하여 심도 있는 검토와 시험을 진행할 계획입니다.

## REFERENCES

1. ACI Committe 544, 1986. State-of-the-art report on fiber reinforced concrete. *American Concrete Institute*.
2. Choi, S. Y., Y. H. Park, W. T. Jung, and J. S. Park, 2012. Mechanical properties of concrete pavement by low fraction of macro fiber. *International Journal of Highway Engineering* 14(6): 1-11 (in Korean).
3. Han, C. G., J. S. Park, W. T. Jung, and K. N. Jeon, 2010. Effect of fiber types on fundamental properties of pavement concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute* 22(4): 473-479 (in Korean).
4. Jung, Y. H, I. H. Choi, O. J. Kim, and D. B. Lee, 2007. A study on the practicality of fiber reinforced concrete to control plastic shrinkage crack. *The korea institute of building construction* 11(16): 15-18 (in Korean).
5. Kim, B. G, K. R. Kim, Y. J. Kwon, and C. G. Han, 2006. Synthetic fiber to control the early crack in concrete and application in construction field. *Journal of the Korea Concrete Institute* 18(1): 36-43 (in Korean).
6. Kim, N. W., 2008. Effect on the crack resistance of fiber reinforced concrete using incinerated paper mill sludge ash. *Journal of Korea Inst. Resources Recycling* 17(4): 10-20 (in Korean).
7. Lix X, M. R. Silsbee and D. M. ROY, 1997. Improvements in the durability of cellulose reinforced cementitious composites. *The Pennsylvania State University, PA. USA* : 106-113.
8. M. Grzybowski, and S. P. Shah, 1990. Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete. *ACI Materials Journal* 87(2): 138-148.
9. M. Sarigaphuti, S. P. Shah, and K. D. Vinson, 1993. Shrinkage cracking and durability characteristics of cellulose fiber reinforced concrete. *ACI Materials Journal* 90(4): 309-318.
10. Parviz Soroushian, 1997. Secondary reinforcement—adding cellulose fibers. *Concrete International June*: 28-34.
11. Parviz Soroushian, and Siavosh Ravanbakhsh, 1998. Control of plastic shrinkage cracking with specialty cellulose fibers. *ACI Materials Journal* 95(4): 429-435.
12. Parviz Soroushian, and Siavosh Ravanbakhsh, 1999. High-early-strength concrete: Mixture proportioning with processed cellulose fibers for durability. *ACI Materials Journal* 96(5): 593-599.
13. Shin, H. S, K. R. Kim, G. C. Lee, B. G. Kim, and C. G. Han, 2006. Influence of organic fiber kinds on engineering properties of concrete. *The korea institute of building construction* 05(01): 27-30 (in Korean).
14. Won, J. P, and C. G. Park. 1999. Properties of specialty cellulose fiber reinforced concrete at early ages. *Journal of the Korea concrete Institute* 11(1): 349-354 (in Korean).
15. Won, J. P, and C. G. Park. 2000. Effect of specialty cellulose fibers on improvement of flexural performance and control of cracking of concrete. *Journal of the Korea concrete Institute* 20(2): 89-98 (in Korean).