

## 고로슬래그와 환원슬래그를 기반으로 한 저에너지양생용 결합재를 사용한 압출성형패널의 최적배합

\*김하석 · 백대현 · 이세현

한국건설기술연구원 건축도시연구소

### Optimum Mix of Extrusion panel Using Low Energy Curing Admixture (LA) based on Ground Granulated Blast-Furnace Slag and Ladle Furnace Slag

\*Ha-Seog Kim, Dae-Hyun Baek and Sea-Hyun Lee

*Advanced Building Research Division Building Research Department, Korea Institute Construction Technology*

#### 요 약

건설 분야 중 건설 재료와 전자재 산업에서 발생하는 CO<sub>2</sub>는 약 6,700만톤으로 건설 분야에서 발생하는 CO<sub>2</sub>의 약 30%를 점유하고 있다. 건설 분야에서 CO<sub>2</sub> 저감은 전자재 산업에서 CO<sub>2</sub>를 발생시키는 2차, 3차 양생을 줄여 소비되는 화석연료 사용과 배출 가스 저감의 조절이 필수적이다. 따라서 본 연구는 저에너지양생용 혼합재(Low energy curing Admixture 이하 LA)를 압출성형패널에 적용한 후 그 혼입량, 섬유종류, 섬유 혼입율에 따른 물리적 특성을 관찰하였다. 섬유종류가 강도에 영향을 나타내는 주요한 인자는 아닌 것으로 나타났으며, LA 혼입율과 섬유 혼입율은 강도에 영향을 주는 주요한 인자인 것으로 나타났다. 특히 LA 혼입율 dl 40% 일 때 가장 높은 강도발현을 나타냈으며, 50% 인 시험체의 경우 강도가 하락하는 결과를 나타냈다, 또한 섬유 혼입율은 휨 강도에 크게 영향을 주었으며 혼입율이 증가할수록 휨강도는 증가하는 것으로 나타났다.

**주제어** : 이산화탄소, 증기양생, 오토클레이브양생, 고로슬래그, 섬유

#### Abstract

CO<sub>2</sub> emitted from building materials and construction materials industry reaches about 67 million tons, which occupy about 30 % of CO<sub>2</sub> emitted from the construction field. Controls on the use of consumed fossil fuels and reduction of emission gases are essential for the reduction of CO<sub>2</sub> in the construction area as we reduce the second and third curing to emit CO<sub>2</sub> in the construction materials industry. Accordingly, this study applied the low energy curing admixture (hereinafter "LA") to the extruded panels to observe the physical properties, depending on the mixing amount of fiber, type of fiber and mixing ratio of fiber. The type of fiber did not appear to be a main factor to affect strength, while the LA mixing ratio and mixing amount of fiber appeared to be major factors to affect strength. Especially, the highest strength was developed when the LA mixing ratio was 40%, whereas the test object with the mixing ratio of 50% resulted in the decrease of strength. In addition, it appeared that the mixing ratio of fiber greatly affected flexural strength and strength increased as the mixing ratio increased.

**Key words** : Carbon dioxide, Steam curing, Autoclave curing, Blast furnace slag, Fiber

· Received : December 12, 2014 · Revised : January 31, 2015 · Accepted : February 24, 2015

\*Corresponding Author : Ha Seog Kim (E-mail : bravo3po@kict.re.kr)

Advanced Building Research Division Building Research Department, Korea Institute Construction Technology, 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Gyeonggi-Do, 411-712 Korea

Tel : +82-31-910-0231 / Fax : +82-31-910-0713

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 1. 서 론

온실가스 중 가장 많은 양을 차지하고 있는 CO<sub>2</sub>는 19세기에는 290 ppm 정도에서 1958년에는 315 ppm으로 증가했으며, 2007년 384 ppm로 2000년 이래로 1년 평균 2 ppm의 성장 속도를 보이고 있다.<sup>1)</sup>

국내 CO<sub>2</sub> 발생원으로 42.3%로 높은 비중을 차지하고 있는 건설 분야 중 건설 재료와 건자재 산업에서 발생하는 CO<sub>2</sub>는 약 6,700만톤으로 건설 분야에서 발생하는 CO<sub>2</sub>의 약 30%를 점유하고 있다. 일반적으로 건자재산업에서 발생하는 CO<sub>2</sub>는 제품 성형 후 목표성능 획득, 빠른 조기 강도 발현, 생산성 향상, 용이한 작업성 획득 등의 목적으로 상온양생 후 시행되는 2차, 3차 양생을 실시하며 이때 양생을 위해 사용되는 화석연료의 연소에 의하여 다량 발생한다.

압출성형은 투입재료가 소성상태에 있을 때 금형(Die)을 통과시켜 성형하는 방식으로 각종 패널류 등의 판재 및 봉재, 기타 선형부재의 생산을 위한 방법으로서 가장 보편적인 생산기법 중 하나이다. 압출성형방식 자체가 가지고 있는 특징인 연속적인 생산방식으로 인하여 생산성이나 경제성 면에서 가장 유리한 방식으로 알려져 있으며, 습식 프리캐스트 제품에 비해 경량이며, 질량대비 강도가 높고, 치수안정성과 습기에 강한 장점을 가지고 있다. 그러나 고가의 혼화제 사용과 2, 3차 양생으로 인한 생산비 증대 등으로 인한 낮은 경제성 때문에 시장점유율이 높지 않아 경제성 향상 및 기능성을 향상시키기 위한 연구가 진행 중이다.

Kim 등(2006, 2012)<sup>2)</sup>은 석분 슬러지와 폐 콘크리트 미분말을 사용하여 압출성형패널의 경제성을 향상시켰으며, Choi 등(2013)<sup>3)</sup>은 압출성형패널에 알파형반수석 고를 혼입하여 내화성능을 향상시킨 패널을 개발하였다. 이들 연구는 모두 결합제로 Ordinary Portland cement와 재활용 재료를 혼입하여 제조단계에서 생산비 절감을 목표로 하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 연구에서는 오

토클레이브양생 배제를 위하여 결합제를 보통 포트랜드 시멘트 대신 속경성 결합제를 이용하여 해결하고자 하였다. 속경성 결합제는 콘크리트 타설 후 시간경과에 따라 유동성을 잃어버리고 굳어지는 경화 현상의 속도가 상대적으로 빠른 성질을 가지고 있다. 즉 시멘트의 활성도를 높이는 것으로 분말도를 높여 시멘트 입자들의 표면적을 크게 하여 물을 가했을 때 수화반응을 더욱 활발하게 이뤄지게 하고 그 속도도 빨라지게 하는 방법 뿐만 아니라 결합제에 첨가되는 성분을 변화 시켜 속도를 증진시키기도 한다.<sup>4-6)</sup>

이에 고로슬래그, Calcium Sulfate Aluminate, 환원슬래그, 하소카울린, 석회망초, 규불화염을 기반으로 하소카울린, 석회망초, 규불화염 첨가량은 동일하게 고정하고 고로슬래그, Calcium Sulfate Aluminate, 환원슬래그 첨가량을 대체하여 시멘트 결합재만을 사용하여 3차 오토클레이브 양생까지 실시한 실험체와 강도 및 특성을 비교, 분석한 결과 최적 조성비를 도출하였으며 이 개발 결합제를 시멘트 압출패널에 적용하여 오토클레이브 양생 배제 가능성을 확인하였다.<sup>7-8)</sup>

따라서 본 연구는 국내온실가스 감축정책에 맞춘 국내 CO<sub>2</sub> 배출량 중 높은 비중을 차지하는 건설 분야 CO<sub>2</sub> 감축의 일환으로 건자재 산업에서 압출성형 패널 제조시 CO<sub>2</sub>를 발생시키는 2차, 3차 양생을 줄여 소비되는 화석연료 사용의 억제 및 탄소저감을 목적으로 저에너지양생용 결합제(LA)를 적용한 압출성형패널의 최적배합을 검토하였다.

### 2. 실험 계획 및 방법

#### 2.1. 실험계획

본 연구에서는 선행연구 결과물인 저에너지양생용 혼합제(Low energy curing Admixture 이하 LA이라 칭함)를 압출성형패널에 적용하여 최적배합을 도출하고자 Table 1과 같은 실험을 계획하였다. 압출성형패널은 휨 강도 증대, 균열억제 등을 목적으로 섬유를 사용하지만

Table 1. Experimental plan

Factors	Levels			Test items
				Hardened state
Replacement ratio of LA (%)	30	40	50	- Compressive strength - Flexural strength - Absorption ratio - Density - Moisture content ratio
Type of fiber	PP	PE	Nylon	
Replacement ratio of fiber (%)	0.0	0.4	0.8	

고온, 고압의 오토클레이브 양생공정으로 인해 양생 중 연소되지 않는 내열성이 높은 PP(polypropylene)와 같은 섬유만을 선택적으로 사용하여야 하며 이는 고가의 재료로서 생산단가를 상승시키는 문제점을 가지고 있다. 따라서 본 실험에서는 LA를 이용하여 오토클레이브 양생공정을 배제하였기 때문에 상대적으로 저가이며 휨강도 증진, 균열억제를 위해 PE(polyethylene)와 Nylon 섬유의 적용가능성을 검토하였다. Table 1은 실험계획으로 실험인자로는 LA 대체율, 섬유종류, 섬유혼입율로 설정하였으며 Table 2에 실험배합을 나타내었다.

**Table 2.** Experimental mix

ID	Type of fiber	Replacement ratio of LA (%)	Replacement ratio of Fiber (%)
1	PP	30	0.0
2			0.4
3			0.8
4		40	0.0
5			0.4
6			0.8
7		50	0.0
8			0.4
9			0.8
10	PE	30	0.0
11			0.4
12			0.8
13		40	0.0
14			0.4
15			0.8
16		50	0.0
17			0.4
18			0.8
19	Nylon	30	0.0
20			0.4
21			0.8
22		40	0.0
23			0.4
24			0.8
25		50	0.0
26			0.4
27			0.8

**2.2. 실험방법**

압출 시험체는 일본 I사 SY-05S모델의 압출기를 이용하여 300 × 1,000 × 35 mm크기의 패널형태로 제작하였으며 실험방법은 Fig. 1과 같다. 압출된 시험체의 휨강도 및 압축강도는 시험체를 120 mm길이를 절단하여 KS L ISO 679에 준하여 만능재료시험기를 이용하여 상압증기양생 후 측정하였으며, KS F 4735에 준하여 패널의 밀도, 흡수율, 함수율을 측정하였다.

**2.3. 양생방법**

압출에 의해 성형이 된 시험체의 양생은 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 상온양생, 상압증기양생까지 실시하였고, 비교 대상이 되는 시멘트만을 사용한 Base의 경우 고압증기양생인 오토클레이브양생을 실시하였다. 상온양생은 온도 20 ± 1°C, RH 60 ± 5% 조건의 항온 항습실에서 수행하였다. 상압증기양생은 80°C, 상대습도 100%의 조건에서 4시간 상승 5시간 유지 후 자연 냉각하는 방법을 사용하였다. 고압증기양생은 상압 증기양생한 시험체를 대상으로 온도 180°C, 10 hPa, 상대습도 100%의 조건으로 4시간 상승, 5시간 유지 후 자연 냉각하는 방법을 사용하였다.

**2.4. 사용재료**

시멘트는 국내 A사에서 시판되는 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고 고로슬래그는 선철공정 중 부산물로 생성되는 3종 고로슬래그이며, U사 제품으로 비표면적 (blaine)은 7,400 cm<sup>2</sup>/g이며, CSA는 국내 H사의 비표면적 (blaine)은 4,500 cm<sup>2</sup>/g으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 36.5% 함량된 것을 사용하였다.

하소카올린은 메타카올린 제조 공정 중 카올리나이트가 하소된 것으로 메타카올린에 비하여 반응성이 떨어지지만 저가인 국내 B사의 비표면적 (blaine) 4,200 cm<sup>2</sup>/g을 갖는 제품을 사용하였다.

CAC는 아토마이징 처리한 환원슬래그를 비표면적 (blaine) 5,000 cm<sup>2</sup>/g 상태로 분쇄한 것으로 CA계 초속경 화학조성과 유사한 조성을 가지고 있으며 높은 수화열과 급결의 특성을 가지고 있다. 또한 슬래그와 하소카올린의 포졸란 반응에 기여하고자 석회망초와 규불화염을 사용하였다. 이 두 재료는 시멘트 매트릭스 내에서 가수분해에 의한 가용성 실리카로 전이되어 시멘트 수화반응에 의해 생성된 수산화칼슘과 반응하는 포졸란 반응을 촉진하여 균열억제, 수화열 상승억제, 중성화, 동결융해저항성 등의 내구성 향상에 도움이 되는 것으로

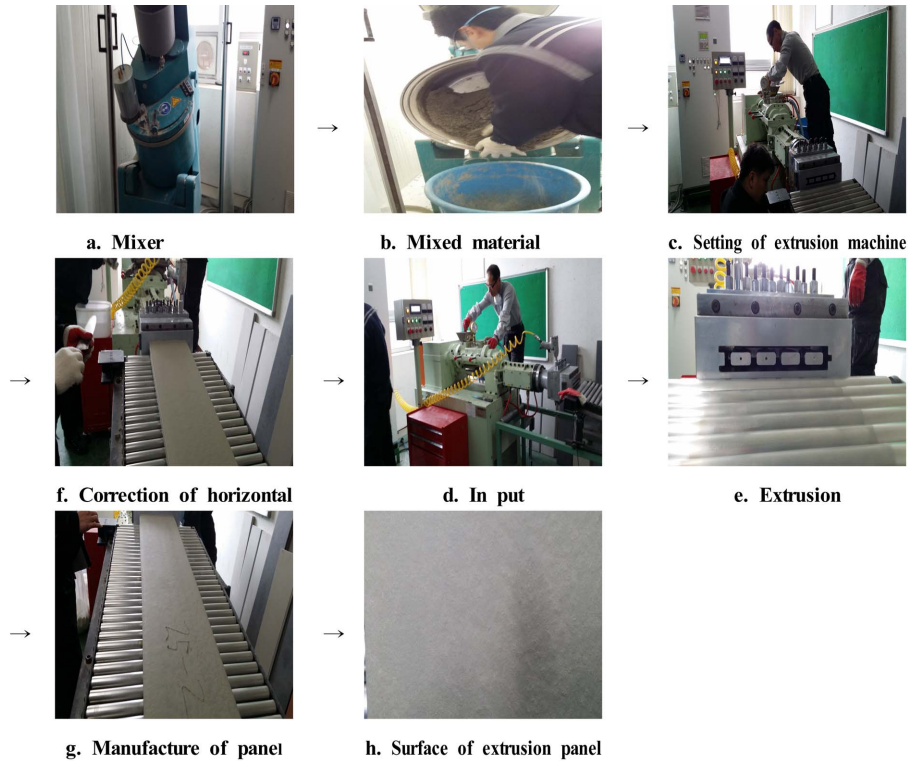


Fig. 1. Experimental method.

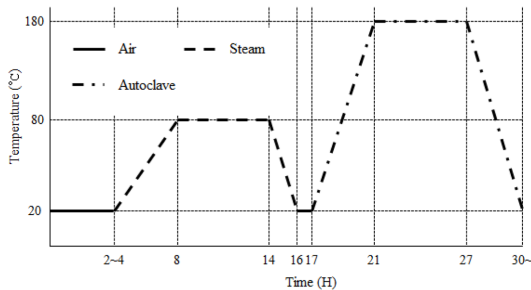


Fig. 2. Curing process.

알려져 있다.<sup>9)</sup> 각 재료의 특성은 Table 3 ~ Table 8과 같다.

또한 압출성형시 점도조절 및 윤활특성 개선을 위해 사용된 증점제는 국내 S사 제품으로 점도는 40,000 cps, 밀도 1.26 g/cm<sup>3</sup>의 제품을 사용하였다. 그 외 압출 시 인장강도 증진을 위해 섬유계 재료로 무기질계인 규회석(Wollastonite)과 유기질계 Pulp를 사용하였으며, 섬유는 인조섬유인 PP (Polypropylene)와 PE (polyethylene), Nylon을 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Table 9는 결합제별 압출성형 후 실험결과를 나타낸 것으로 섬유 종류와 섬유 혼입율, 결합제 대체율에 따라 물리적 특성이 변화하는 것으로 나타났다. 특히 섬유는 PP섬유가 가장 높은 강도성상을 나타내며 PE의 경우도 유사한 강도 성상을 나타내고 있다. 섬유 혼입량이 증가할수록 강도에 유리한 것으로 나타나고 있으며 결합제 대체율은 40% 까지 강도 증진을 나타내고 있지만 50% 대체 시 강도가 저하하는 경향이 나타났다.

#### 3.1. 함수율

각 섬유종류, 섬유혼입율, LA 혼입율에 따른 함수율은 Fig. 3과 같이 모든 실험군에서 기준에 적합한 것으로 나타났다. 섬유 종류와 섬유 혼입량, LA 혼입율에 따른 함수율의 상관관계는 나타나지 않았으며 대체적으로 섬유가 혼입되지 않은 실험체에서 함수율이 비교적 높은 값을 나타내고 있다. 이는 기존문헌에서 보고된바와 같이 섬유가 패널 매트릭스내에 분산되어 미세공극을 채움으로서 수분의 이동통로를 감소시켜 함수율을

**Table 3.** Physical and chemical properties of OPC

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Setting time		Chemical component (%)								LSF
		Initial (min)	Final (min)	LOI	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	
3.15	3,240	290	380	0.35	21.88	5.02	3.66	64.18	2.01	1.83	0.92	90.4

OPC : Ordinary Portland cement

**Table 4.** Physical properties of fine aggregate

F.M.	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption ratio (%)	Percentage of solid volume (%)
	Dry		
1.82	2.51	1.32	44.6

**Table 5.** Physical and chemical properties of blast furnace slag

Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical component (%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
7,400	33.4	15.8	0.6	41.8	5.3	0.3	1.5	0.3

**Table 6.** Physical and chemical properties of CSA

Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical component (%)								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig-loss
4,500	4.14	36.5	0.4	38.17	3.00	6.14	0.11	11.02	0.52

CSA : Calcium Sulfate Aluminate

**Table 7.** Physical and chemical properties of CK

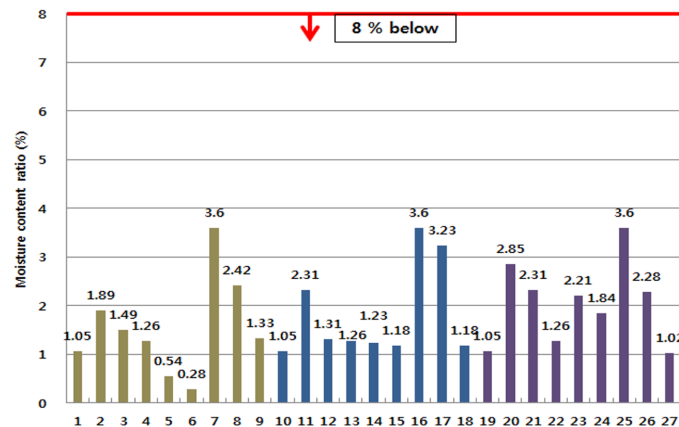
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical component (%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
4,200	52.1	41.0	4.32	0.07	0.19	-	0.31	0.58

CK : Calcined Kaolin

**Table 8.** Physical and chemical properties of CAC

Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Chemical component (%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
5,000	7.0	21.0	0.5	50.0	4.43	3.03	0	0

CAC : Calcium Aluminate Composite



**Fig. 3.** Variation of moisture content ratio.

Table 9. Test results

ID	Type of fiber	Replacement ratio of LA (%)	Replacement ratio of fiber (%)	Moisture content ratio (%)	Absorption ratio (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Compressive strength (N/mm <sup>2</sup> )	Flexural strength (N/mm <sup>2</sup> )
1	PP	30	0.0	1.05	16.32	1.78	35.72	10.16
2			0.4	1.89	15.95	1.76	39.68	13.24
3			0.8	1.49	15.16	1.74	40.04	14.18
4		40	0.0	1.26	16.42	1.73	35.72	13.63
5			0.4	0.54	16.23	1.71	44.73	17.26
6			0.8	0.28	15.26	1.67	46.54	17.44
7		50	0.0	3.6	16.17	1.62	35.78	13.4
8			0.4	2.42	15.66	1.59	41.49	15.87
9			0.8	1.33	15.32	1.58	45.09	16.64
10	PE	30	0.0	1.05	16.61	1.78	35.72	10.16
11			0.4	2.31	16.32	1.78	45.09	12.95
12			0.8	1.31	16.19	1.77	46.35	13.85
13		40	0.0	1.26	16.42	1.73	35.72	13.63
14			0.4	1.23	15.65	1.67	46.37	16.19
15			0.8	1.18	15.62	1.66	53.03	17.09
16		50	0.0	3.6	16.97	1.64	35.78	13.4
17			0.4	3.23	16.17	1.58	42.8	15.39
18			0.8	1.18	15.71	1.38	46.9	16.09
19	Nylon	30	0.0	1.05	16.61	1.78	35.72	10.16
20			0.4	2.85	15.32	1.77	42.25	11.03
21			0.8	2.31	15.19	1.73	45.12	12.48
22		40	0.0	1.26	16.42	1.67	35.72	13.63
23			0.4	2.21	15.44	1.65	43.74	15.65
24			0.8	1.84	15.63	1.63	49.88	16.45
25		50	0.0	3.6	16.97	1.62	35.78	13.4
26			0.4	2.28	16.22	1.58	40.11	14.66
27			0.8	1.02	16.71	1.35	43.32	15.41

저하시키는 것으로 판단된다.<sup>10)</sup> 일반적으로 압출성형 패널의 경우 흡수율이 높을 경우 건조수축 등에 의한 뒤틀림, 균열 등이 유발되어 강도저하의 원인이 되는 것으로 알려져 있다. 따라서 낮은 흡수율은 물리적 성능과 내구성 측면에서 유리할 것으로 판단되어진다.

### 3.2. 흡수율

Fig. 4는 섬유종류, 섬유혼입율, LA 혼입율에 따른

흡수율을 나타낸 것으로 모든 실험군에 있어 적합한 것으로 나타났으며 특히 섬유 혼입율이 높을 경우 가장 낮은 흡수율 값을 나타내었다. 이는 흡수율과 유사한 결과로 외장용 압출성형 패널의 경우 외기에 노출되어 있기 때문에 흡수율이 높을 경우 우기에 많은 양의 수분을 흡수하여 하중증가, 균열, 변색 등 안정성과 미관에 있어 불리한 것으로 알려져 있다. 따라서 외기에 노출되는 외장용 패널의 경우 낮은 흡수율이 요구되어진다.

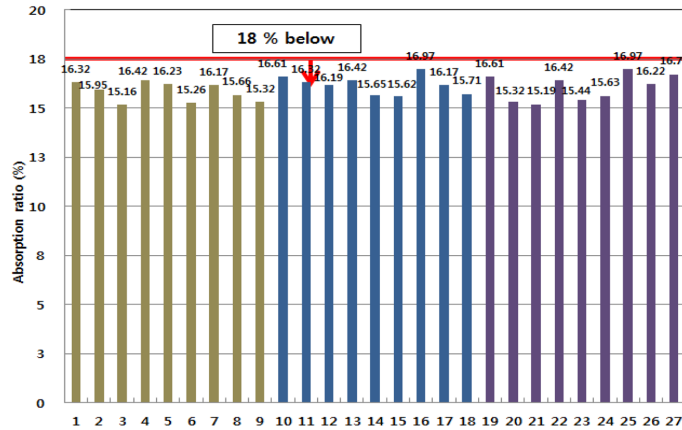


Fig. 4. Variation of absorption ratio.

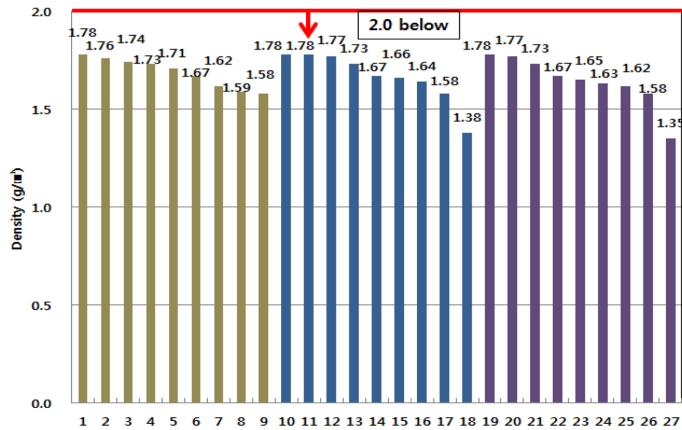


Fig. 5. Variation of density.

### 3.3. 밀도

섬유종류, 섬유혼입율, 결합재 치환율에 따른 밀도는 Fig. 5와 같이 함수율, 흡수율과 동일하게 모든 실험군에서 기준에 적합한 것으로 나타났다.

밀도변화는 섬유종류에 영향을 받지 않고 결합재 치환율과 섬유혼입율에 따라 변화하는 것으로 나타났다. 특히 섬유 혼입율이 증가하고, 결합재 치환율이 증가 할수록 밀도는 하락하는 것으로 나타났다. 이는 실험에 사용한 섬유의 경우 비중 0.2~0.4의 상당히 가벼운 물질로 이루어져 있으며, 결합재 또한 압출성형패널의 기본 결합재인 시멘트의 비중 3.1과 비교할 시 2.5~2.6의 낮은 비중값을 가지고 있어 혼입율이 증가할수록 매트릭스의 밀도는 하락한 것으로 판단된다. 따라서 섬유혼입율이 높고 결합재 치환율이 큰 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 시험체가 가장 낮은 밀도값을 나타내는 것

으로 나타났다. 밀도가 높은 경우 단위하중 증가로 인한 시공이 어려운 단점이 있어 비교적 밀도가 낮은 시험체를 시공면에 적용할 경우 유리할 것으로 판단되어진다.

### 3.4. 강도특성

Fig. 6은 압축강도를 나타내 것으로 섬유종류에서는 PP와 PE의 경우 유사한 강도성상을 나타내고 있으며 Nylon의 경우 비교적 낮은 압축강도 값을 나타냈지만 섬유종류가 강도발현에 크게 영향을 미치지 않았다. 섬유혼입율에 있어 혼입하지 않았을 경우가 가장 낮은 강도값을 나타냈으며 혼입율이 0.4%에서 0.8%로 증가할수록 강도는 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 기존 섬유보강 콘크리트의 일반 배합 범위에서의 실험 결과들과 일치하는 것으로 본 압출성형패널에서도 유사

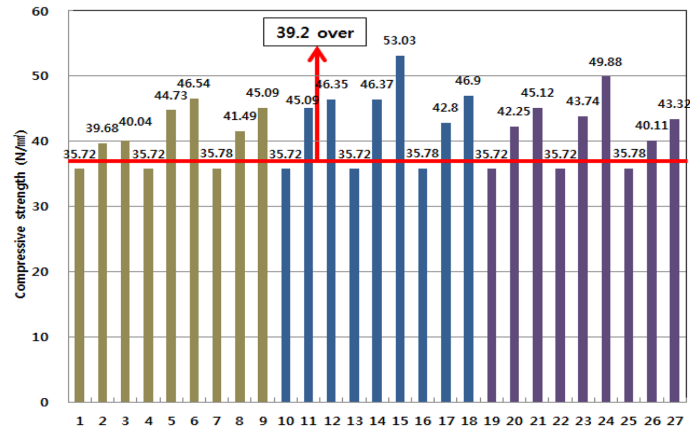


Fig. 6. Variation of compressive strength.

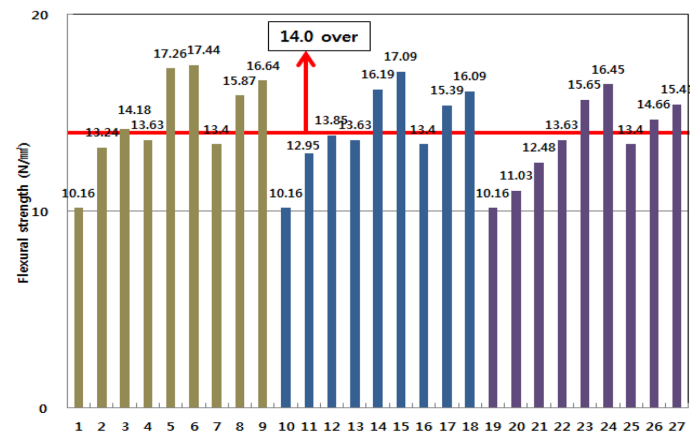


Fig. 7. Variation of flexural strength.

한 경향을 나타내고 있다.<sup>11-13)</sup> LA 혼입율에 따른 강도 특성을 살펴보면 혼입율 40%일 때 가장 높은 강도 성상을 보이지만 혼입율 50%일 경우 30% 보단 강도발현이 좋았지만 40% 혼입시보다 저하되는 것으로 나타났다. 일반적으로 고로슬래그는 잠재수경성 재료로서 초기 수화에 기여하지 못하고 알칼리와 같은 자극제에 의해 반응하는 물질로 알려져 있다. 따라서 일반 상온양생보다 증기양생을 실시할 경우 매트릭스내 시멘트의 수화촉진으로 인해 다량의 수산화칼슘이 생성이 되고 이 생성된 수산화칼슘이 고로슬래그를 활성화 시켜 강도 증진에 기여하는 것으로 보고되어져 있으며 본 실험 결과도 유사한 결과를 나타내고 있다.<sup>14)</sup> 또한 CSA는 초기재령에서  $Al_2O_3$ 의 수화 촉진과  $SO_3^{2-}$  이온 함량 증가로 인해 에트리타이트가 활발히 생성되어 매트릭스

강도증진에 기여한 것으로 판단된다.<sup>15)</sup>

휨강도 특성은 Fig. 7과 같이 압축강도와 유사하게 LA 혼입율이 증가할수록, 섬유혼입율이 증가할수록 휨강도는 증진하는 것으로 나타났으며 특히 섬유혼입율이 강도발현에 크게 영향을 주는 것으로 나타났다. 섬유를 혼입하지 않았을 경우  $10.16 N/mm^2$ 으로 압출성형패널 기준에서 정하고 있는  $14.0 N/mm^2$  이상을 만족하지 못하였으며, 혼입율이 0.4%, 0.8%로 증가할수록 휨강도 발현율은 크게 증가하였다. LA 혼입율에 따라 압축강도와 유사한 경향을 나타내고 있으며 40% 대체인 경우  $14.18 \sim 17.44 N/mm^2$ 으로 압출성형패널 기준인  $14.0 N/mm^2$  이상을 상회하는 것으로 나타났다. 이는 오토클레이브양생 배제를 목적으로 사용한 LA의 대체율에 따른 결과로 대체율이 적은 경우 매트릭스내부 강도발현을 위한



충분한 수화열 확보와 수화물 생성이 미비한 결과에 기인된 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

콘크리트 2차제품인 압출성형패널의 생산단계에서 양생치수 저감을 위한 LA 결합재와 섬유종류, 섬유혼입율을 대체한 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 섬유 종류와, LA 혼입율에 따른 압출성형패널의 함수율의 변화는 없었으며 섬유 혼입율에 따라 변화가 나타나 대체적으로 섬유가 혼입되지 않은 실험체에서 함수율이 비교적 높은 값을 나타내었다.

(2) 흡수율 측정결과 함수율 측정 결과와 유사하게 섬유 혼입율이 증가할수록 흡수율은 감소하는 경향을 나타냈으며 밀도의 경우 섬유 종류와, 섬유 혼입율에는 크게 영향을 받지 않고 LA 혼입율에 따라 그 특성이 변화되는 것으로 나타났다.

(3) 강도특성에 있어 섬유 종류는 강도에 크게 영향을 미치는 유효인자로 나타나지 않았다. 섬유 혼입율이 증가할수록 강도는 증가하였으며, LA 혼입율은 40% 대체하였을 경우 가장 높은 강도 발현을 나타냈다.

(4) 이상의 실험·실증적인 연구 결과 LA를 혼입하여 압출성형패널 제조 시 고가의 PP섬유 대신 저가의 PE 또는 Nylon 섬유의 대체 가능성을 확인하였으며, LA 혼입율 40%, 섬유 혼입율 0.8%일 경우 최적배합인 것으로 판단되었다. 하지만 장기 내구성과 옥외 폭로 저항성, 압출성형패널 제조 시 압출속도, 점도 등에 대한 세부사항 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

This research was supported by a grant (Code 11-Technology Innovation-F04) from Construction Technology Innovation Program (CTIP) funded by Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs (MLTM) of Korean government.

#### References

- Sipilä, J. Teir, S., Zevenhoven, R., 2008 : *Carbon dioxide sequestration by mineral carbonation*, Literature review update 2005-2007, Report VT2008-1, Åboakademi university.
- Lee, B.Y, et al., 2009 : *Fiber Distribution Characteristics and Flexural Performance of Extruded ECC Panel*, Journal of the Korea Concrete Institute, 21(5), pp. 573-580.
- Cho, C.G, et al., 2010 : *Flexural Test on Composite Deck Slab Produced with Extruded ECC Panel*, Journal of the Korea Concrete Institute, 22(5), pp. 695-702.
- H. F. W. Taylor. 1997 : *Cement Chemistry*, Academic Press, London.
- Powers, T. C., 1965 : *Some Physical Aspects of the Hydration of Portland Cement*, J. Res. Dev. Labs. Portland cement Ass, 3(1), pp. 47-56.
- Odler, I. and Gebauer, J., 1966 : *Cement Hydration in Heat Treatment*, Zement-Kalk-Gips, 55(6), pp. 276-281.
- Kim, H.S, Lee, S.H, 2014 : *Strength Properties of Mortar According to Types of Binders for Reducing Curing Process of Concrete Secondary Products for Reduction CO<sub>2</sub>*, Korea Society of Waste Management, 30(8), pp. 824-831. Korea Society of Waste Management, Dong-Eui University, Busan-Korea, 15-17 May 2014.
- Kim, H.S, Lee, S.H, 2014 : *Strength Properties of Extrusion panel Using Low Energy Curing Admixture(LA) based on Ground Granulated Blast-Furnace Slag and Electric Arc Furnace Slag*, Japan Society of Material Cycles and Waste Management, 25th, pp. 603-604. JSMCWM, Hiroshima University, Hiroshima-Japan, 14-17 September 2014.
- H. F. W. Taylor, 1979 : *The Chemistry of Cements, Third printing*, Academic Press INC, pp. 173.
- Yoo, J. K., et al., 2000 : *An Experimental Study on the Effect of Curing Condition and Moisture Content Ratio on the Carbonation and Air Permeability of Concrete*, Journal of the Korea Concrete Institute, 12(2), pp. 403-408.
- Won, J. P, Kim, M. K., and Park, C. G., 2005 : *Control of Plastic Shrinkage Cracking of Hybrid PVA Fiber Reinforced Cement Composites*, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 25(4), pp. 621-626.
- Betterman, L. R, Ouyang, C., and Shah, S. P., : *Fiber Matrix Interaction in Microfiber-Reinforced Mortar; Advanced Cement Based Materials*, 2(2) pp. 53-61.
- Kim, N. W, Lee, S. G, Han, B. Y, and Bae, J. S., 2003 : *Flexural Fracture Toughness Characteristics of Hybrid Steel Fiber Reinforced Concrete*, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 23(4), pp. 619-625.
- Lee, Myung-Kue, et al. 2005 : *Strength of Recycled Concrete with Furnace Slag Cement under Steam Curing Condition*, Journal of the Korea Concrete Institute, 17(4), pp. 613-620.
- Sho, K. H, et al., 2011 : *Utilization of Separator Bag Filter Dust for High Early Strength Cement Production*, Construction and Building Materials, pp. 2318-2322.



**김 하 석**

- 공주대학교 건설환경공학부 공학사
- 공주대학교 건축공학 공학석사
- 공주대학교 건축공학 공학박사
- 현재 한국건설기술연구원 건축도시연구  
구소 연구원



**백 대 현**

- 청주대학교 건축공학 공학사
- 청주대학교 건축공학 공학석사
- 청주대학교 건축공학 공학박사
- 현재 한국건설기술연구원 건축도시연구  
구소 연구원



**이 세 현**

- 건국대학교 건축공학 공학사
- 건국대학교 건축공학 공학석사
- 건국대학교 건축공학 공학박사
- 현재 한국건설기술연구원 건축도시연구  
구소 선임연구위원

## 學會誌 投稿 安內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解説	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解説, Review
技 術 報 告	實際的인 試驗, 調査의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解説하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國內外의 研究 幾關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隨霜 등
Group 紹介	企業, 研究幾關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 揭載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.