



## 섬유보강 시멘트 복합체의 특성에 미치는 선반 스크랩 규격의 영향

권순오<sup>1</sup> · 배수호<sup>2</sup> · 이현진<sup>1</sup> · 김성욱<sup>3</sup> · 박정준<sup>4</sup>

안동대학교 토목공학과 박사과정<sup>1</sup> · 안동대학교 토목공학과 교수<sup>2</sup> · 한국건설기술연구원 인프라구조연구실  
 선임연구원<sup>3</sup> · 한국건설기술연구원 인프라구조연구실 수석연구원<sup>4</sup>

## Influence of Measurements of Lathe Scrap on the Characteristics of Fiber Reinforced Cementitious Composites

Kwon, Soon-Oh<sup>1</sup> · Bae, Su-Ho<sup>2</sup> · Lee, Hyun-Jin<sup>1</sup> · Kim, Sung-Wook<sup>3</sup> · Park, Jung-Jun<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD., Candidate, Department of Civil Engineering, Andong National University, Andong, Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Civil Engineering, Andong National University, Andong, Korea

<sup>3</sup>Senior Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT), Goyang, Korea

<sup>4</sup>Senior Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT), Goyang, Korea

**Abstract:** It should be noted that the use of the lathe scrap for making fiber reinforced cementitious composites(FRCCs) raised friendly environmental effect as well as economy because the lathe scrap is a by-product of steel manufactures and is occurred when lathe and milling works of them are conducted to process steel manufactures. Thus, the purpose of this research is to investigate the effect of measurements of lathe scrap on the characteristics of FRCCs. For this purpose, various lathe scraps were collected from processing plants of metal, and then these were processed 10mm, 20mm, and 40mm in lengths for 2mm and 4mm in widths, respectively. FRCCs containing lathe scraps were made according to their widths and lengths, and then characteristics such as the workability, compressive strength, and flexural strength of those were evaluated. As a result, it was observed from the test results that the optimum measurements of the lathe scrap for manufacturing FRCCs was 2mm in width and 40mm in length.

**Key Words:** Fiber reinforced cementitious composites(FRCCs), Lathe scrap, Compressive strength, Flexural strength, Optimum measurements

### 1. 서 론

콘크리트는 경제성 및 내구성이 우수한 건설재료로서 강재와 더불어 콘크리트 구조물의 건설에 널리 사용되고 있다. 그러나 콘크리트는 인장강도와 휨강도가 작고, 균열이 발생하기 쉬운 본질적인 결함을 가지고 있으며, 또한 최근 고강도 콘크리트의 실용화에 따른 압축강도의 증가로 인해 콘크리트의 취성파괴(brittle failure)가 문제시되고 있다(Bae et al., 2014; Kim et al., 2013; Yang, 2010).

이에 따라 콘크리트의 휨강도 및 인성을 개선시켜서 취성파괴 등을 방지하기 위하여 일반 콘크리트의 배합에 강섬유 및 유기섬유 등을 1% 정도로 혼입하여 제조하는 섬유 보강 콘크리트(fiber reinforced concrete)가 일부 콘크리트 구조물에 사용되고 있다. 그러나, 섬유 보강 콘크리트는 일반 콘크리트의 배합에 강섬유나 유기섬유를 혼입하는데, 이들은 고가이므로 보편적으로 사용하기에는 어려운 실정이다(Ha et al., 2010).

한편, 강 스크랩(steel scrap)은 강재 생산 및 가공 과정에서 발생된 부산물로, KS D 2101(Classification Standard for Iron and Steel

**주요어:** 섬유보강 시멘트 복합체(FRCCs), 선반 스크랩, 압축강도, 휨강도, 최적 규격

**Corresponding author:** Bae, Su-Ho

Department of Civil Engineering, Andong National University, 1375 Gyeongdong-ro, Andong, Gyeongsangbuk-do 760-749, Korea  
 Tel: +82-54-820-5896, Fax: +82-54-820-5896, E-mail: shbae@andong.ac.kr

Received May 12, 2015 / Revised June 13, 2015 / Accepted June 15, 2015

Scraps, 2011)에 따라 생철 스크랩, 노폐 스크랩, 선반 스크랩 및 가공 스크랩으로 분류되는데, 이들은 철강산업의 부산물로 가격이 기존의 강섬유보다 훨씬 저렴하고 원재료와 성분이 거의 유사하므로, 섬유보강 시멘트 복합체(fiber reinforced cementitious composites, FRCCs) 제조시 이들을 활용할 경우 기존의 강섬유 보강 시멘트 복합체와 거의 유사한 성능을 유지하면서 경제성은 대폭 향상될 것으로 예측된다(Bdour & Al-Khalayleh, 2010; Murali et al, 2012; Vijayakumar et al, 2012).

본 연구의 목적은 섬유보강 시멘트 복합체 제조시 선반 스크랩(lathe scrap)을 활용하기 위한 것인데, 선반 스크랩은 금속의 선반 및 밀링작업시 발생되며, 동일 종류의 금속 및 재질이라도 작업자의 작업방식에 따라 선반 스크랩의 굵기와 길이가 달라지므로, FRCCs 제조시 선반 스크랩을 활용하기 위해서는 FRCCs 특성에 유리한 선반 스크랩의 규격을 도출하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 선반 스크랩의 폭과 길이를 변수로 하여 선반 스크랩 보강 시멘트 복합체의 특성을 규명한 후, FRCCs의 특성에 유리한 선반 스크랩의 규격과 혼입률을 제시하고자 한다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

선반 스크랩 보강 시멘트 복합체를 제조하기 위하여 시멘트는 시중에서 구입한 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 경북 안동에서 생산된 낙동강산 하천사를 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 Tables 1 및 2와 같다. 선반 스크랩 보강 시멘트 복합체의 유동성 조절을 위한 화학혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 S사의 폴리 카르본산계의 고성능 감수제(Superplasticizer, SP)를 사용하였다(Table 3). FRCCs 특성에 유리한 선반 스크랩의 규격을 도출하기 위하여 서울특별시 영등포구 도림로에 위치한 기계 가공공장 밀집지역에서 선반 스크랩을 수집하였다. 수집된 선반 스크랩은 폭을 약 2, 4mm로 구분한 후, 이들 각각에 대해 길이 10, 20 및 40mm로 절단하여 시료를 준비하였으며(Fig. 1), 기본 물성은 Table 4와 같다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 선반 스크랩의 규격에 따른 FRCCs의 특성 평가

##### 1) 공시체 제작

선반 스크랩 보강 시멘트 복합체를 제작하기 위

하여 Table 5와 같이 단위질량에 의한 배합비를 정하였다. 물-결합재비(W/B)는 30%, 목표 플로값은  $210 \pm 20$ mm로 설정하였고, 선반 스크랩은 폭 2mm, 4mm 각각에 대해서 길이 10mm, 20mm 및 40mm로 변화시켰으며, 선반 스크랩 혼입률은 시멘트 복합체 체적의 1.5%로 일정하게 하였다. KS L ISO 679(Methods of testing cements-Determination of strength, 2006)에 따라 Fig. 2와 같이 각주형 공시체(40×40×160mm)를 제작하였으며, 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 몰드를 제거한 후 강도시험 전까지  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 온도로 습윤양생하였다.

##### 2) 압축강도 시험

선반 스크랩의 규격에 따른 FRCCs의 압축강도 특성을 평가하기 위하여 KS L ISO 679에 따라 Fig. 3과 같이 재령 7일 및 28일 압축강도 시험을 수행하였다.

##### 3) 휨강도 시험

선반 스크랩의 규격에 따른 FRCCs의 휨강도 특성을 평가하기 위하여 KS L ISO 679에 따라 Fig. 4와 같이 재령 7일 및 28일 휨강도 시험을 수행하였다.



Fig. 1 Lathe Scraps Chopped



Fig. 2 FRCCs Specimens for Compressive and Flexural Strength Tests

**Table 1. Physical Properties of Cement**

Specific gravity	Setting time(min)		Blaine(m <sup>2</sup> /kg)	Compressive strength(MPa)		
	Initial	Final		3 Days	7 Days	28 Days
3.14	250	370	329	34.0	44.1	56.9

**Table 2. Physical Properties of Fine Aggregate**

Specimen	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Unit mass (kg/m <sup>3</sup> )	Amount of passing 0.08mm sieve(%)	Fineness modulus
River sand (Nakdong-river)	2.58	1.47	1,597	2.2	2.43

**Table 3. Properties of Chemical Admixture**

Type	Specific gravity	pH	Solid content (%)	Quantity(%) (by mass of cement)	Main component
Superplasticizer	1.05	3~4	18	0.5~2.5	Polycarboxylic acid admixture

**Table 4. Physical Properties of Lathe Scrap**

Specimen	Width (mm)	Mean thick (mm)	Length (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Tensile strength of parent metal (MPa)
SCM440 (Chrome-molybden steel)	2	0.27	10, 20, 40	7.39	830~980
	4	0.29			

### 2.2.2 선반 스크랩의 최적 혼입률 도출실험

#### 1) 공시체 제작

「2.2.1 선반 스크랩의 규격에 따른 FRCCs의 특성 평가」로부터 FRCCs 특성에 유리한 선반 스크랩의 규격을 도출한 후, 선반 스크랩 보강 시멘트 복합체의 작업성, 압축강도 및 휨강도 특성에 유리한 선반 스크랩의 최적 혼입률을 제시하기 위하여 Table 6과 같이 단위질량에 의한 배합비를 정하였다. 물-결합재비는 30%, 목표 플로값은 210±20mm로 설정하였고, 선반 스크랩은 FRCCs의 특성에 유리한 규격이 도출됨에 따라 폭 2mm, 길이 40mm로 고정시켰으며, 선반 스크랩 혼입률은 시멘트 복합체 체적의 0~2.5%까지 0.5%씩 변화시켰다. KS L ISO 679에 따라 각주형 공시체(40×40×160mm)를 제작하였으며(Fig. 2), 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 몰드를 제거한 후 강도시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

#### 2) 압축강도 시험

「2.2.1 선반 스크랩의 규격에 따른 FRCCs의 특성 평가」의 압축강도 시험과 동일한 방법으로 수행하였다.

**Fig. 3 Compressive Strength Test of FRCCs****Fig. 4 Flexural Strength Test of FRCCs**

**Table 5. Mix Proportions of FRCCs with Different Width and Length of Lathe Scrap**

Specimens	Lathe scrap		Lathe scrap content of total volume(%)	W/B(%)	Unit mass(kg/m <sup>3</sup> )			SP (%) (by mass of cement)
	Width (mm)	Length (mm)			W*	B*	S*	
Plain	-	-	-	30	300	1,000	1,000	0.53
Lathe scrap	2	10	1.5		300	1,000	1,000	0.53
		20						0.60
		40						0.63
	4	10	1.5		300	1,000	1,000	0.53
		20						0.63
		40						0.66

\* W: Water, B: Binder, S: Fine aggregate

**Table 6. Mix Proportions of FRCCs with Lathe Scrap Content**

Specimens	Lathe scrap		Lathe scrap content of total volume(%)	W/B(%)	Unit mass(kg/m <sup>3</sup> )			SP (%) (by mass of cement)
	Width (mm)	Length (mm)			W	B	S	
Plain	-	-	-	30	300	1,000	1,000	0.53
Lathe scrap	2	40	0.5					0.53
			1.0					0.53
			1.5					0.63
			2.0					0.63
			2.5					0.63

3) 휨강도 시험  
 「2.2.1 선반 스크랩의 규격에 따른 FRCCs의 특성 평가」의 휨강도 시험과 동일한 방법으로 수행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 선반 스크랩의 규격에 따른 FRCCs의 특성

##### 3.1.1 작업성

Fig. 5는 선반 스크랩의 혼입률이 FRCCs 체적의 1.5%일 때, 폭 및 길이 변화에 따른 FRCCs의 작업성을 평가하기 위한 고성능 감수제(SP) 첨가량을 나타낸 것으로, 선반 스크랩의 폭에 관계없이 선반 스크랩의 길이가 증가할수록 목표 플로값(210±20mm)을 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 다소 증가하므로, 선반 스크랩의 작업성은 선반 스크랩을 혼입하지 않은 플레인 모르타르보다 다소 불리한 것으로 나타났다.

선반 스크랩의 폭에 따른 고성능 감수제 첨가량은 거의 일정하므로 선반 스크랩의 폭이 작업성에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났으며, 선반 스크랩의 길이가 증가하여도 선반 스크랩의 뭉침현상은 없는 것으로 나타나, 선반 스크랩 보강 시멘트 복합체의 작업성은 그다지 문제가 없는 것으로 판단된다.

##### 3.1.2 압축강도

Fig. 6은 선반 스크랩의 폭 및 길이 변화에 따른 선반 스크랩 보강 FRCCs의 재령 7일 및 28일 압축강도를 나타낸 것으로, 선반 스크랩의 폭에 관계없이 선반 스크랩의 길이가 증가할수록 압축강도는 다소 감소하는 것으로 나타났으나, 유의할 수준은 아닌 것으로 나타났다. 또한, 섬유보강 시멘트 복합체는 압축강도 증진보다는 휨강도 및 인성 개선 목적으로 사용하므로, 선반 스크랩 보강 FRCC의 압축강도가 약간 감소하여도 사용상 문제가 없는 것으로 판단된다.

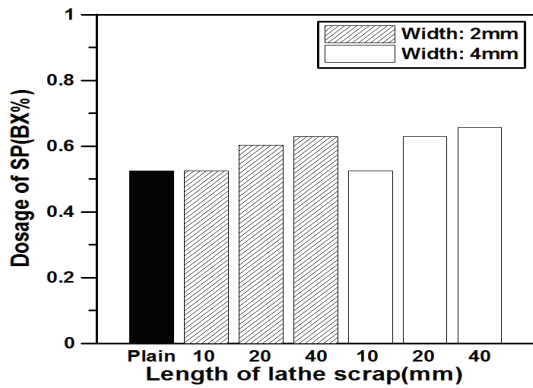
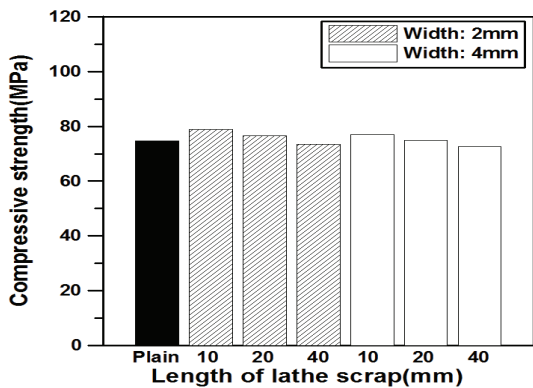
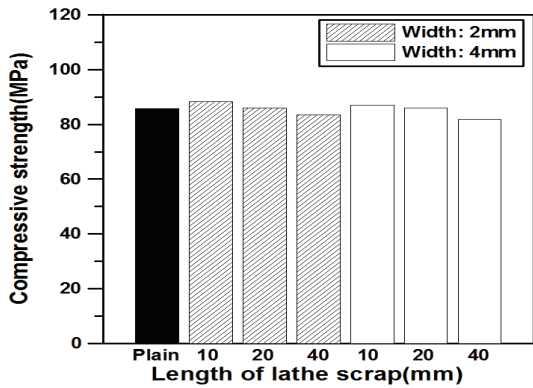


Fig. 5 Dosage of SP of FRCCs with Measurements of Lathe scrap



(a) 7 Days

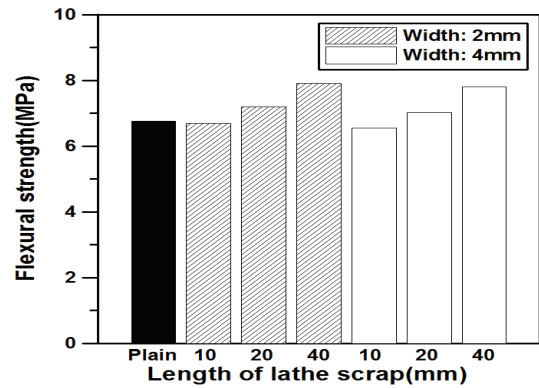


(b) 28 Days

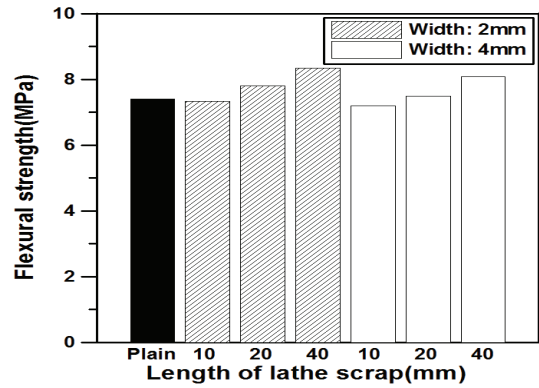
Fig. 6 Compressive Strength of FRCCs with Measurements of Lathe Scrap

### 3.1.3 휨강도

Fig. 7은 선반 스크랩의 폭 및 길이 변화에 따른 FRCCs의 재령 7일 및 재령 28일 휨강도를 나타낸 것으로, 선반 스크랩의 폭에 관계없이 선반 스크랩의 길이가 증가함에 따라 휨강도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 이 같은 경향은 선반 스크랩의 폭이 작은 경우가 보다 뚜렷한 것으로 나타났다.



(a) 7 Days



(b) 28 Days

Fig. 7 Flexural Strength of FRCCs with Measurements of Lathe Scrap

## 3.2 FRCCs의 특성에 유리한 선반 스크랩의 규격

선반 스크랩 보강 FRCCs의 작업성 및 압축강도는 선반 스크랩의 길이가 증가할수록 다소 불리한 것으로 나타났으나, 유의할 수준은 아닌 것으로 나타났으며, 선반 스크랩 보강 FRCCs의 휨강도는 선반 스크랩의 길이가 길수록 증가하고, 선반 스크랩의 길이가 동일한 경우 폭이 작은 경우가 보다 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 사용된 선반 스크랩의 폭은 2mm, 4mm이고, 길이는 10mm, 20mm 및 40mm 이므로, 이들 중 FRCCs 특성에 유리한 선반 스크랩의 최적 규격은 폭 2mm, 길이 40mm로 나타났다.

## 3.3 선반 스크랩의 최적 혼입률

### 3.3.1 작업성

Fig. 8은 물-결합제비 30%의 경우, 선반 스크랩 보강 FRCCs의 선반 스크랩의 혼입률에 따른 고성능 감수제 첨가량을 나타낸 것이다. 선반 스크랩의 혼입률 1.0%까지는 목표 플로값(210±20mm)을 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 플레인과 유사한 것으로 나타났으나, 선반 스크랩의 혼입률이 1.5%부터 선반 스크랩

의 혼입률이 증가할수록 고성능 감수제 첨가량이 다소 증가하는 것으로 나타나, 작업성이 다소 불리한 것으로 나타났으며, 선반 스크랩의 혼입률 2.0% 이상인 경우 섬유 뭉침현상이 발생하는 것으로 나타났다.

### 3.3.2 압축강도

Fig. 9는 선반 스크랩 보강 FRCCs의 선반 스크랩의 혼입률에 따른 재령 28일 압축강도를 나타낸 것으로, 선반 스크랩의 전 혼입률에서 플레인 모르타르보다 증가하는 것으로 나타났으며, 선반 스크랩의 혼입률 1.5%에서 최대 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다.

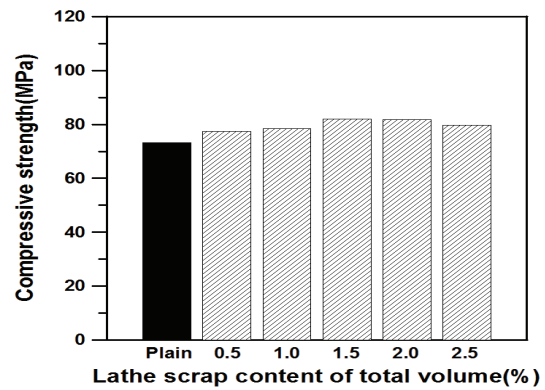


Fig. 9 Compressive Strength of FRCCs with Lathe Scrap Content

### 3.3.3 휨강도

Fig. 10은 선반 스크랩 보강 FRCCs의 선반 스크랩의 혼입률에 따른 재령 28일 휨강도를 나타낸 것으로, 선반 스크랩 보강 FRCCs의 휨강도는 혼입률에 관계없이 플레인 모르타르보다 증가하며, 선반 스크랩 혼입률 1.5%까지 혼입률에 따라 증가하다가 그 이후로는 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 선반 스크랩의 혼입률 1.5%에서 최대 휨강도를 나타내며, 이 때 휨강도는 플레인 모르타르의 약 1.3배 개선되는 것으로 나타났다.

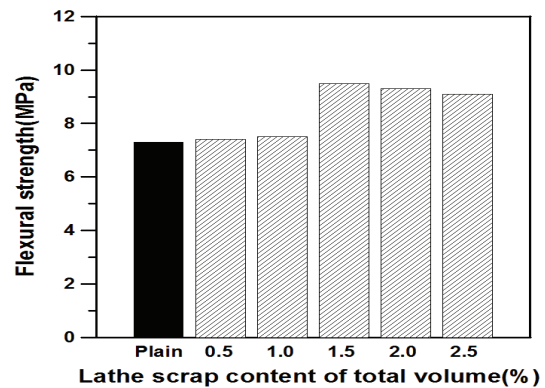


Fig. 10 Flexural Strength of FRCCs with Lathe Scrap Content

### 3.3.4 선반 스크랩의 최적 혼입률

선반 스크랩 보강 FRCCs는 선반 스크랩의 혼입률 1.5%에서 최대 휨강도를 나타내며, 이 때 선반 스크랩의 뭉침현상은 나타나지 않았으므로, 작업성과 휨강도를 고려한 선반 스크랩의 최적 혼입률은 1.5%로 나타났다(Figs. 8, 10).

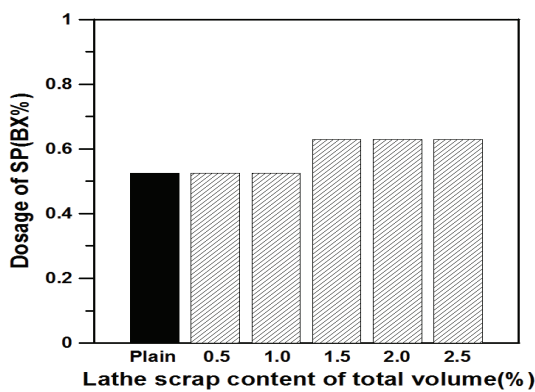


Fig. 8 Dosage of SP of FRCCs with Lathe Scrap Content

## 4. 결론

섬유보강 시멘트 복합체 제조를 위한 선반 스크랩의 활용 방안을 제시하기 위하여 선반 스크랩의 규격에 따른 FRCCs의 특성을 평가한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 선반 스크랩의 규격에 따른 선반 스크랩 보강 FRCCs의 작업성은 선반 스크랩의 폭에 관계없이 선반 스크랩의 길이가 증가할수록 목표 플로값 (210±20mm)을 얻기 위한 고성능 감수제 첨가량이 다소 증가하므로, 선반 스크랩의 작업성은 플레인 모르타르보다 다소 불리한 것으로 나타났으나, 유의할 수준은 아닌 것으로 판단된다.

2. 선반 스크랩의 규격에 따른 선반 스크랩 보강 FRCCs의 재령 7일 및 28일의 압축강도는 선반 스크랩의 폭에 관계없이 선반 스크랩의 길이가 증가할수록 압축강도는 다소 감소하는 것으로 나타났으나, 유의할 수준은 아닌 것으로 나타났다. 또한, 섬유보강 시멘트 복합체는 압축강도 증진보다는 휨강도 및 인성 개선 목적으로 사용하므로, 선반 스크랩

보강 FRCC의 압축강도가 약간 감소하여도 사용상 문제가 없는 것으로 판단된다.

3. 선반 스크랩의 규격에 따른 선반 스크랩 보강 FRCCs의 재령 7일 및 28일의 휨강도는 선반 스크랩의 폭에 관계없이 선반 스크랩의 길이가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 이 같은 경향은 선반 스크랩의 폭이 작은 경우가 보다 뚜렷한 것으로 나타났다.

4. 본 연구에 사용된 선반 스크랩의 폭은 2mm, 4mm이고, 길이는 10mm, 20mm 및 40mm이므로, 이들 중 FRCCs 특성에 유리한 선반 스크랩의 최적 규격은 폭 2mm, 길이 40mm로 나타났다.

5. 선반 스크랩 보강 FRCCs는 선반 스크랩의 혼입률 1.5%에서 최대 휨강도를 나타내며, 이 때 선반 스크랩의 뭉침현상은 나타나지 않았으므로, 작업성과 휨강도를 고려한 선반 스크랩의 최적 혼입률은 1.5%로 나타났다.

### 감사의 글

이 연구는 국토교통부 건설기술연구사업 방호·방폭 연구단(과제번호: 13건설연구S02)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

### References

- Bae, S. H., Jeon, J. T., Kwon, S. O., Lee, H. J., and Kim, S. W. (2014), "Characteristics Evaluation of Lathe Scrap for Manufacturing Fiber Reinforced Cementitious Composites," *Journal of the Korean of Disaster Information*, Vol. 10, No. 3, pp. 432-441. (in Korean).
- Bdour, A. N. and Al-Khalayleh, Y. A. (2010), "Innovative application of scrap-tire steel cords in concrete mixes," *Jordan Journal of Civil Engineering*, Vol. 4, No. 1, pp.55-61.
- Ha, J. H., Yi, N. H., Kim, S. B., Choi, J. K., and Kim, J. H. (2010), "Experimental Study on Blast Resistance Improvement of RC Panels by FRP Retrofitting," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 22, No. 1, pp. 93-102. (in Korean).
- Kim, B. S., Kim, D. H., Lee, Y. D., and Lim, N. H. (2013), "The Mechanical and Chloride Penetration Properties of Concrete Mixed with Various Fiber," *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 29, No. 11, pp. 45-52. (in Korean).
- KS D 2101 (2011), "Classification standard for iron and steel scraps," *Korean Agency for Technology and Standards (KS)*, Korea. (in Korean).
- KS L ISO 679 (2006), "Methods of testing cements-Determination of strength," *Korean Agency for Technology and Standards (KS)*, Korea. (in Korean).
- Ministry of Knowledge Economy. (2010), "Supply stabilizing policy of steel scrap." Korea. (in Korean).
- Murali, G., Vivek Vardhan, C. M., Prabu, R., Mohammed Sadaquath Ali Khan, Z., Aarif Mohamed, T., and Suresh, T. (2012), "Experimental investigation on fibre reinforced concrete using waste materials," *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 2, Issue 2, pp.278-283.
- Vijayakumar, G., Senthilnathan, P., Pandurangan, K., and Ramakrishna, G. (2012), "Impact and energy absorption characteristics of lathe scrap reinforced concrete," *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, Vol. 1, No. 1, pp.1-6.
- Yang, K. H. (2010), "Slump and Mechanical Properties of Hybrid Steel-PVA Fiber Reinforced Concrete," *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 22, No. 5, pp. 651-658. (in Korean).