

선반 스크랩 보강 시멘트 복합체의 작업성 및 강도 특성

이현진¹, 배수호^{2*}, 권순오³, 김성욱⁴, 박정준⁵

Workability and Strength Characteristics of Lathe Scrap Reinforced Cementitious Composites

Hyun-Jin Lee¹, Su-Ho Bae^{2*}, Soon-Oh Kwon³, Sung-Wook Kim⁴, Jung-Jun Park⁵

Abstract: It should be noted that the use of the lathe scrap for making fiber reinforced cementitious composites 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 experimental research is to investigate workability and strength characteristics of lathe scrap reinforced cementitious composites(LSRCCs). For this purpose, three types of lathe scraps were collected from processing plants of metal, and then LSRCCs containing these were made for 2mm width and 40mm length. As a result, it was observed from the test results that the workability of LSRCCs was slightly decreased than plain mortar and the flexural strength of LSRCCs were much larger than these of plain mortar and effect of types of lathe scrap on the characteristics of LSRCCs were somewhat large.

Keywords: Lathe scrap reinforced cementitious composites(LSRCCs), Plain mortar, Workability, Compressive strength, Flexural strength

1. 서 론

건설 산업에서의 콘크리트는 강도 발현성, 성형성 및 경제성 등이 우수할 뿐만 아니라 다양한 장점을 가지고 있어 건설공사에서 큰 비중을 차지하고 있으며, 구조물이 대형화·고층화·장대화 됨에 따라 현재까지 콘크리트에 대한 수요가 지속적으로 증가되고 있는 실정이다(Im et al., 1999; Park et al., 2015). 이같이 콘크리트는 가장 기본적이며 중요한 건설재료로 사용되고 있으나, 높은 압축강도와는 달리 낮은 인장강도와 전단강도 및 휨강도를 가지며 균열에 대한 저항능력이 작아, 갑작스런 파괴를 일으키는 취성파괴(brittle failure)의 문제를 가지고 있으며, 이는 고강도 콘크리트 일수록 두드러지게 나타난다(Bae et al., 2014; Kim et al., 2013; Yang, 2010).

이러한 콘크리트의 성질을 보완하기 위하여 1980년대부터

강섬유 및 유기섬유 등을 보강한 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되었으며, 이로 인해 콘크리트의 연성 및 휨인성 등이 크게 개선되는 결과를 가져왔다(Granju and Balouch, 2005; Mangat and Gurusamy, 1987). 강섬유 보강 콘크리트는 콘크리트의 취성적 성질을 개선하기 위해 콘크리트 체적의 약 1% 정도의 강섬유를 혼입하는 방법으로, 콘크리트의 인장강도, 휨강도, 휨 인성 및 변형에 대한 저항성이 우수하여 미국을 비롯한 기술 선진국을 중심으로 우수성을 인정받아 다양한 구조물에 적용되어 왔다(Kim and Choi, 2006; Kim et al., 2016; Sim and Lee, 1996). 유기섬유 보강 콘크리트는 섬유 자체의 인장강도 및 탄성계수는 낮지만 휨거동, 균열에 대한 저항성, 충격 저항성 및 내화화성이 우수하여 부식의 우려가 없다는 장점을 가지고 있다(Jeon and Jeon, 2014; Jeon et al., 2015; Park et al., 2008). 그러나, 이러한 강섬유 보강 콘크리트나 유기섬유 보강 콘크리트는 제조단가가 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(2011)에 따라 생철 스크랩, 노폐 스크랩, 선반 스크랩 및 가공 스크랩으로 분류되는데, 이 중 선반 스크랩(lathe Scrap)은 금속의 선반 및 밀링 작업 시 발생되며, 가격이 기존의 강섬유보다 훨씬 저렴하고 원재료와 성분이 거의 유사하다. 따라서 이를 사용한 선반 스크랩 보강 시멘트 복합체(lathe scrap reinforced cementitious composites, LSRCCs)는 기

¹정회원, 안동대학교 토목공학과 박사과정

²정회원, 안동대학교 토목공학과 교수, 교신저자

³정회원, 안동대학교 토목공학과 박사과정

⁴정회원, 한국건설기술연구원 구조융합연구소 선임위원

⁵정회원, 한국건설기술연구원 구조융합연구소 수석연구원

*Corresponding author: shbae@andong.ac.kr

Department of Civil Engineering, Andong National University, Andong, 36729, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2016년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

존의 강섬유 보강 시멘트 복합체와 거의 유사한 성능을 유지하면서 경제성은 대폭 향상될 것으로 예측된다(Bdour and Al-Khalayleh, 2010; Murali et al, 2012; Vijayakumar et al, 2012).

본 연구에서는 섬유보강 시멘트 복합체 제조시 강섬유 대신에 선반 스크랩의 활용 방안을 제시하기 위하여 금속 가공 공장으로부터 3종류의 선반 스크랩을 채취하여 폭 2 mm, 길이 40 mm로 가공한 후 이들을 사용한 선반 스크랩 보강 시멘트 복합체를 제작하여 이들의 작업성 및 강도 특성을 플레인 모르타르와 비교·평가하고자 한다.

2. 실험 개요

2.1 사용 재료

LSRCCs를 제작하기 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 화학 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 S사의 폴리카르본산계의 고성능 감수제(Superplasticizer, SP; 비중 : 1.05)를 사용하였다. LSRCCs에 혼입된 선반 스크랩은 서울특별시 영등포구 도림로에 위치한 기계 가공공장 밀집지역에서 3종류의 선반 스크랩을 수집하였다. 수집된 선반 스크랩의 규격은 기존의 연구(Kwon et al., 2015)를 참고하여 폭 2 mm, 길이 40 mm로



Fig. 1 Lathe scraps chopped

절단하여 Fig. 1과 같이 시료를 준비하였으며, 기본 물성은 Table 3와 같다.

2.2 실험 방법

2.2.1 공시체 제작

LSRCCs를 제작하기 위하여 Table 4와 같이 물-결합재비(W/B)는 30% 및 40%로 설정하였고, 선반 스크랩의 혼입율은 시멘트 복합체 체적의 1.5%, 목표 플로값은 210±20 mm로 설정하였다. LSRCCs의 작업성을 평가하기 위하여 물-결합재비가 40%인 경우는 유동성이 양호하여 고성능 감수제를 첨가하지 않았고, 물-결합재비가 30%인 경우는 고성능 감수제 첨

Table 1 Physical properties of cement

Specific gravity	Setting time (min)		Blaine (m ² /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 ³)	Absorption (%)	Unit mass (kg/m ³)	Amount of passing 0.08mm sieve (%)	Fineness modulus
River snad (Nakdong-river)	2.58	1.47	1,597	2.2	2.43

Table 3 Physical properties of lathe scrap

Specimen	Width (mm)	Length (mm)	Density (g/cm ³)	Tensile strength of parent metal (MPa)
SM45C			7.58	471
SS440	2	40	7.48	520~550
SCM440			7.39	890

Table 4 Mix proportions of LSRCCs

W/B(%)	Specimens	Lathe scrap content of total volume (%)	Target flow (mm)	Unit mass (kg/m ³)			SP (C×wt. %)
				Water	Cement	Fine aggregate	
30	Plain	-	210±20	300	990	990	0.5
	A (SM45C)	1.5					
	B (SS400)						
	C (SCM440)						
40	Plain	-	210±20	360	900	900	-
	A (SM45C)	1.5					
	B (SS400)						
	C (SCM440)						

가량을 시멘트 질량의 0.5%로 고정하였으며, KS L 5105(2012)에 따라 Fig. 2와 같이 플로 시험을 수행하였다. KS L ISO 679(2011)에 따라 압축 및 휨강도 시험용 각주형 공시체 (40×40×160 mm)를 제작하였으며, 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 몰드를 제거한 후 강도시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

2.2.2 압축강도 시험

선반 스크랩의 종류에 따른 LSRCCs의 압축강도 특성을 평가하기 위하여 KS L ISO 679에 따라 재령 7일 및 28일 압축강도 시험을 수행하였다.

2.2.3 휨강도 시험

선반 스크랩의 종류에 따른 LSRCCs의 휨강도 특성을 평가하기 위하여 KS L ISO 679에 따라 재령 7일 및 28일 휨강도 시험을 수행하였다.



Fig. 2 Flow test of LSRCCs

3. 실험결과 및 고찰

3.1 LSRCCs의 작업성

Figs. 3~4은 선반 스크랩의 종류에 따른 LSRCCs의 플로값을 나타낸 것으로, 물-결합재비가 30%인 경우 혼화제의 첨가량을 시멘트 질량의 0.5%로 고정하였을 때 LSRCCs의 플로

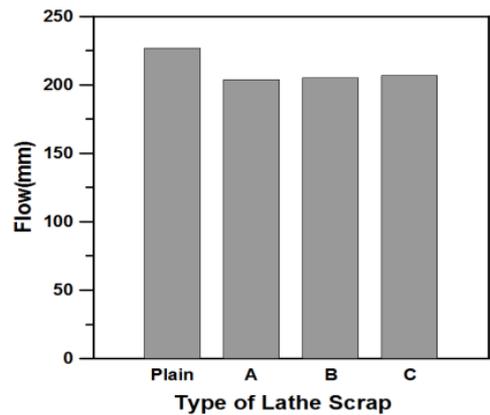


Fig. 3 Flow values of LSRCCs(W/B=30%)

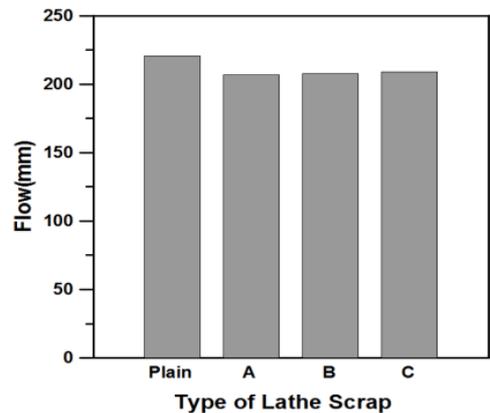


Fig. 4 Flow values of LSRCCs(W/B=40%)

값은 플레인 모르타르보다 다소 저하되나, 목표 플로값을 만족하는 것으로 나타나, 이 경우의 작업성은 플레인 모르타르보다 크게 저하되지 않는 것으로 나타났다. 반면, 물-결합재비가 40%인 경우의 LSRCCs의 플로값은 고성능 감수제를 첨가하지 않아도 목표 플로값을 만족하고, 플레인 모르타르의 플로값과 거의 유사하여 LSRCCs의 작업성은 양호한 것으로 나타나, 물-결합재비가 클수록 작업성이 우수한 것으로 나타났다.

3.2 LSRCCs의 압축강도

Figs. 5~6은 LSRCCs의 재령 7일 및 28일 압축강도를 나타낸 것으로, LSRCCs의 재령 28일 압축강도는 선반 스크랩의 종류에 관계 없이 플레인 모르타르보다 다소 증진되는 것으로 나타났다. 즉, 물-결합재비가 30%인 경우, 선반 스크랩 종류에 따른 LSRCCs의 압축강도는 A, B, C 각각의 경우 플레인 모르타르의 1.09배, 1.14배, 1.16배로 나타났으며, 물-결합재비가 40%인 경우, A, B, C 각각의 경우 플레인 모르타르의 1.02배, 1.11배, 1.15배로 나타나, 선반스크랩의 종류가 LSRCCs의 압축강도에 다소 영향을 미치며, 스크랩 모재의

인장강도가 클수록 LSRCCs의 압축강도도 증가하는 것으로 나타났다. 또한, LSRCCs의 압축강도는 물-결합재비가 작을수록 플레인 모르타르보다 크게 증가하는 것으로 나타났다.

3.3 LSRCCs의 휨강도

Figs. 7~8은 LSRCCs의 재령 7일 및 28일 휨강도를 나타낸 것으로, LSRCCs의 재령 28일 휨강도는 선반 스크랩의 종류에 관계 없이 플레인 모르타르보다 크게 증진되는 것으로 나타났다. 즉, 물-결합재비가 30%인 경우, 선반 스크랩의 종류에 따른 LSRCCs의 휨강도는 A, B, C 각각의 경우 플레인 모르타르의 1.49배, 2.05배, 2.28배로 나타났으며, 물-결합재비가 40%인 경우, A, B, C 각각의 경우 플레인 모르타르의 1.84배, 2.31배, 2.55배로 나타나, 선반 스크랩의 종류가 LSRCCs의 휨강도에 크게 영향을 미치며, 스크랩 모재의 인장강도가 클수록 LSRCCs의 휨강도도 크게 증가하는 것으로 나타났다. 한편, LSRCCs의 휨강도는 압축강도의 경우와는 다르게 물-결합재비가 클수록 플레인 모르타르보다 크게 증가하는 것으로 나타났다.

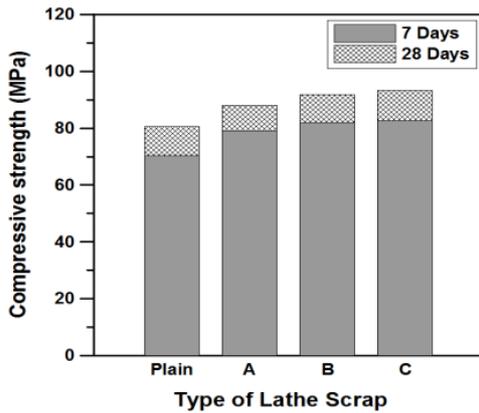


Fig. 5 Compressive strength of LSRCCs(W/B=30%)

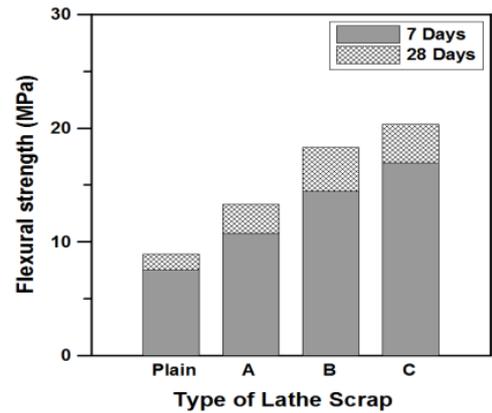


Fig. 7 Flexural strength of LSRCCs(W/B=30%)

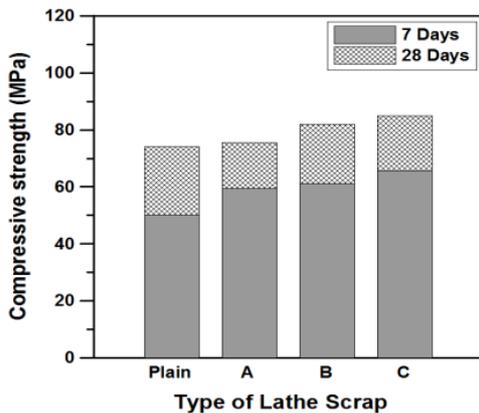


Fig. 6 Compressive strength of LSRCCs(W/B=40%)

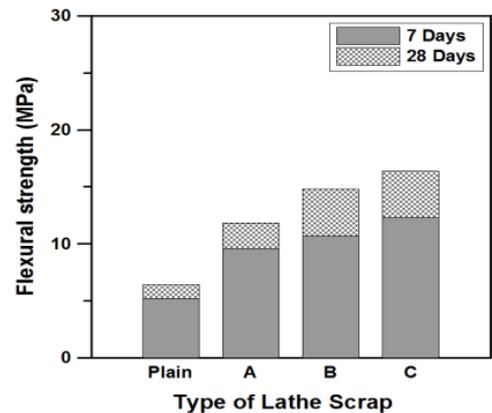


Fig. 8 Flexural strength of LSRCCs(W/B=40%)

4. 결 론

섬유보강 시멘트 복합체 제작시 각 강섬유 대체재료로서 선반 스크랩의 활용 방안을 제시하기 위하여 선반 스크랩 종류에 따라 LSRCCs를 제작하여 이들의 작업성, 압축강도 및 휨강도를 평가한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) LSRCCs의 작업성은 플레인 모르타르보다 다소 저하되나, 목표 플로값을 만족시키는 것으로 나타나, 작업성은 대체적으로 양호한 것으로 나타났으며, 물-결합재비가 클수록 작업성은 개선되는 것으로 나타났다.
- 2) LSRCCs의 재령 28일 압축강도는 선반 스크랩의 종류에 관계 없이 플레인 모르타르보다 다소 증진되는 것으로 나타났으며, 물-결합재비가 30%인 경우, 선반 스크랩 종류에 따른 LSRCCs의 압축강도는 A, B, C 각각의 경우 플레인 모르타르의 1.09배, 1.14배, 1.16배, 물-결합재비가 40%인 경우, A, B, C 각각의 경우 플레인 모르타르의 1.02배, 1.11배, 1.15배로 나타나, 선반 스크랩의 종류가 LSRCCs의 압축강도에 다소 영향을 미치며, 스크랩 모재의 인장강도가 클수록 LSRCCs의 압축강도도 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) LSRCCs의 재령 28일 휨강도는 선반 스크랩의 종류에 관계 없이 플레인 모르타르보다 크게 증진되는 것으로 나타났으며, 물-결합재비가 30%인 경우, 선반 스크랩 종류에 따른 LSRCCs의 휨강도는 A, B, C 각각의 경우 플레인 모르타르의 1.49배, 2.05배, 2.28배, 물-결합재비가 40%인 경우, A, B, C 각각의 경우 플레인 모르타르의 1.84배, 2.31배, 2.55배로 나타나, 선반 스크랩의 종류가 LSRCCs의 휨강도에 크게 영향을 미치며, 스크랩 모재의 인장강도가 클수록 LSRCCs의 휨강도도 크게 증가하는 것으로 나타났다.
- 4) 지금까지의 연구 결과, LSRCCs의 휨강도는 플레인 모르타르보다 1.49배~2.55배까지 크게 증가하나, 섬유보강 시멘트 복합체는 휨강도보다 휨인성 및 연성 개선 목적으로 활용되므로 추후 이에 관한 연구를 지속적으로 수행할 계획이다.

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*, 10(3), 432-441.
- Bdour, A. N., and Al-Khalayleh, Y. A. (2010), Innovative application of scrap-tire steel cords in concrete mixes, *Jordan Journal of Civil Engineering*, 4(1), 55-61.
- Granju, J. L., and Balouch, S. U. (2005), Corrosion of steel fiber reinforced concrete from the crack, *Cement and Concrete Research*, 35, 572-577.
- 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*, 22(1), 93-102.
- Im, N. K., and Jung, S. J. (1999), The Experimental Study on Strength Property on concrete using Blast Furnace Slag Aggregate, *Journal of Architectural Institute of Korea*, 15(6), 87-94.
- Jeon, C. K., and Jeon, J. K. (2014), A Experimental Study on the Flexural Behavior of Bundle Type Polyamide Fiber Reinforced Concrete, *Journal of the Korea Society of Disaster Information*, 10(1), 61-70.
- Jeon, J. K., Kim, S. G., Jeon, C. K., and Kim, K. H. (2015), Flexural Performance Evaluation of Organic Fiber Reinforced Concrete for Performance Improvement of Blast Resistance, *Proceedings of Korea Concrete Institute*, 27(1), 437-438.
- 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*, 29(11), 45-52.
- Kim, K. C., Yang, I. H., and Joh, C. B. (2016), Material Properties and Structural Characteristics on Flexure of Steel Fiber-Reinforced Ultra-High-Performance Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 28(2), 177-185.
- Kim, S. K. and Choi, J. H. (2006), Compressive and Tensile Strength Properties of Slurry Infiltrated Fiber Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 18(5), 703-708.
- KS D 2101 (2011), Classification standard for iron and steel scraps, Korean Agency for Technology and Standard.
- KS L 5105 (2012), Testing method for compressive strength of hydraulic cement mortars, Korean Agency for Technology and Standard.
- KS L ISO 679 (2006), Methods of testing cements-Determination of strength, Korean Agency for Technology and Standard.
- Kwon, S. O., Bae, S. H., Lee, H. J., Kim, S. W., and Park, J. J. (2015), Influence of Measurements Lathe Scrap on the Characteristics of Fiber Reinforced Cementitious Composites, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structures*, 6(2), 70-76.
- Mangat, P. S., and Gurusamy, K. (1987), Long-term properties of steel fiber reinforced marine concrete, *Materials and Structures*, 20, 273-282.
- Murali, G., Vivek Vardhan, C. M., Prabu, R., Mohammed Sadaquath Ali Khan, Z., Aarif Mohamed, T., and Suresh, T. (2010), Experimental investigation on fibre reinforced concrete using waste materials, *International Journal of Engineering Research and*

- Applications*, 2(2), 278-283.
- Park, B. K., You, J. Y., Lee, J. A., Jin, C. R., Han, M. C., and Han, C. G. (2008), Basic Characteristics of High Performance Concrete Mixing Organic Fiber, *The Korean Institute of Building Construction*, 8(1), 87-91.
- Park, C. J., Koh, K. T., Ahn, G. H., and Han, M. C. (2015), Effect of Silica Fume Type on the Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete, *Journal of Korean Recycled Construction Resource Institute*, 3(3), 220-227.
- Sim, J. S., and Lee, C. D. (1996), Mechanical Properties and Research Trends in Structural Application of Steel Fiber Reinforced Concrete, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, 8(4), 28-38.
- 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*, 1(1), 1-6.
- Yang, K. H. (2010), Slump and Mechanical Properties of Hybrid Steel-PVA Fiber Reinforced Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 22(5), 651-658.

Received : 07/25/2016

Revised : 09/21/2016

Accepted : 10/19/2016

요 지 : 선반 스크랩은 금속 가공 공정에서 선반 및 밀링 작업에 의해 발생된 철강제품의 부산물이므로, 섬유보강 시멘트 복합체 제작시 이를 활용할 경우 경제성뿐만 아니라 환경 친화적인 효과를 가져온다. 따라서 이 연구의 목적은 강섬유 대체재료로서 선반 스크랩의 활용 방안을 제시하기 위하여 선반 스크랩 보강 시멘트 복합체(LSRCCs)의 작업성 및 강도 특성을 평가하는 것이다. 이를 위하여 금속 가공공장에서 3종류의 선반 스크랩을 채취한 후 폭 2 mm, 길이 40 mm로 가공하여 LSRCCs를 제작하였다. 그 결과, LSRCCs의 작업성은 플레인 모르타르보다 약간 저하되었고, 휨강도는 크게 개선되었으며, 선반 스크랩의 종류가 LSRCCs의 특성에 다소 영향을 미치는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 선반 스크랩 보강 시멘트 복합체(LSRCCs), 플레인 모르타르, 작업성, 압축 강도, 휨 강도
