

# 페타이어 입자혼입 콘크리트의 강도별 특성 실험

손기상

서울 산업대학교 안전공학과  
(2004. 12. 6. 접수 / 2005. 4. 16. 채택)

## Experimental Study on the Strength of Concrete Specimens Mixed with Tire Chips

Ki Sang Son

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Technology  
(Received December 6, 2004 / Accepted April 16, 2005)

**Abstract :** This study is to use results of the experiment on the influence to the strength by mixing powders of wasted tires into regular remicon within a range of little effectiveness in durability, applicability, economic aspect, and workability, to put it to practical use and to apply as basic data from a view of recycling wasted tires as construction materials.

And the concrete, which was mixed with 10mm particles with ratio of 0.5% and 1.0% respectively at 270 of mixing strength, was reduced by 27% in compressive strength compared to normal concrete, whereas concrete mixed with other than 10mm particles showed lower decrease ratio compared to the former by reducing only 1.0%~1.5%. It is found that as strength increases, the less in quantity of aggregate and the more increase in quantity of cement.

When considered to the above result, it is estimated that concrete mixed with wasted tire particles could be better used in conditions of compressive force rather than tensile force, and could also be used for structures with flexural strengths as well. In conclusion, higher strengths could be made using waste tire mix.

**Key Words :** waste tire, cylinder mold, compressive strength, normal concrete

### 1. 서론

페타이어를 고무분말로 생산한 후 다양한 제품 제조에 재활용하고 있는 대표적인 국가는 미국, 호주, 덴마크, 네델란드와 일본이 있다. 고무분말에 의한 고무제품 연구는 활성화 되어 왔으나, 경량 콘크리트 등 콘크리트 재료에 대한 연구가 있었고<sup>1,4,6)</sup> 콘크리트 구조물에 대한 연구는 부진했다.

본 연구에서는 페타이어를 건설자재로 재활용하기 위한 측면에서 페타이어 분말을 기존에 생산되는 레미콘에 혼입하여 내구성, 시공성, 경제성, 작업성 등에 큰 영향을 주지 않는 범위에서 강도에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하여 페타이어 콘크리트의 구조부재의 적용성을 확인하는데 본 연구의 목적이 있다.

시험하기 위하여 KS인가를 받은 레미콘 공장에서 생산되고 있는 레디 믹스트 콘크리트의 180kg/cm<sup>2</sup>, 210kg/cm<sup>2</sup>, 240kg/cm<sup>2</sup>, 270kg/cm<sup>2</sup> 강도 배합설계에 자원재생공사에서 생산되는 6가지 종류의 페타이어 파쇄조각을 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%로 첨가하여, KS에 의거 혼입을 및 입자크기에 따라 슬럼프 테스트, 공시체 제작, 양생, 압축강도, 쪼갬인장강도, 휨강도, 철근 콘크리트 보의 휨강도를 실험하였다. 그리고 일반 콘크리트와 비교하기 위하여 일반 콘크리트에 대하여서도 동일한 실험을 실시하여 비교·검토 하였다.

### 2. 실험개요 및 방법

페타이어를 건설용 골재로 활용하기 위하여 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있지만 시멘트

와 고무의 부착능력 저하로 많은 어려움이 있다<sup>1-6)</sup>. 본 페타이어를 파쇄하여 입자크기와 혼입율이 현재 생산되는 레미콘에 배합하여 압축강도, 쪼갬인장강도, 휨강도에 미치는 영향을 일반 콘크리트와 비교하여 페타이어 콘크리트에 실용화를 위해 요구되는 강도에 어떠한 영향이 있는지를 고찰하고자 한다.

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 H사에서 생산된 20일 미만의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 굵은 골재는 경기도 가평군 산으로 최대치수 25mm이하이며, D레미콘사에서 직접 공급받아 배합하였다.

사용한 잔골재는 남양주시 광진리산으로 최대크기를 5mm입도로 조정하였고, D레미콘사에서 직접 공급받아 배합하였다.

페타이어 입자는 한국자원재생공사 시화공장에서 생산되는 것으로 0.6mm, 1.2mm, 2.0mm, 6mm, 10mm, Steel을 포함한 18mm이하의 입자로 총 6가지의 크기를 사용하였다.

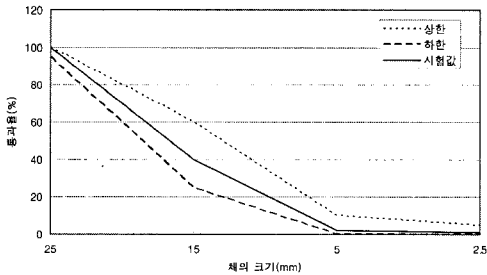


Fig. 1. Gradation Curve of Aggregate

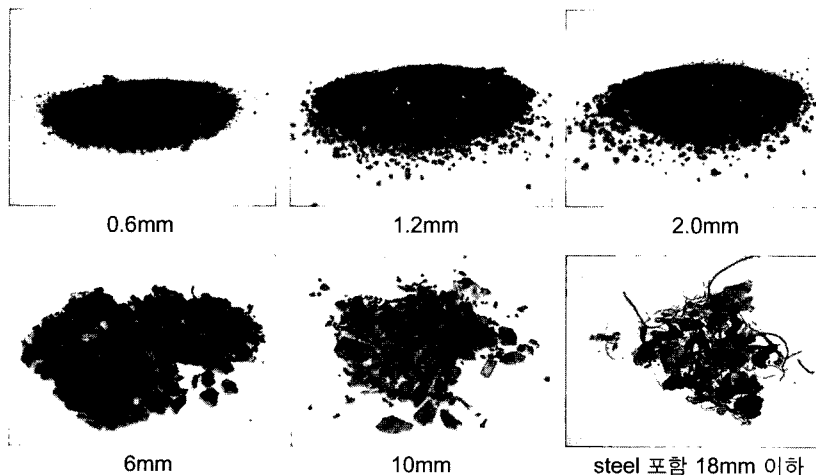


Fig. 2. Particle size of wasted tire-chip

혼화제는 단위수량을 감소시키며 워커빌리티를 증진하기 하기 위하여 국내 S사 제품의 표준형 AE 감수제를 사용하였다.

철근은 주근 SD40 D13, 띠근 SD40 D10을 사용하였으며 항복점은 4000kg/cm<sup>2</sup>이었다.

본 실험에 사용한 배합수는 기름, 산, 염류 등이 포함되지 않은 일반 상수도를 이용하였다.

## 2.1. 콘크리트의 배합

페타이어를 혼입한 콘크리트의 품질과 강도에 영향을 주는 각 인자를 기존 강도와 비교하기 위하여 [Table 1]과 같이 콘크리트 배합은 D레미콘사의 슬럼프가 15cm인 180kg/cm<sup>2</sup>, 210kg/cm<sup>2</sup>, 240kg/cm<sup>2</sup>, 270kg/cm<sup>2</sup> 강도 배합설계에 0.6mm, 1.2mm, 2.0mm, 6mm, 10mm, Steel을 포함한 18mm이하 입자의 6종류 페타이어 파쇄 입자를 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%로 혼입하였고, 보다 높은 실험의 신뢰도를 위하여 골재 또한 D사에서 사용하는 것을 사용하였다.

## 2.2. 시험방법

### 2.2.1. 슬럼프 테스트

굳지 않은 콘크리트의 워커빌리티를 판단하기 위해 KS F 2402에 따라 슬럼프 콘과 다짐봉을 사용하여 슬럼프 값을 측정하였다. 시료는 거의 같은 양으로 1/3씩 채운 후 다짐봉을 이용하여 각층을 25회씩 골고루 다짐하였다. 정확한 슬럼프 테스트를 위해 3회를 측정한 평균값을 슬럼프 값으로 하였다.

Table 1. Mixed Design of Concrete

기호	W/C	C	W	G	S	ad.	rubber		total
18-A	64.7	277	179	931	909	1.39	0%	0	2296
							0.5%	11.48	
							1.0%	22.96	
							1.5%	34.44	
							2.0%	45.92	
21-G	57.2	308	176	949	873	1.54	0%	0	2306
							0.5%	11.53	
							1.0%	23.06	
							1.5%	34.59	
							2.0%	46.12	
24-M	52.3	343	175	954	846	1.68	0%	0	2310
							0.5%	11.55	
							1.0%	23.10	
							1.5%	34.65	
							2.0%	46.20	
27-S	48.2	323	314	959	821	1.81	0%	0	2315
							0.5%	11.58	
							1.0%	23.15	
							1.5%	34.13	
							2.0%	46.30	

예) 기호표시

<18-A0> : 배합강도 180kg/cm<sup>2</sup>, 혼입율 0%  
 <18-A3> : 배합강도 180kg/cm<sup>2</sup>, 혼입율 1.5%

2.2.2. 압축강도시험

콘크리트의 압축강도를 테스트 위해 Ø10×20cm의 공시체를 재령 28일간 20±3℃에서 양생한 후 BS EN ISP9001인증을 받은 콘크리트압축강도기 (Concrete Compression Machine)를 사용하였고, KS F 2405에 의하여 하중을 가하는 속도를 매초 0.6±0.4N/mm<sup>2</sup>의 충격이 없는 일정한 속도로 하중을 가하여 파괴에 이르도록 하였다<sup>10)</sup>.

2.2.3. 쪼갬인장강도시험

콘크리트의 인장강도를 테스트하기 위해 Ø10×

20cm의 공시체를 재령 28일간 20±3℃에서 양생한 후 BS EN ISP9001인증을 받은 콘크리트압축강도기(Concrete Compression Machine)를 사용하였고, KS F 2423에 준하여 하중을 가하는 속도는 매초 0.06±0.04N/mm<sup>2</sup>로 일정하게 하중을 가하였으며, 공시체의 지름은 양단부 근처와 중앙부 3곳의 지름과 길이를 정밀도 0.1mm까지 측정하여 평균치를 취했다.

2.2.4. 휨강도

콘크리트의 휨강도를 테스트하기 위해 15×15×55cm의 공시체를 재령 28일간 20±3℃에서 양생한 후 KS F 2408에 준하여 ‘3등분점 재하 실험 휨강도 시험’을 실시하였다. 파괴실험시 하중은 지간의 중앙에 작용하게 하고 재하면과는 수직이 되게 하여 편심이 생기지 않도록 일정한 속도로 가압하였다<sup>7,8)</sup>.

2.2.5. RC(철근 콘크리트) 부재 휨내력<sup>9,11)</sup>

RC 부재의 휨강도 측정을 위하여 철근 SD40 D13을 주근, SD40 D10으로 11개의 띠근을 만들어 20×30×120cm의 공시체를 제작하였으며, 배근도는 [Fig. 3]과 같다.

타설 2일후 탈형하여 그늘진 곳에서 28일간 양생하였다. 휨강도 측정<sup>11)</sup>을 위하여 KS F 2408에 따라 [Fig. 4]처럼 ‘3등분점 재하 실험 방법’에 의하여 하중은 지간의 중앙에 작용하게 하고 재하면과는 수직이 되게 하여 편심이 생기지 않게 하였으며 매초 0.06±0.04N/mm<sup>2</sup>의 일정한 속도로 가압하였다. 또한 변형율을 측정하기 위하여 부재 중심에 스트레인 게이지(제조사 : Tokyo Sokki)를 2축 방향으로 부착하고 Statics Data Logger(모델명 : DTS-602, 제조사 Tokyo Sokki)에 연결하여 X, Y축의 변형율을 측정하였다.

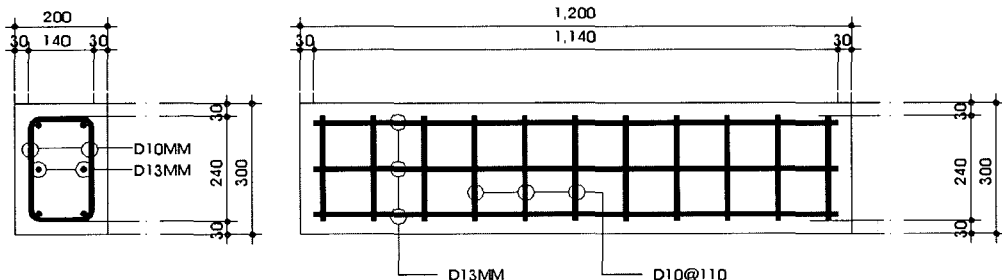


Fig. 3. Design for steel bar

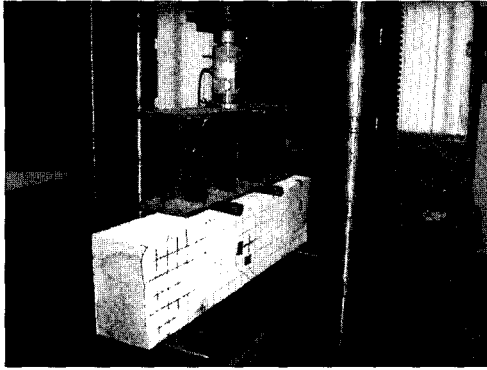


Fig. 4. Test for flexural strength of concrete

### 3. 실험결과

#### 3.1. 압축강도

1.2mm 입자의 경우 페타이어 혼입없는 일반콘크리트의 배합 압축강도는 180kg/cm<sup>2</sup>이지만 178kg/cm<sup>2</sup>을 얻었고 0.5%혼입때 158.8kg/cm<sup>2</sup>로 20158.8 kg/cm<sup>2</sup> 감소되었고 1.0%일때 110.5kg/cm<sup>2</sup>, 1.5%에서 103.6kg/cm<sup>2</sup>, 2.0%혼입시 66kg/cm<sup>2</sup>를 나타내었다.

Table 2. Compressive Strength of 180~240 Rubber Concrete

호칭 강도	페타이어크기 배합률	페타이어크기					Steel
		0.6	1.2	2.0	6.0	10.0	
180	혼입없음	178.3	178.3	178.3	178.3	178.3	178.3
	0.5	173.6	158.8	157.3	147.0	155.9	129.3
	1.0	126.0	110.5	143.7	127.9	146.1	123.2
	1.5	124.1	103.6	119.9	128.8	127.3	122.3
	2.0	121.9	65.8	103.7	112.9	98.7	114.3
	일반	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0
210	0.5	212.0	156.5	161.5	106.0	98.9	124.5
	1.0	162.0	126.0	123.0	112.1	95.7	131.0
	1.5	91.0	112.0	105.0	94.0	98.9	115.5
	2.0	90.5	135.5	99.0	89.0	101.7	101.0
	일반	252.4	252.4	252.4	252.4	252.4	252.4
240	0.5	159.9	169.3	184.7	259.2	269.9	232.5
	1.0	156.3	165.9	149.3	172.8	232.0	205.9
	1.5	177.0	98.7	145.2	146.7	136.0	189.3
	2.0	133.3	59.4	146.2	83.2	156.8	177.4
	일반	283.0	283.0	283.0	283.0	283.0	283.0
	270	206.0	219.5	204.5	244.5	281.5	240.0
270	0.5	206.0	219.5	204.5	244.5	281.5	240.0
	1.0	198.0	149.5	181.5	200.0	277.0	293.5
	1.5	206.7	124.5	130.5	132.5	151.5	210.5
	2.0	119.0	74.5	135.5	81.5	202.0	216.5
	일반	283.0	283.0	283.0	283.0	283.0	283.0

혼입 일반콘크리트의 경우 220kg/cm<sup>2</sup>일때 0.5% 혼입시 156.5kg/cm<sup>2</sup>인데, 64kg/cm<sup>2</sup>감소, 1.0%혼입시 126kg/cm<sup>2</sup>, 1.5%혼입시 112kg/cm<sup>2</sup>로 나타났다.

일반 콘크리트 강도 252.4kg/cm<sup>2</sup>일때 1.2mm입자 배합시 0.5%혼입량에 169.3kg/cm<sup>2</sup>로, 83kg/cm<sup>2</sup>의 감소가 되었고, 1.0%혼입량에 165.9kg/cm<sup>2</sup>를 나타내었다.

일반콘크리트강도 283kg/cm<sup>2</sup>일때, 1.2mm입자 사용시는 0.5%혼입시에는 219.5kg/cm<sup>2</sup>로 64kg/cm<sup>2</sup>감소를 보였고, 1.0%혼입시 149.5kg/cm<sup>2</sup>를 1.5%혼입시 124.5kg/cm<sup>2</sup>를 나타내었다.

#### 3.2. 인장강도

1.2mm입자 혼입시에 180kg/cm<sup>2</sup>배합강도시 일반 콘크리트(혼입없는) 23kg/cm<sup>2</sup>, 배합강도 210 kg/cm<sup>2</sup>일때 24.5kg/cm<sup>2</sup>, 배합강도 240kg/cm<sup>2</sup>에서 28kg/cm<sup>2</sup>, 270kg/cm<sup>2</sup>배합강도일때 35kg/cm<sup>2</sup>를 타나냈다.

#### 3.3. 휨강도

1.2mm입자일때, 배합강도 180kg/cm<sup>2</sup>에 대해 휨강도 29.2kg/cm<sup>2</sup>, 270kg/cm<sup>2</sup>에 대해 25.3kg/cm<sup>2</sup>을 나타내어 압축강도의 큰 차이에도 불구하고 휨강도에서는 그 차이가 크지 않다<sup>7,8)</sup>.

#### 3.4. RC 부재의 휨내력<sup>9-11)</sup>

휨강도는 페타이어 입자 중 아스팔트 도로포장에 쓰이고 있는 10mm입자를 호칭강도 180kg/cm<sup>2</sup>의 배합에 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% 혼입하였으며, 결과는 [Table 4]와 같다.

Table 3. Split tensile Strength of 180,270 Rubber Concrete

호칭 강도	페타이어크기 배합률	페타이어크기					Steel
		0.6	1.2	2.0	6.0	10.0	
180	0.0	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2
	0.5	33.8	36.5	33.0	33.3	38.5	29.2
	1.0	29.5	30.2	28.8	32.3	35.4	40.3
	1.5	29.5	29.2	27.4	30.2	29.8	34.7
	2.0	29.5	29.2	20.8	24.30	29.5	30.9
	일반	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
270	0.5	34.3	44.0	37.9	39.0	33.9	43.3
	1.0	31.8	30.1	38.8	37.5	42.6	45.1
	1.5	31.6	29.8	30.0	35.0	28.9	37.0
	2.0	28.9	25.3	28.9	24.2	32.5	34.6
	일반	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0

# 손기상

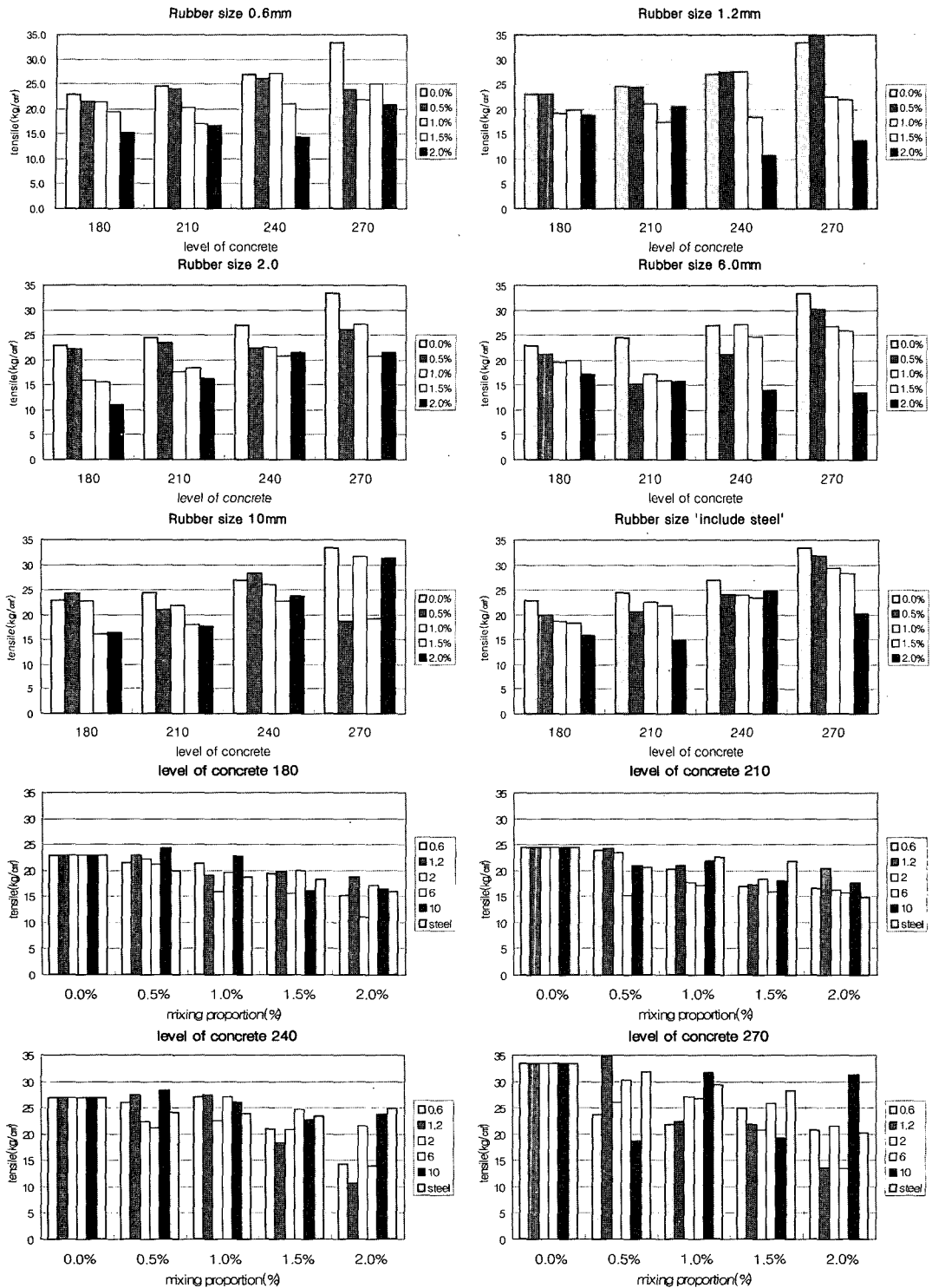


Fig. 5. Splitting tensile strength varying with waste-tire mix proportion

Table 4. Flexural Strength of 180 Rubber RC

content \ ratio	Plain	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%
Max Load(tonf)	8.91	11.88	10.68	11.25	9.06
Gauge x(ε)	-43	180	-158	49	279
Gauge y(ε)	43	33	-84	-107	-60
F(kg/cm <sup>2</sup> )	74.25	99	89	93.75	75.5

x = longitudinal axis(여기서는 horizontal)

y = vertical axis

F = flexural strength -  $f_b = Pl/bh^2$  (KS 규정에 제시된 공식)

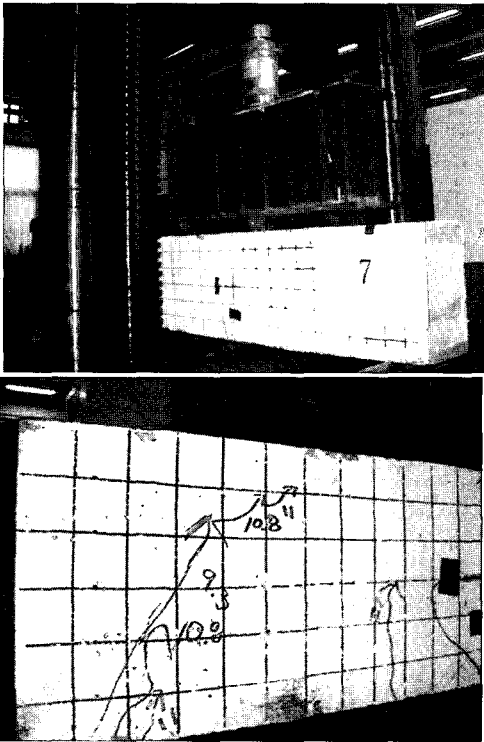


Fig. 6. Flexural Strength of 180 Rubber RC

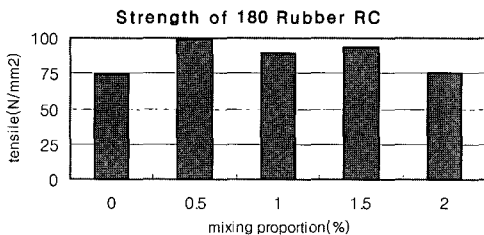


Fig. 7. Flexural Strength of 180 Rubber RC factor

$$f_b = Pl/bh^2$$

$f_b$  : 휨강도(MPa)(= N/mm<sup>2</sup>)

P : 시험기가 나타내는 최대하중(N)

l : 지간(mm)

b : 파괴 단면의 너비(mm)

h : 파괴단면의 높이(mm)

#### 4. 분석

1) 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 페타이어의 혼입량이 높아질수록 최대 3cm 감소하여 작업성에 영향을 줄 수 있는 것으로 사료된다.

2) 배합강도 270에 10mm입자를 0.5%, 1.0% 혼입한 콘크리트의 압축강도는 다른 입자가 혼입된 경우 보통(normal)에 비해 최대 27%감소한 반면, 다른 입자는 1~1.5%의 강도가 저하하여 상대적으로 낮은 강도 감소율을 나타내었다.

3) 배합강도 180, 270에서 1.2mm입자를 0.5% 혼입한 경우 쪼갬인장강도가 기준강도에 비해 약 1% 높게 측정되었다.

4) 휨강도에서는 steel을 제외한 나머지 5가지 입자를 0.5% 혼입한 경우 최소 1%에서 최대 2.3%까지 휨강도 값이 증가하였다.

5) 혼입량이 증가할수록 타이어 파쇄입자와의 접촉면에서 미세한 공극이 형성되어 강도저하의 요인이 되는 것으로 사료된다.

6) RC 부재에서 페타이어 입자 0.5%~1.5% 혼입량까지 휨강도 값이 20%~34%까지 증가하였다.

7) 10mm입자의 경우 270kg/cm<sup>2</sup>에 0.5%, 1.0% 혼합시 강도 감소가 2.4에 불과 하지만 180kg/cm<sup>2</sup>에서는 역시 10mm입자의 경우 0.5% 혼입때 23kg/cm<sup>2</sup>감소 1.0%혼입때 9kg/cm<sup>2</sup>감소를 보이고 있다. 배합강도가 증가할수록 골재의 혼입이 낮아지고, 시멘트의 양이 증가하여 압축강도가 증진되는데, 타이어 입자가 고강도에 혼입될수록 강도 감소율이 저강도 콘크리트에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

8) 전체적으로 10mm입자가 0.5~1.0% 혼입된 경우 다른 입자에 비해 압축강도, 인장강도, 휨강도가 높게 나타나는 것으로 평가된다.

9) 인장강도는 10mm입자의 경우 180kg/cm<sup>2</sup>과 270kg/cm<sup>2</sup>에서 10kg/cm<sup>2</sup>씩 유사한 폭으로 감소되는 것을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 페타이어의 효율적인 처리와 재활용의 환경보존이라는 차원에서 페타이어를 레미콘에 혼입하여 건설자재로서 재활용하기 위한 시험을 수행하였으며, 제품의 실용화를 하기 위한 기

초자료를 얻고자 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 인장강도는 10mm입자의 경우  $180\text{kg/cm}^2$ 과  $270\text{kg/cm}^2$ 사이의 감소폭은 유사하며 강도 변동이 없어서 페타이어 입자는 압축력보다 인장력을 받는 보 부재에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.
- 2)  $270\text{kg/cm}^2$ 압축강도에서 공극이 감소되어  $180\text{kg/cm}^2$ 에서 보다 압축 강도감소율이 현격히 줄어 내구성 증진에 기여 할 수 있다.
- 3) 10mm입자를 0.5~1.0%혼입할 경우 휨강도가 크게 30%정도 증가 하므로 구조물에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 압축보다는 휨을 받는 곳에 실무적용이 가능할 것으로 사료되며, 무근 콘크리트 보다 RC콘크리트 부재에 더 효과적으로 판단된다.

보 또는 기둥 구조물에 대한 보다 심층적인 실험이 수행되어 구조부재해석이 이루어지는 연구가 진행되어야겠다.

### 참고문헌

- 1) 김상국, “페타이어 고무 분말의 재활용 확대방안 조사연구”, 한국에너지 기술연구소, pp. 50~100, 1998.4.
- 2) 김오신, “시멘트 공업의 페타이어 활용방안”, 대한타이어협회, pp. 31~41, 2004.
- 3) Guoqiang Li, Michael A. Stubblefield, Gregory Garrick, John Eggers, Christopher Abadie, Baoshan Huang “Development of wasted tire modified concrete”, Cement and Concrete Research, p. 10, 2004.
- 4) 박금준, “2001년 페타이어 회수 및 처리 현황 및 2002년 전망”, 타이어 1호, pp. 33~39, 2002.
- 5) Frank, M. Rich, “Use of Tire Rubber in Asphalt Pavements in Sweden”, Report of Borlange, Sweden, pp. 30, 1993.
- 6) 김영찬, “페타이어 미분말을 이용한 경량콘크리트의 개발에 관한 연구”, 순천대학교 석사학위논문, pp. 3~6, 2001.
- 7) 서치호, 경량 콘크리트의 성질에 관한 실험적 연구 한양대학교 대학원 석사학위논문, p. 29~31, 1985.
- 8) British Standard Institution, “The Structural use of Concrete Design”, Magazine of Concrete Research, Vol. 8, No. 23, pp. 84, 1956.
- 9) Wright, P.J.F., “Crushing and Flexural Strengths of Concrete made with Limestone Aggrate”, Road Res.Lab, pp. 25, 1958.
- 10) Shack, B.W. and Keene, P.W., “Comparison of the Compressive and Flexural Strengths of concrete with and without Entrained Air”, Civil Engineering, pp. 77~80, 1959.
- 11) Frankin, R.E. and King J.M.J., “Relations between Compressive and Indirect-tensile Strengths of Concrete”, Road Res.Lab.Rep.LR 412, pp. 32, 1971.