

Rubber Concrete를 사용한 고강도 철도침목의 실용화 연구

A Study on the Development of High Strength Railroad Block Using Wasted Tire Chips

손종규*	임유목**	정환욱**
Shon, Jong Kyu	Im, Yoo Muk	Jung, Hwan Wook
문장수***	정상진****	최문식*****
Moon, Jang Soo	Jung, Sang Jin	Choi, Mun Shik

Abstract

Accumulations of worn-out automobile tires creat fire and health hazards. As a possible solution to the problem of scrap-tire disposal, an experimental study was conducted to examine the potential of using tire chips as aggregate in Railroad block. This paper examines strength and toughness properties of Railroad block in which different amounts of rubber-tire particles of several sizes were used as aggregate. The Railroad block mixtures exhibited lower compressive, bending than did normal block. However, these mixtures did not demonstrate brittle failure, but rather a ductile, plastic failure, and had the ability to absorb a large amount of plastic energy under compressive loads.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 환경문제에 대한 일반인의 관심고조와 함께 환경공해 문제로 대두되고 있는 것이 폐타이어를 중심으로한 고무제품의 폐기물에 관한 사항으로, 이는 고무제품의 수요중 타이어가 차지하는 수요가 가장 많고 고무제품에 의한 수명에 있어서도 타이어가 가장 짧은 실정에서 급격한 양적 증가 추세를

-
- * 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정
 - ** 정회원, 금호건설 기술연구소
 - *** 정회원, 금호기술연구소 부장, 공학박사
 - **** 정회원, 단국대 건축과 교수, 공학박사

나타내고 있기 때문으로 파악되고 있다.

특히, 우리 나라에서의 페타이어는 군부대의 진지사용으로 주로 처리 되었으나 앞으로 수요가 급속히 줄어들 것으로 예상되어 페타이어 처리분제가 시급하게 되었다. 페타이어 처리방법은 매립, 소각과 재활용으로 구분된다. 매립에 의한 처리방법은 매립지 부족, 환경오염 및 지역주민의 기피 등으로 매립지 확보에 한계가 있을 뿐만아니라 토양의 균열과 침해의 원인이 된다.

이에 환경공해의 심각한 폐기물중의 하나인 막대한 양의 페타이어를 건설재료로 활용함으로써 자원의 절약과 재활용을 극대화시킬 수 있는 방안에 대한 연구개발이 현시점에서 시급한 실정이다.

따라서 본 실험은 기존의 Rubber Mortar 및 Concrete에 관한 실험 결과를 바탕으로 페타이어 분말을 혼입한 고강도 Concrete 침목을 개발하는데 주 목적이 있다.

특히, 이를 위한 방안으로 페타이어의 첨가량, 배합비, 입자직경에 따른 역학적인 특성을 일반철도 침목과 비교, 분석하여 Rubber Concrete 침목의 개발 가능성에 대한 기초적 자료를 제공하고 연구 수행 결과에 따른 실용화에 가장 효율적인 배합비를 고찰하였다.

2. 실 험

2.1. 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 KSL 5201에 규정된 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 불은 유해한 기름, 산, 알칼리, 염류 등을 함유하지 않은 상수도수를, 혼화제는 D기업의 고성능 유통화제를 사용하였다.

세골재는 남한강 중류산으로 최대크기를 5mm 입도로 조정하였으며, 페타이어는 2.5~3.5mm, 0.2~0.3mm의 2수준을, 조골재는 충북 앙성면산으로 최대크기를 25mm입도로 조정하였다.

이상과 같은 각재료의 특성이 다음 표 2-1~2-4에 나타나 있다.

표 2-1 시멘트의 화학적 성분

성분	ig-loss	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Al ₂ O ₃
구성비율 (%)	1.0	21.1	2.9	62.5	3.3	2.2	6.5

표 2-2 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정성	응결시간		압축강도(kg/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	2,900	양호	4h	6h	198	272	389

표 2-3 세골재 및 조골재의 물리적 성질

	최대치수 (mm)	표준비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	실적율 (%)	조립율 (F.M)
세골재	5.0	2.55	1.02	1,590	61.2	2.87
조골재	25	2.64	0.97	1,608	61.2	6.59

표 2-4 페타이어 분말의 화학적 특성

비중	강열감량	유기물(%)	Polymer	C/B량 (%)	ASH (%)
1.16	0.76	9.73	54.1	30.57	5.47

2.2 배합계획

PC철도침목제작에 사용된 페타이어 분말을 혼입한 Rubber Concrete 철도침목의 배합은 압축강도 500kg/cm², 슬럼프 18cm를 목표로하여 세골재비 36%, 물시멘트비를 26%로 고정하였다. 페타이어

분말의 첨가율은 단위용적에 대하여 0%, 2.5%, 5%, 7.5%의 4수준으로 하였고, 페타이어 분말의 크기는 2.5~3.5mm, 0.2~0.3mm의 2수준으로 변화시켜 배합하였다. 본 실험에서 사용한 배합은 표 2-5에 나타내고 있다.

표 2-5 실험 배합표

구 분	S/C (%)	W/C (%)	혼입률 (%)	단위용적중량(kg/m ³)					
				물	시멘트	세골재	조골재	혼화제	페타이어
입자크기 (2.5~ 3.5mm)	43	26	0	147	567	728	986	12.5	0
			2.5	147	567	710	962	12.5	18.9
			5	147	567	691	937	12.5	37.9
			7.5	147	567	673	912	12.5	56.8
#60 (0.2~0.3mm)			2.5	147	567	710	962	12.5	18.9
			5	147	567	691	937	12.5	37.9

2.3 시험체 제작 방법

본 실험에서 사용한 철도침목몰드(크기는 너비 28.5cm, 높이 17cm, 길이 240cm)에 14가닥의 PC강선을 길이 방향으로 인장시켜 배근하여 두고, 자동배치에서 비빈 콘크리트를 부어넣고 바이브레타로 충분히 다짐을 하였다.

이후 콘크리트 시험체의 표면을 마무리하고 비닐천막을 덮은 상태에서 16시간 동안 증기양생을 하였다. 증기양생 종료후 PC강선을 절단하여 콘크리트에 응력을 도입시키고 몰드를 탈형하여 소정의 재령일까지 살수 양생하였다. 본 실험에서 제작한 시험체는 각각의 배합조건에 따라 재령 7, 28일에 측정할 수 있도록 총 24개의 시험부재를 제작하였다.

철도침목 실험체의 제작시에 동일 배합조건의 콘크리트를 사용하여 $\phi 10 \times 20$ cm 크기의 압축강도 측정용 공시체를 제작하였다. 이후 전술한바와 마찬가지로 증기양생을 실시하고 소정의 시험일까지 살수하여 양생하였다.

2.4 실험방법

배합표에 따라 비빔한 직후의 콘크리트에서는 KS F 2402, 2409에 의거하여 슬럼프 시험과 공기량 측정을 실시하였으며, $\phi 10$ cm \times 20cm공시체를 제작하여 증기양생한 후에 탈형하여 소정의 시험일까지 수중 양생하였으며 공시체의 압축강도 실험은 KS F 2405에 의거하여 실시하였고, 측정에는 용량 100ton의 유압식 만능시험기를 사용하였다.

또한, 소정의 재령일까지 살수 양생한 철도침목 시험체는 KSF 2407에 의거한 중앙점 재하방법을 채택하여 철도침목의 중앙부와 레일 직하부 단면에서 실시하였다. 휘하중은 천천히 하중을 가해 철도침목의 최하단부에서 균열이 발생한 시점에서의 하중을 채택하였다. 또한 처짐은 중앙하단부에 Dial gauge를 설치하여 측정하였다.

3. 결과분석

3.1 굳지않은 콘크리트

굳지않은 콘크리트의 slump, 공기량을 표 3-1에 나타낸다.

표에서 알 수 있는 바와같이 페타이어를 0% 혼입하여 만든 무근 콘크리트의 슬럼프값이 19.5cm를 나타내고 있다.

이에비하여 유동화제를 첨가하여 제조한 콘크리트의 슬럼프값은 페타이어의 혼입율이 증가할 수록 slump값이 약간씩 작아지는 경향을 보여주고 있으며 페타이어의 혼입률 7.5%의 경우는 11.5cm를 나타내고 있다.

동일한 혼입률에서 페타이어의 입자크기가 작을수록 슬럼프값이 작아지고 있는데, 이는 비표면적이 증가함에 따른 것으로 추정된다.

그리고 공기량은 혼입율에 관계없이 거의 2% 내외의 값을 나타내고 있음을 표에서 알 수가 있다.

표 3-1 굳지않은 콘크리트의 슬럼프값 및 공기량 측정결과

혼입률	R00	R2.5	R5.0	R7.5
시험체명				
M25-W26-S43	19.5	18	13	11.5
	2.4	1.8	1.9	2.0
M60-W26-S43	-	15	11.5	-

* 단 $\frac{\text{slump(cm)}}{\text{air(\%)}}$ 를 나타냄

표 3-2 압축강도 결과

(단위 : kg/cm²)

시험체명	재령	1일	7일	28일
M25-W26-S43-R00		439	542	586
M25-W26-S43-R2.5		370	400	470
M25-W26-S43-R05		328	360	383
M25-W26-S43-R7.5		290	321	355
M60-W26-S43-R2.5		360	385	452
M60-W26-S43-R05		310	345	370

3.2 경화콘크리트 성질

(1) 압축강도

철도침목의 제작과 동일한 배합조건으로 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 콘크리트 공시체를 제조하여 증기양생한 후에 소정의 재령일에 압축강도를 측정 한 결과를 표 3-2에 나타내고 있다.

표에 의하면 재령 28일 압축강도에서 페타이어의 혼입률 0%의 경우는 586kg/cm², 혼입률 2.5%, 5%, 7.5%는 각각 470kg/cm², 383kg/cm², 355kg/cm²을 나타내고 있다.

재령과 압축강도의 결과를 그림3-1에 나타내었는데 그림에서 보는 바와같이 재령이 경과함에 따라 압축강도가 증가하고 있다. 재령 1일의 압축강도는 재령 28일의 압축강도에 비하여 75-85%의 높은 강도발현을 보이고 있다. 이러한 경향은 페타이어의 혼입률이 많을수록 높은 압축강도의 발현을 나타내고있다. 재령 1일에서 높은 강도의 발현을 나타내는 것은 증기양생에 의해 수화가 촉진된 것으로 사료된다.

혼입률과 압축강도의 관계를 그림 3-2에 나타내었는데 그림에 의하면 페타이어의 혼입률이 증가할 수록 낮은 압축강도를 나타내고 있으며 혼입률 2.5% 증가시마다 평균 16%의 강도저하가 나타나는 것을 알 수 있다.

입자크기와 압축강도와의 관계를 그림 3-3에 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와같이 재령에 관계 없이 입자가 큰 2.5~3.5mm를 사용하면 0.2~0.3mm입자를 사용한 것 보다 압축강도가 3~5%정도 크게 나타낸다. 이러한 현상은 콘크리트 내부에 시멘트 페이스트 강도보다 낮은 페타이어가 다량 혼입됨에 따른 몰탈내부 공극의 증가에 기인한 것으로 사료된다.

이상의 실험결과에 의하면, 페타이어 혼입율 2.5%의 경우가 대체적으로 높은 강도 발현을 나타내고 있으며, 철도청 허용기준인 압축강도 450kg/cm² 이상을 만족하고 있음을 지적할 수 있다.

(2) 휨하중 및 처짐

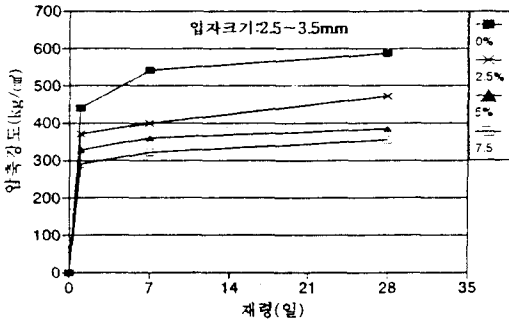


그림 3-1 재령과 압축강도와의 관계①

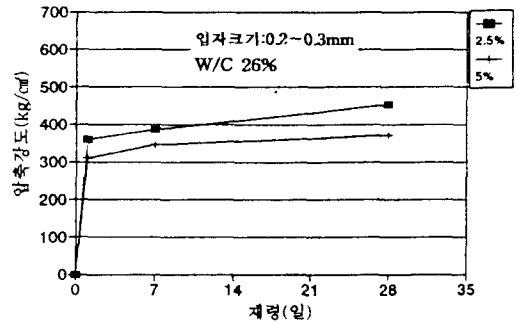


그림 3-1 재령과 압축강도와의 관계②

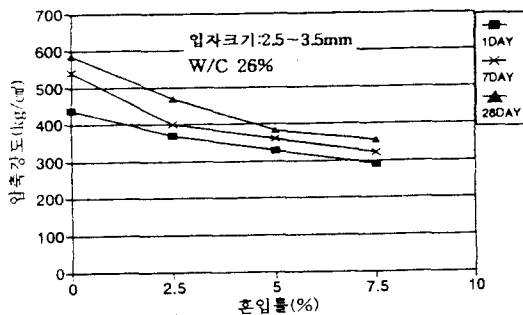


그림 3-2 혼입률과 압축강도와의 관계

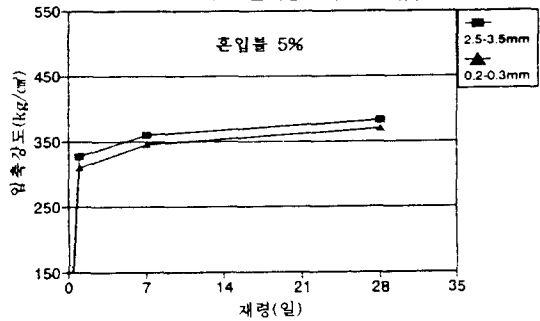


그림 3-3 입자크기와 압축강도와의 관계

철도침목 시험체의 휨하중 시험은 중앙점 재하방법으로 중앙부와 레일 직하단부에서 실시하였으며, 적정하중을 가해 철도침목의 최하단부에서 균열이 발생한 시점에서의 하중을 채택하였다. 휨하중 시험결과를 표3-3에 나타내고 있다.

표에의하면 휨하중은 혼입율이 많을수록 약간씩 낮아져 전술한 압축강도와 유사한 경향을 나타내고 있다. 레일 직하부에서 실시한 28일 휨하중은 혼입율 2.5%의 경우는 25.5~26t를 나타내고 있는데 비하여 혼입율 7.5%의 경우는 22.5~23.5t를 표시하고 있다.

페타이어의 혼입율과 휨하중의 관계는 그림3-4에 표시하였다. 혼입율이 증가할 수록 휨하중이 약간씩 저하하는 경향을 나타내고 있다.

또한, 시험체의 중앙부에서 실시한 경우에 휨하중은 혼입율이 증가할 수록 약간 저하하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 레일직하부나 중앙부에서 실시한 휨하중은 페타이어의 첨가량에 관계없이 철도청 관련규격의 레일 직하부의 휨하중 14.3ton, 중앙부의 휨하중4.1ton에 비하면 훨씬 높은값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

페타이어의 입자크기와 휨하중과의 관계는 그림 3-5에 표시하였다. 그림에 의하면 입자크기 2.5~

표 3-3 철도침목 시험체의 휨하중 시험 결과

(단위 : t)

구 분 SERIES	레일 직하부(기준 : 14.3t)				중 앙 부(기준 : 4.1t)	
	좌 측 부		우 측 부			
	7일	28일	7일	28일	7일	28일
M25-W26-S43-R00	24.5	26.5	24	27	7.5	8.1
M25-W26-S43-R2.5	23.5	25.5	23	26	6.9	7.8
M25-W26-S43-R05	22	24	22.3	24.5	6.5	7.2
M25-W26-S43-R7.5	21	23.5	21.5	22.5	5.8	6.5
M60-W26-S43-R2.5	23.3	24.9	23	25.4	6.5	7.4
M60-W26-S43-R05	21	23.5	21.8	23.7	6.3	6.8

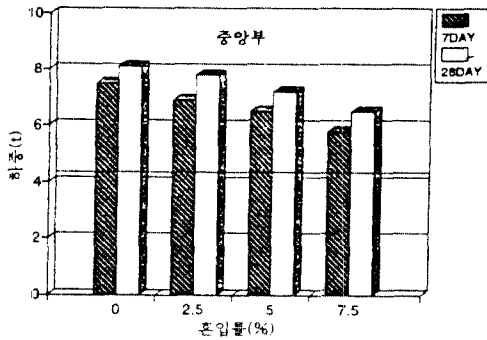


그림 3-4 혼입률과 휨하중과의 관계
(입자크기 2.5~3.5mm)

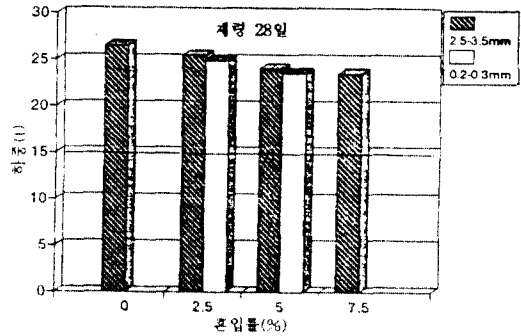


그림 3-5 입자크기와 휨하중과의 관계①(좌측부)

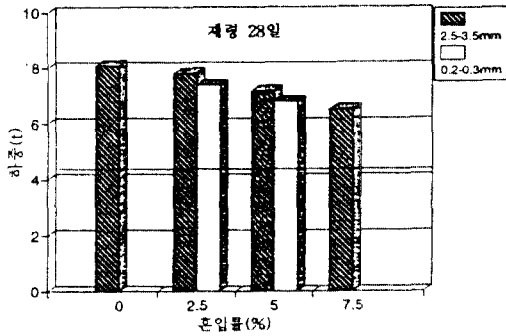


그림 3-5 입자크기와 휨하중과의 관계②(중앙부)

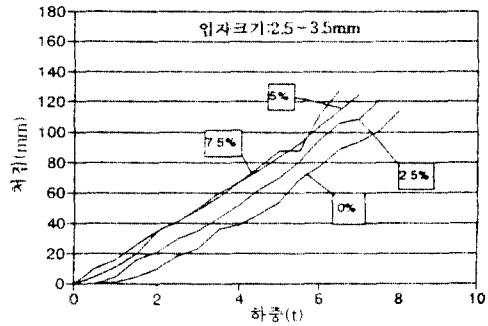


그림 3-6 휨하중과 처짐의 관계①

3.5mm를 사용한 경우가 입자크기 0.2~0.3mm 사용한 경우보다 휨하중이 약간 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 일부분의 휨하중 시험시에 시험체의 처짐을 측정하여 그림 3-6에 나타냈다. 그림에 의하면, 페타이어의 혼입률이 증가할 수록 처짐량이 증가함을 알 수 있다. 페타이어를 혼입한 콘크리트가 Plain 콘크리트에 비하여 동일 응력하에서 최고 0.22mm 정도의 처짐이 더 크게 생기고 있다. 이와같은 현상은 페타이어 자체의 변형에 기인한 때문으로 사료된다.

4. 결 론

페타이어 분말을 혼입한 콘크리트를 고강도화하여 철도침목으로서 사용가능성을 검토하기 위해, 실물크기 철도침목 시험체를 제작하여 휨하중, 처짐을 측정하고 원주형 공시체의 압축강도를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 페타이어의 첨가량이 증가 할수록 Slump값이 약간 저하하는 경향을 나타내고 있으며, 공기량은 2.0% 내외를 표시하고 있다.
- (2) 페타이어의 혼입량 2.5%의 28일 압축강도는 452-470kg/cm²정도의 범위로서 콘크리트 도상용의 28일 압축강도 450kg/cm² 보다 높게 나타나고 있다.
- (3) 페타이어 혼입률이 증가할 수록 압축강도가 낮게 나타나고 있으며, 페타이어의 입자크기가 작을 수록 압축강도가 작아지고 있다.
- (4) 휨하중은 재하부위나 혼입률에 상관없이 철도청의 관련규격인 레일 직하단부의 휨하중 14.3ton, 중앙부의 휨하중 4.1ton보다 훨씬 높게 나타나고 있다.
- (5) 페타이어를 혼입한 콘크리트가 Plain콘크리트 보다 동일 응력하에서는 최대 0.22mm정도의 처짐이 더 생겨 탄력성 등이 양호함을 보여주고 있다.

이상의 결론을 요약하면 W/C비 26%로서 페타이어를 2.5% 혼입하여 만든 콘크리트로서 콘크리트 도상용 철도침목을 대체하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

● 참고문헌 ●

1. MT. ST. Helens Project, James R. Lundy Evaluation of Rubber-Modified Asphalt Performance
2. Paul Tarricone, "Recycled Roeds" Civil Engineering, April, p46-47, 1993.
3. 김영진-도로포장용 재료로서 페타이어를 활용한 연구, 1994
4. 안태홍-페타이어 재활용 동향, 월간신기술, 한국산업기술정보원, 제6권 제6호 p33,1992
5. Neil N. Eldin And Ahmed B. Senouci, "Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregate" Journal of Materials in Civil Engineering, Vol5, No.4