

# Rubber Mortar의 강도성상에 관한 실험적 연구

(An Experimental Study on the Strength Development of Rubber Mortar)

손종규\* 김재욱\*\* 임유목\*\* 정환욱\*\* 문장수\*\*\* 정상진\*\*\*\*  
Shon, Jong Kyu Kim, Jae Uk Im, Yoo Muk Jung, Hwan Uk Moon, Jang Soo Jung, Sang Jin

## ABSTRACT

Accumulations of worn-out automobile tires create 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 rubber mortar. This paper examines strength and toughness properties of rubber mortar in which different amounts of rubber-tire particles of several sizes were used as aggregate. The rubber mortar mixtures exhibited lower compressive, bending, tensile than did normal mortar. 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. 서론

최근 세계적으로 자동차 산업이 급속히 발전하면서 폐타이어 발생량이 급증하여 이에 대한 처리가 새로운 문제점으로 부각되고 있다. 즉, 폐타이어를 그대로 방치할 경우 주변경관의 손상, 모기 등 해충의 서식처 제공, 화재발생에 의한 공기오염 등의 환경문제와 아울러 우리나라처럼 국토가 좁은 여건에서는 야적장 부지확보의 어려움 등 여러가지 문제가 뒤따르고 있다.

그래서 환경문제 해결과 경제성 제고 측면에서 폐타이어의 재활용율을 높이기 위한 다양한 기술개발 및 연구가 필요하다.

폐타이어를 재활용하는 방법에는 여러가지가 있지만 현재 각국에서는 폐타이어를 건설재료로 활용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

특히, 1970년대 초부터 페타이어 가루와 아스팔트를 혼합한 포장공법이 스웨덴, 미국의 寒地 도로에 주로 사용되었고,<sup>1)</sup> 1990년 미국 위스콘신주 Madison시 Dane Country 매립장 부근에서 모래지반에 시험용 제방을 축조한 연구<sup>2)</sup>를 실시하였다.

국내에서도 한국건설기술연구원에서 도로포장용 등의 연구<sup>3)</sup>가 진행되고 있긴 하지만 현재까지는 초보단계로서 심도있고 폭넓은 연구가 요망된다.

따라서, 본 실험은 Rubber chip(폐타이어 분말)을 첨가한 Rubber Mortar의 개발에 관한 연구 일환으로, 이의 특성을 실험적으로 밝히고자한 것으로서 폐타이어의 첨가량, 배합비, W/C비 및 입자직경에 따른 역학적인 특성을 일반 Mortar와 비교, 분석하여 Rubber Concrete의 개발가능성에 대한 기초적 자료를 제공하고, 이의 결과에 따른 현장시공에 가장 효율적인 배합비를 고찰하는데 본 실험의 주목적이 있다.

\* 정회원 : 단국대학교 대학원 석사과정

\*\* 정회원 : 금호건설 기술연구소

\*\*\* 정회원 : 금호기술연구소 부장, 공학박사

\*\*\*\* 정회원 : 단국대 건축과 교수, 공학박사

## 2. 실험

### 2.1 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 모래는 미사리산 모래로 최대크기를 5mm입도로 조정하였으며, 물은 상수도수를 사용하였다.

또한, 본 실험에 사용한 페타이어 분말의 화학적 특성은 표 2.1에 나타낸 바와 같다.

표 2.1 페타이어 분말의 화학적 특성

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

### 2.2 배합

페타이어 분말을 혼입한 Rubber Mortar의 배합은 시멘트-세골재비(S/C)를 200%, 300%로 하였으며, 물-시멘트비(W/C)를 40%, 50%로 하였다. 또한, 페타이어의 첨가율은 단위용적중량에 대하여 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 50%로 첨가하였으며, 페타이어 분말의 크기를 #60 (0.2~0.3mm), #10 (1.5~2.5mm)로 변화시켜 배합하였다. Rubber Mortar의 배합표를 표 2.2에 나타내었다.

### 2.3 실험방법

소정의 실험 재령일까지 수중양생한 공시체의 압축강도 및 휨강도, 인장강도의 실험방법은 JIS(일본공업규격)의 규정에 의거하여 실시하였으며, 강도 측정 실험에 사용한 시험기는 만능시험기( U.T.M. INSTRON8501)를 사용하였다.

휨강도 측정은 공시체를 수중에서 꺼낸 후 지점간의 거리를 100mm로 하여 공시체의 중앙에 재하하였으며, 압축강도의 측정은 휨강도 측정 후에 파단된 공시체의 절편을 사용하여 가압하였다.

인장강도의 측정은 소정의 재령일까지 수중양생한 공시체를 에폭시수지와 아마드아민을

주성분으로 하는 Araldite 접착제를 사용하여 공시체를 4×4×4cm의 강판에 접착하여 순인장강도를 측정하였다.

압축강도, 휨강도, 인장강도의 측정시 재하속도는 5mm/h의 속도로 하였다.

표 2.2 Rubber Mortar의 배합표

Series	Rubber Mesh & Size (mm)	W/C (%)	S/C (%)	Rubber Content (%)	Proportion by Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )			
					Cement	Sand	Water	Rubber
M0-W4-S2-00	# 60 (0.2~0.3)	40	200	0	658	1,316	263	0
M0-W4-S2-05				5	625	1,250	250	58
M0-W4-S2-10				10	592	1,184	237	116
M0-W4-S2-15				15	559	1,118	224	174
M0-W4-S2-20				20	526	1,052	210	232
M0-W4-S2-25				25	492	984	197	290
M0-W4-S2-50	50	326	652	130	580			
M0-W4-S3-00	# 60 (0.2~0.3)	40	300	0	552	1,566	209	0
M0-W4-S3-05				5	495	1,485	198	58
M0-W4-S3-10				10	469	1,407	188	116
M0-W4-S3-15				15	443	1,329	177	174
M0-W4-S3-20				20	416	1,284	166	232
M0-W4-S3-25				25	390	1,170	157	290
M0-W4-S3-50	50	326	652	130	580			
M0-W5-S2-00	# 60 (0.2~0.3)	50	200	0	617	1,234	309	0
M0-W5-S2-05				5	586	1,172	293	58
M0-W5-S2-10				10	55	1,110	278	116
M0-W5-S2-15				15	524	1,048	262	174
M0-W5-S2-20				20	492	984	246	232
M0-W5-S2-25				25	461	922	231	290
M0-W5-S2-50	50	306	612	153	580			
M10-W4-S2-00	# 10 (1.5~2.5)	40	200	0	658	1,316	263	0
M10-W4-S2-05				5	625	1,250	250	58
M10-W4-S2-10				10	592	1,184	237	116
M10-W4-S2-15				15	559	1,118	224	174
M10-W4-S2-20				20	526	1,052	210	232
M10-W4-S2-25				25	492	984	197	290
M10-W4-S2-50	50	326	652	130	580			

## 3. 실험결과 및 검토

### 3.1 굳지 않은 모르터의 성질

굳지 않은 Rubber 모르터의 flow값을 표 3.1에 나타낸다.

표 3.1 굳지 않은 Rubber 모르터의 flow시험 결과 (단위 : cm)

혼입률 SERIES	R00	R05	R10	R15	R20	R25	R50
M0-W4-S2	16.6	14.1	11.4	-	-	-	-
M0-W5-S2	20.0	17.0	13.5	12.0	-	-	-
M0-W4-S3	12.0	11.0	10.2	-	-	-	-
M10-W4-S2	13.2	12.3	11.4	10.68	10.5	-	-

표에 나타난 바와 같이, 어떠한 배합에서든지 Rubber chip의 첨가량이 증가함에 따라 flow 값이 감소함을 볼 수 있다. 또한 Rubber chip의 혼입률이 15~20% 이상에서는 Rubber chip에 의한 배합수의 흡착이 많아지는 원인으로 시험이 불가능 하였다.

우선 W/C비의 영향을 살펴보면, W/C비 50%인 모르타가 W/C비 40%인 모르타보다 2~7cm정도 flow 값이 크게 나타나고 있는데 이는 W/C비가 높음에 따라 나타나는 당연한 결과라고 할 수 있다.

S/C비의 영향에 있어서는 S/C 200%인 모르타가 S/C 300%인 모르타보다 약 1~4cm정도 크게 나타나고 있다.

특히, Rubber chip의 크기에 의한 영향에 있어서는 #10의 모르타가 #60인 모르타보다 2~3cm정도 크게 나타났다. 이러한 현상은 Rubber chip의 입자가 작을수록 표면적이 증가함에 따라 배합수의 흡착이 많아짐에 기인한 때문으로 사료된다.

### 3.2. 경화 모르타의 성질

#### 3.2.1 압축강도

모르타 공시체에 대한 압축강도의 시험결과를 표 3.2에 나타내고 있다. 표에 의하면 Rubber chip 10% 혼입량의 재령 28일 압축강도는 M10-W4-S2 모르타가 290kg/cm<sup>2</sup>, M60-W5-S2 모르타가 196kg/cm<sup>2</sup>, M60-W4-S3 모르타가 172kg/cm<sup>2</sup>을 나타냈다.

그리고 Rubber chip 50% 혼입량의 모르타는 압축강도가 거의 0 kg/cm<sup>2</sup>에 가까운 수치를 보여 주었다. 재령과 압축강도의 관계를 그림 3.1에 나타내었다.

그림 3.1에 의하면 재령이 경과함에 따라 압축강도가 증가하고 재령에 의한 압축강도의 증가는 Rubber chip 혼입률 10%까지가 큰편이며, 혼입률이 증가할 수록 재령에 따른 압축강도의 증가가 완만함을 보이고 있다. 이와같은 경향은 W/C비, S/C비, Rubber chip의 입자크기에 관계없이 거의 동일한 경향을 보여

표 3.2 압축강도 시험결과

(단위 : kg/cm<sup>2</sup>)

구분 SERIES	재 령		
	7일	14일	28일
M60-W4-S2-R00	365 (100)	414 (100)	519 (100)
M60-W4-S2-R05	235 (64)	299 (72)	375 (72)
M60-W4-S2-R10	199 (65)	222 (54)	252 (49)
M60-W4-S2-R15	128 (35)	153 (37)	185 (36)
M60-W4-S2-R20	88 (24)	92 (22)	103 (20)
M60-W4-S2-R25	45 (7)	60 (7)	65 (6)
M60-W4-S2-R50	2 (0.5)	2.9 (0.7)	3.5 (0.7)
M60-W5-S2-R00	267 (100)	365 (100)	429 (100)
M60-W5-S2-R05	181 (68)	235 (70)	308 (72)
M60-W5-S2-R10	110 (41)	183 (50)	196 (46)
M60-W5-S2-R15	98 (37)	110 (30)	133 (31)
M60-W5-S2-R20	61 (23)	66 (18)	74 (17)
M60-W5-S2-R25	40 (15)	50 (14)	55 (13)
M60-W5-S2-R50	3 (1)	3 (1)	3.8 (1)
M60-W4-S3-R00	314 (10)	398 (100)	418 (100)
M60-W4-S3-R05	216 (69)	227 (57)	284 (68)
M60-W4-S3-R10	150 (48)	164 (41)	172 (41)
M60-W4-S3-R15	45 (14)	59 (15)	70 (17)
M60-W4-S3-R20	16 (5)	20 (5)	21 (5)
M60-W4-S3-R25	8 (3)	9 (2)	11 (3)
M60-W4-S2-R50	1 (0.3)	2 (0.5)	3 (0.7)
M10-W4-S2-R00	378 (100)	436 (100)	531 (100)
M10-W4-S2-R05	306 (81)	324 (74)	386 (73)
M10-W4-S2-R10	228 (60)	264 (61)	290 (55)
M10-W4-S2-R15	175 (46)	248 (57)	251 (47)
M10-W4-S2-R20	91 (24)	193 (44)	210 (40)
M10-W4-S2-R25	57 (15)	105 (24)	108 (20)
M10-W4-S2-R50	4 (1)	5 (1)	6.2 (1)

\* ( ) 시멘트 모르타 공시체를 100으로 한 경우의 압축강도비(%)

주고 있다. 시멘트 모르타 공시체를 100으로 한 경우의 재령에 따른 Rubber 모르타 공시체 강도비 관계를 그림 3.2에 나타내고 있다. 그림에 의하면 시멘트 모르타에 비하여 Rubber chip의 혼입률이 증가할 수록 강도비가 점차적으로 작아져서 혼입률이 15%이상으로 되면, Rubber 모르타가 대부분 시멘트 모르타 강도의 50%미만 정도의 아주 작은 강도비를 나타내고 있다. 따라서, Rubber 모르타의 적정강도를 유지하기 위하여 Rubber chip의 혼입률을 10%이하로 함이 바람직하다.

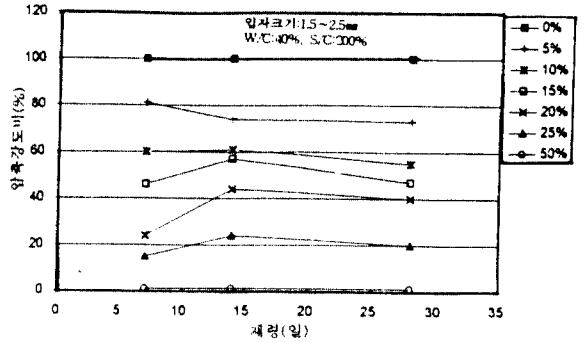
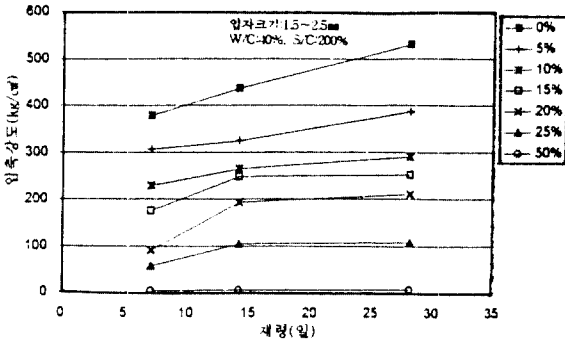
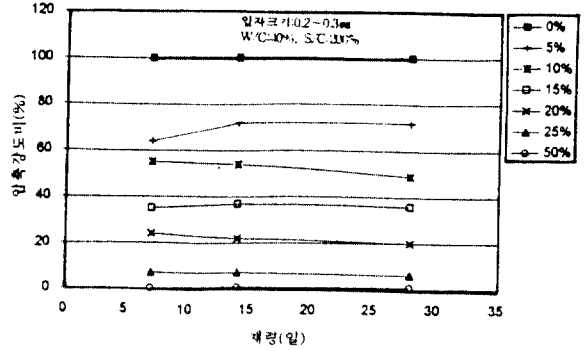
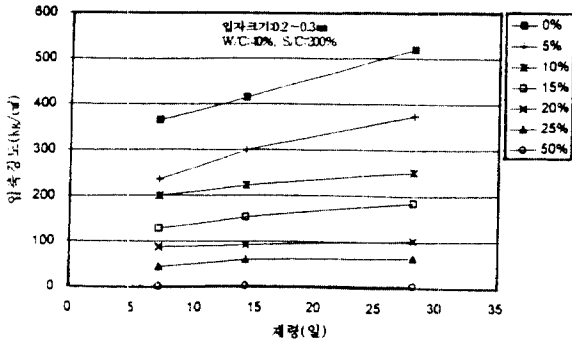


그림 3.1 재령과 압축강도와와의 관계

그림 3.2 시멘트 모르터 공시체를 100으로 한 경우의 압축강도비

입자크기와 압축강도와의 관계를 그림 3.3에 나타내고 있다. 그림에 의하면 재령에 관계없이 입자가 큰 Rubber chip #10를 사용하면 #60을 사용한 것보다 압축강도가 크게 나타난다. Rubber chip의 혼입율이 10%까지는 강도차이가 약 15%정도 생기고, Rubber chip의 혼입율이 많아질 수록, 이 차이는 더욱 커져 Rubber chip 혼입률 20%에서는 최고 70%정도의 차이가 생긴다. 이러한 현상은 작은 입자일수록 중량에 비해 많은 부피로 첨가되어 내부에 다수의 공극이 생기는 이유등을 들 수가 있다.

### 3.2.2 휨강도 및 인장강도

휨강도 및 인장강도의 실험결과는 표 3.4와 같다. 표에 의하면, Rubber chip의 혼입량 10%에 의한 모르터의 재령 28일 휨강도는 전술한 압축강도의 크기 순서와 거의 유사하고, M10-W4-S2모르터가  $52\text{kg/cm}^2$ 로서 가장 크게 나타났다. 그리고 Rubber혼입량 50%모르터의 경우는  $0\text{kg/cm}^2$ 에 가까운 휨강도를 나타냈다.

인장강도 시험결과는 Rubber chip의 혼입량 10%에 의한 모르터에서 전술한 압축강도의 크기 순서와 유사하고, M10-W4-S2, M60-W4-S2의 모르터의 재령28일 인장강도는  $21\text{kg/cm}^2$ 로서 가장 크게 나타났으며, 이 값은 동일 재령의 시멘트 모르터의 인장강도에 비하여 60%에 상당하고 있다. 그리고 Rubber chip 혼입량 50%의 모르터 경우는  $0\text{kg/cm}^2$ 에 가까운 인장강도를 나타냈다.

휨강도에 있어서 재령과 강도와의 관계를 그

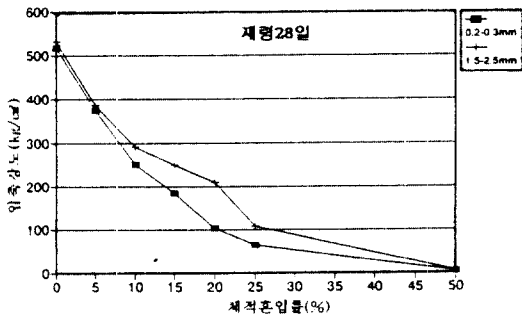


그림 3.3 입자크기와 압축강도와와의 관계

림 3.4에 표시하고 있다. 재령 7일에서 췌강도가 크게 증가하고 있고, 이 후에는 증가량이 완만해지고 있다. 이러한 경향은 혼입률 10~15% 이하에서 볼 수 있다. Rubber혼입을 25%의 모르터의 경우에서 재령 14일 이 후에는 췌강도의 증가는 거의 없는 것으로 간주할 수 있다.

표 3.4 췌강도 및 인장강도 시험결과  
(단위kg/cm<sup>2</sup>)

구분 SERIES	재령				
	7일		14일	28일	
	췌강도	인장강도	췌강도	췌강도	인장강도
M60-W4-S2-R00	63	27	67	75	34
M60-W4-S2-R05	50	20	58	63	24
M60-W4-S2-R10	41	20	45	48	21
M60-W4-S2-R15	33	11	38	38	13
M60-W4-S2-R20	20	9	28	29	10
M60-W4-S2-R25	11	5	13	14	5
M60-W4-S2-R50	1.5	0	1.7	2	0
M60-W5-S2-R00	57	18	64	70	25
M60-W5-S2-R05	40	16	52	54	20
M60-W5-S2-R10	30	12	42	43	18
M60-W5-S2-R15	27	10	34	34	17
M60-W5-S2-R20	19	7	23	24	11
M60-W5-S2-R25	10	4	21	22	5
M60-W5-S2-R50	1	0	2	2.7	0
M60-W4-S3-R00	53	24	63	69	27
M60-W4-S3-R05	39	17	45	54	18
M60-W4-S3-R10	36	15	38	42	16
M60-W4-S3-R15	17	5	20	23	9
M60-W4-S3-R20	9	2	11	13	4
M60-W4-S3-R25	5	1	6	10	2
M60-W4-S3-R50	1	0	1	1.5	0
M10-W4-S2-R00	67	31	68	70	35
M10-W4-S2-R05	54	25	57	58	25
M10-W4-S2-R10	47	17	52	52	21
M10-W4-S2-R15	39	13	47	47	15
M10-W4-S2-R20	32	8	34	38	14
M10-W4-S2-R25	25	8	30	36	13
M10-W4-S2-R50	2	0	3	4.1	0

인장강도에 있어서 재령과의 관계는 그림 3.5에 나타내었고, 인장강도는 재령 7일에서 가장 증가하고 있고, 이 후의 재령에서는 증가량이 완만해지고 있다. 또한 Rubber chip의 혼입률이 증가할수록 인장강도가 저하하고 있고 인장강도의 발현경향은 압축강도의 발현과 유사하다.

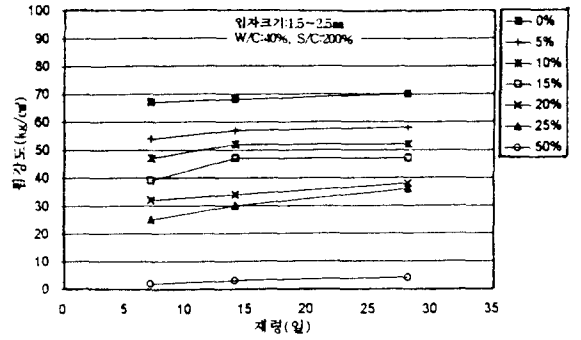
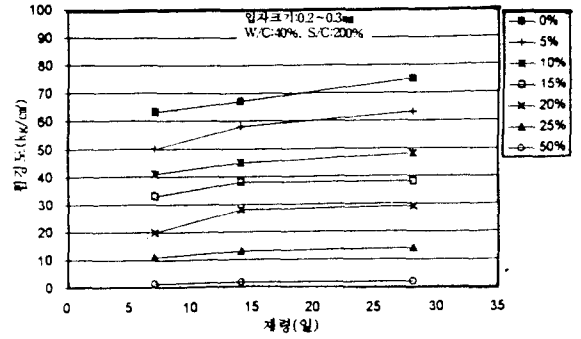


그림 3.4 재령과 췌강도의 관계

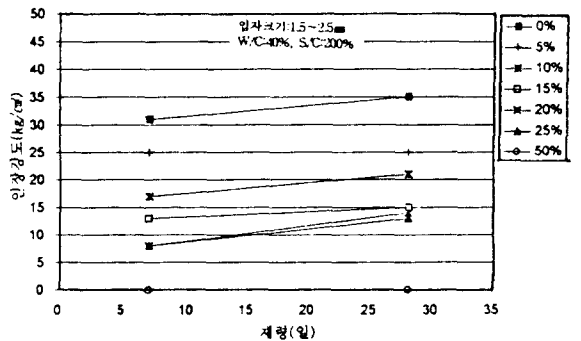
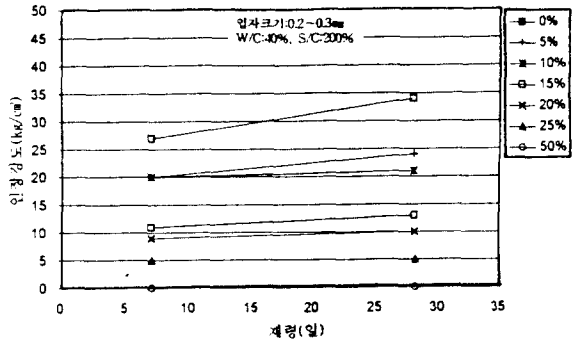


그림 3.5 재령과 인장강도의 관계

### 3.2.3 압축강도와 휨강도, 인장강도와의 관계

압축강도와 휨강도와의 관계를 그림 3.6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 압축강도와 휨강도 관계는 거의 직선관계로 표현할 수 있다.

압축강도와 인장강도와의 관계는 그림 3.7에서 나타내고 있다. 압축강도와 인장강도의 관계도 전술한 압축강도와 휨강도와의 관계와 유사하게 거의 직선으로 표현할 수 있다. 따라서 압축강도를 파악하면 휨강도, 인장강도를 추정하는 것이 가능하다고 생각된다.

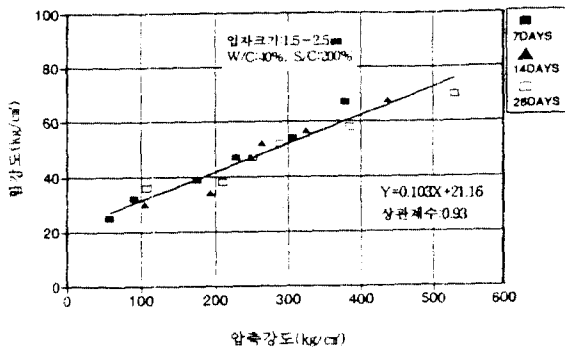


그림 3.6 압축강도와 휨강도의 관계

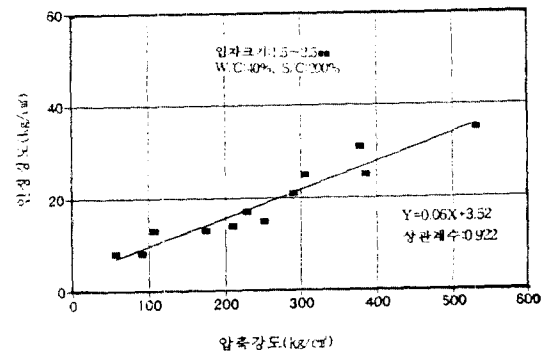


그림 3.7 압축강도와 인장강도의 관계

## 4. 결론

본 실험에서 Rubber chip을 첨가한 Rubber Mortar를 개발하기 위해 Rubber chip의 첨가량, W/C비, 입자직경을 변화시켜 역학적 특성을 검토한 결과, 대체로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Rubber chip의 첨가량이 증가할 수록 flow

값이 감소하며, 특히 Rubber chip의 첨가량이 15-20% 이상에서는 W/C비, S/C비, 입자직경에 관계없이 분리가 생겨 flow를 측정할 수 없었다.

2. 압축강도는 Rubber chip의 혼입률이 증가할 수록 작아지고 있고, 특히 Rubber chip의 혼입률 50%의 경우에는 압축강도가 거의 0kg/cm<sup>2</sup>에 가까운 수치를 나타내고 있다.

3. Rubber chip의 혼입량 10%의 재령 28일 압축강도는 M10-W4-S2 모르타가 290kg/cm<sup>2</sup>를 나타내어 가장 크고, M60-W4-S3 모르타가 172kg/cm<sup>2</sup>로서 가장 적었으며, Rubber 모르타의 압축강도는 W/C비 40%, 입자가 큰 #10(1.5-2.5mm), S/C비 200%의 모르타가 크게 나타났다. 특히, 입자가 큰 #10의 압축강도는 부피증가 등으로 인하여 크게 나타났다.

4. Rubber Mortar의 휨강도와 인장강도는 W/C비, S/C비, 입자크기에 관계없이 Rubber혼입률이 증가할 수록 작아지고 있다. Rubber Mortar의 휨강도와 인장강도의 발현은 압축강도의 발현과 유사한 경향을 보이고 있다.

5. Rubber Mortar의 적정 Rubber chip의 혼입량은, flow값, 압축강도, 휨강도 및 인장강도의 저하정도를 고려한 10% 이하가 적당하다.

이상으로 Rubber Mortar는 Rubber chip의 혼입량이 10%, W/C비 40%, 입자의 직경#10, S/C200%의 조건으로 제작하면 적절할 것으로 사료된다.

## 5. 참고문헌

- 1) MT. ST. Helens Project, James R. Lundy Evaluation of Rubber -Modified Asphalt Performance
- 2) Paul Tarricone, "Recycled Roads" Civil Engineering, April, p46-47, 1993.
- 3) 김영진 -도로포장용 재료로서 페타이어를 활용한 연구, 1994