



분말 페타이어와 분말 수지를 함유한 환경친화적 고인성 시멘트계 무수축 그라우트재의 개발

박석균^{1)*}

¹⁾대전대학교 토목공학과

Development of Green Cement Type Grouting Materials with High Toughness and Non-Shrinkage Including Powder of Waste Tire and Resin

Seok-Kyun Park^{1)*}

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Daejeon University, Daejeon 300-716, Korea

ABSTRACT Grouting materials are used for the unification of superstructural and substructural body like bridge seat (shoe) or machinery pedestal and e.t.c by filling their intercalary voids. Accordingly, grouting materials have been developed and used mainly with products of high strength because those materials are constructed specially in a part receiving large or impact load. In this situation, the structural body constructed by grouting materials with high stiffness-centered (caused by high strength) products is apt to cause brittle failure when receiving over a limit stress and to cause cracks according to cumulative fatigue by continuous and cyclic load. In addition, grouting materials are apt to cause cracks by using too much rapid hardening agents that give rise to high heat of hydration to maintain high strength at early age. In this study, to overcome these problems, cement type grouting materials including powder of waste tire and resin as elastic materials which aim to be more stable construction and to be improvement of mother-body's unification are developed and endowed with properties of high toughness and high durability add to existing properties of high flowability, non-shrinkage and high strength. Besides, this study contribute to offer green construction materials for being possible recycling industrial waste like waste tire and flyash. On the whole, seven type mixing conditions are tested and investigated to choose the best mixing condition.

Keywords : grouting materials, high toughness, non-shrinkage, powder of waste tire, powder of resin

1. 서 론

일반적으로 그라우트재는 교량 슈 (shoe)나 기계 기초 등과 하부 콘크리트 구조체간의 공극을 완전히 충전시켜 상부 구조물과 하부 구조물을 일체화함으로써 상부의 하중을 하부로 분산 전달시키기 위한 시멘트계 재료이다. 그러나 그라우트재는 구조물의 특성상 주로 큰 하중을 받는 부위에 시공되기 때문에 높은 압축강도를 갖는 제품 위주로 개발 사용되어 왔으며, 근래에는 시공성 향상을 목적으로 속경성 그라우트재가 개발되어오고 있다 (특허 공고 : 제1019930009342호(1993.9.28)¹⁾, 제1019980153089호(1998.11.16)²⁾, 제1019990194315호(1999.6.15)³⁾, 제1020010100789호(2001.11.14)⁴⁾, 大野鐵⁵⁾, 五味秀明⁶⁾ 近藤直孝⁷⁾, 田中博一⁸⁾).

그러나 종래의 그라우트재는 단기 물리 특성을 고려하여 제품 개발이 이루어져왔으며, 이로 인하여 다음과 같

은 문제점이 대두되고 있다.

① 압축강도와 같은 고강성 위주로 제품이 개발되어, 한계응력 이상에서는 구조체가 갑자기 파괴되는 취성체라는 구조적 문제점을 안고 있다.

② ①에서 기술한 이유로 연속하중 및 반복하중 등의 응력에 의한 누적피로에 의해 균열 등의 성능저하 현상이 발생할 수 있다.

③ 초기 고강도성을 유지하기 위하여 발열 특성이 높은 속경성 재료를 과다하게 사용함으로써 대형 부재인 경우 수화열 등에 의한 균열발생 우려의 문제를 안고 있다.

④ 상하부 구조체의 일체화를 위한 조치로서 무수축성 재료나 발포성 재료 등을 사용하는데, 이러한 효과는 초기재령에서는 유효하지만, 장기재령 후에는 시멘트의 건조수축으로 그라우트재 조성물에서 일부 수축이 발생하고, 지속적인 외부 하중으로 구조물 본체와 접촉면이 박리됨으로써 상부 구조물의 응력을 하부 콘크리트로 분산시키는 상하 구조물의 일체화 기능을 상실할 우려가 있다.

본 연구는 이와 같은 문제들을 개선하기 위한 것으로, 이를 위해 탄성 재료인 분말 페타이어 및 분말 수지를

*Corresponding author E-mail : skpark@dju.ac.kr

Received February 12, 2007, Accepted August 31, 2007

©2007 by Korea Concrete Institute

이용하여 기존의 고유동, 무수축, 고강도 특성 이외에 고인성과 고내구성을 부여하여 현장에서 별도의 첨가물 없이 물만 섞어도 보다 안정적으로 시공될 수 있고, 모체와의 일체성을 향상시키기 위한 그라우트재의 분체 조성을 개발하고자 하였다. 또한, 부수적으로 분말 페타이어 및 플라이애쉬와 같은 산업폐기물을 재활용할 수 있는 환경친화적인 건설 재료를 제공하는 데에도 그 목적이 있다.

2. 이론적 고찰

2.1 고인성 재료의 기본 개념

이와 같은 목적의 새로운 그라우트재를 개발하기 위해, 먼저 고인성 재료의 기본 개념에 대해 고찰하여 보았다⁹⁾.

콘크리트 또는 모르타르와 같은 무기 재료의 파괴 과정은 Fig. 1에 나타난 바와 같이, 골재 계면이나 내부 결합으로부터 미세균열이 발생하고 이것이 성장, 연속화되면서 파괴에 이르게 된다. 균열이 급격히 진전해서 순간적으로 전체 파괴에 이르는 현상을 취성파괴라 하지만, 콘크리트나 모르타르는 본래 취성재료이다. 이에 대해 하중 증가가 어느 정도까지 변형이 수반된 후, 파괴에 이르는 현상을 인성(靱性) 또는 연성(延性)이 풍부한 파괴라고 한다. 인성이란 파괴에 이르기까지 필요한 에너

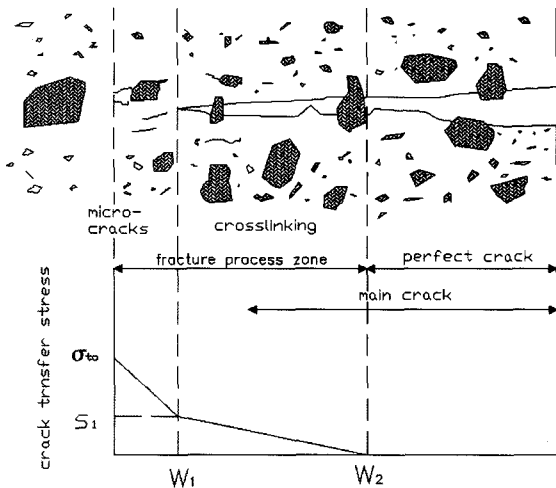


Fig. 1 Crack propagation of concrete or mortar

Table 1 Mix conditions (proportions) of grouting materials (unit: weight proportion (%))

Items	Sample no.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Raw materials	Cement	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	35
Expansion admixture		4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Fly ash		7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	10	5
Sand		49.9	48.4	47.4	45.9	44.9	47.4	47.4
Powder of waste tire		0	1.5	1.5	3	3	1.5	1.5
Powder resin		0	0	1	1	2	1	1
Plasticizer		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Antifoaming agent		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total		100	100	100	100	100	100	100

지, 연성이란 신장 능력으로서 정의된다.

이와 같은 개념을 다른 각도에서 고찰해 보면, Fig. 1의 골재부를 분말 수지와 페타이어 분말부라고 가정할 경우 이들 재료가 일종의 균열에 대해 가교 역할을 하게 되어 균열의 급격한 진전을 방지하는 역할을 한다고 볼 수 있다. 따라서 압축, 인장뿐만 아니라 전단인성을 개선하는 효과를 기대할 수 있다. 또한 분말 수지 첨가에 의해 부착·인장강도가 변형 성능에 탁월한 분말 수지(폴리머)층이 시멘트 매트릭스 내에 형성되어 모르타르 자체의 인성을 개선하게 된다.

2.2 인성 평가 실험

콘크리트나 모르타르의 인성을 평가하는 지표로서, 파괴역학 상의 파괴인성, ASTM의 인성지수 등이 있지만, 본 연구에서는 일본토목학회의 강섬유보강 콘크리트의 휨인성계수 규정 방법을 참고로 하였다.

휨인성계수는 각주의 3등분 재하 휨 시험의 하중과 처짐관계를 바탕으로 다음 식 (1)과 같이 정할 수 있다.

$$\bar{f}_b = T_b l / (bh^2 \cdot \delta_{tb}) \quad (1)$$

여기서, \bar{f}_b : 휨인성계수 (N/mm²)

T_b : δ_{tb} 까지의 처짐-하중곡선하 면적 (N · mm)

l : 경간 (mm)

δ_{tb} : 경간의 1/150의 처짐 (mm)

b : 파단단면 폭 (mm)

h : 파단단면 면적 (mm)

즉, 휨인성계수는 기준 처짐까지의 평균 휨응력을 나타내는 것이다.

3. 실험 조건

3.1 재료 특성 실험

3.1.1 배합 조건

본 연구에서 실험을 위한 배합 조건(모르타르)은 총 7가지 수준으로 하였으며, 각 세부 배합 비율은 Table 1

과 같다. 배합 조건 (1)~(5)는 분말 페타이어 및 분말 수지가 배합에 첨가되지 않은 경우와 첨가되었을 때 그 첨가량에 따른 특성 변화를 비교하기 위한 것이며, 배합 조건 (6), (7)은 배합 조건 (3)과 더불어 시멘트 (보통포틀랜드시멘트) 및 플라이애쉬의 중량 변화 시 나타나는 특성 변화를 비교하기 위한 것이다.

3.1.2 실험 방법

본 연구에서 수행한 각 배합 조건별 실험 검토 항목은 Table 2에서 나타난 바와 같이, KS F규격에 준하여 기존의 그라우트재 (모르타르)에서 요구하는 유동성, 블리딩률, 응결시간과 같은 경화 전 특성과 압축강도, 휨강도, 부착강도, 길이변화, 흡수량, 투수량과 같은 구조 및 내구성성을 포함한 경화 후 특성을 검토하였다. 또한, 그라우트재는 표면에 기포나 부유 물질 등이 없어야 하므로 표면 육안관찰을 실시하였다.

각 실험 항목에 필요한 공시체의 양생은 시멘트의 수화반응을 위하여 7일까지는 표준양생을 실시하였으나, 물이 증발하여야 제 성능을 발휘하는 분말 수지의 특성을 고려하여 8일 이후부터 28일까지는 20°C의 기건양생을 실시하였다. 또한, 공시체 제작에 첨가한 물량은 분말 전체 중량비 100% 대비 18%로 동일하게 적용하였다. 이상의 방법에 의해 얻어진 각 배합 조건별 실험 결과는 Table 2에 나타내었다.

3.2 고인성 실험

본 연구의 개발 제품에 대한 고인성 효과를 평가하기 위해서 다음과 같은 실험을 실시하였다.

3.2.1 배합 조건

상기 Tables 1과 2의 조건하에서 실험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 최적 배합 조건을 한 가지 선정한 후, 기존 국내 시판 중인 시멘트계 그라우트재를 역시 한 가지 선정하여 이들 두 재료간의 대비를 통해 고인성 효과를 평가하기 위한 실험을 하였다.

3.2.2 실험 방법

시험체는 보 부재를 공시체로 하였다. 그 크기는 75×75×1,125 mm로 하고 철근은 D 6 이형철근을 1가닥 인장철근으로 삽입하였다. 철근비는 0.65%로 하고 피복두께는 바닥으로부터 9 mm로 하였다. 실험은 정적재하시험으로 하기 위해, 상기 시험체를 경간 100 mm로 지지한 후, 두께 20×폭 75×길이 20 mm의 재하판을 매개로 하여 중앙 집중 재하 하였다.

정적재하시험에서는 파괴 진전 각 단계에서의 잔유 변위량을 측정하기 위해서 각 적정 시간별로 재하 (載荷)와 제하 (除荷)를 반복하였다. 또한, 하중과 재하점 바로 아래의 변위관계는 데이터 로거로 기록하였다. 얻어진 하중-변위곡선으로부터 잔유 변위를 정적하중 하에서 생성시키는 데 필요한 가력 에너지를 정량화 (식 (1)의 $T_b: \delta_{bb}$ 까지의 처짐-하중곡선하 면적 ($N \cdot mm$))함으로써 구하였다. 본 연구에서는 식 (1)에서 이 값을 고인성 평가에 이용하였다.

4. 결과 분석 및 고찰

4.1 재료 특성 실험

앞서 3.1장의 '배합조건과 실험방법'에 따라 수행된 Table 2

Table 2 Test methods and results at each mix conditions

Test items	Section	Units	Test results at each mix conditions							Test methods
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
Flow		second	13	14	12	13	12	10	26	KS F 2432
Bleeding rate		%	0 (*)	0 (*)	0	0	0	0 (*)	0	KS F 2433
Setting time	Initial	hr:min	5:20	5:10	5:50	5:30	7:50	6:30	4:50	KS L 5108
	Final	hr:min	8:30	8:10	9:20	9:00	11:40	10:50	7:10	
Comp. strength	1day	N/mm ²	18.5	16.4	15.6	13.7	12.5	13.2	24.5	KS F 2426
	7days	N/mm ²	68.6	59.0	56.8	53.0	51.0	48.2	71.3	
	28days	N/mm ²	74.1	65.0	72.8	69.7	68.8	70.5	76.8	
Flexural strength	1day	N/mm ²	2.2	1.9	1.8	1.4	1.3	1.4	2.6	KS L 5207
	7days	N/mm ²	7.8	6.5	7.6	7.2	6.8	5.6	9.6	
	28days	N/mm ²	9.6	7.9	13.8	14.8	14.6	13.2	14.2	
Bond strength	28days	N/mm ²	0.46	0.42	0.94	0.89	1.43	0.84	0.98	KS F 4715
Length change	1week	%	0.15	0.13	0.09	0.09	0.06	0.08	0.08	KS F 2424
	4weeks	%	0.04	0.06	0.06	0.07	0.05	0.06	-0.02	
Absorption quantity	5hrs	g	12.4	12.5	4.9	5.1	3.8	4.8	5.4	KS F 2451
	24hrs	g	16.6	18.3	14.7	15.8	13.3	14.4	15.2	
Permiability quantity	1hr	g	9.2	10.3	5.8	6.1	3.9	5.2	5.4	KS F 2451
Surface condition		-	Bad	Bad	Good	Good	Good	Bad	Bad	-

(*) Production of suspended black solids

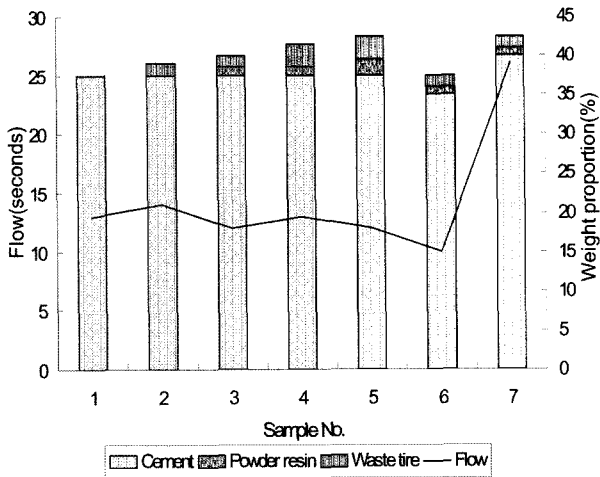


Fig. 2 Test results of flow at each mix conditions

의 실험 결과를 바탕으로 이들 결과를 실험 방법 별로 정리하여 나타내면 다음과 같다.

4.1.1 유동성

먼저, Fig. 2의 유동성 실험 결과에서는 배합 조건 (2), (7)에서와 같이 유동성은 분말 페타이어 및 시멘트량이 증가하면 저하되는 것으로 나타났으나, 배합 조건 (3), (5)에서와 같이 분말 수지가 증가하면 개선되는 것으로 나타났다.

4.1.2 블리딩

Table 2의 블리딩 실험 결과에서는 모든 배합 조건에서 나타난 현상은 아니지만, 표면 상태에 대한 육안 관찰에서 배합 조건 (1), (2), (6)에서는 검은색 물질이 표면으로 부유하는 현상이 나타났다. 배합 조건 (1), (2)는 분말 수지가 첨가되지 않은 경우로서, 다른 배합 조건에서 부유 현상이 발생하지 않은 것으로 보아 분말 수지가 미립 입자의 부유를 방지하는 것으로 판단된다. 배합 조건 (6)의 경우는 시멘트량 감소에 의해 유동성이 과도하게 증가하였기 때문으로 판단된다. 그러나 KS F 2433 시험 방법에 의한 결과에서는 전체적으로 콘크리트의 블리딩율은 0%로 나타났다.

4.1.3 응결시간

Fig. 3의 응결시간 실험 결과에서는 배합 조건 (3), (5)에서와 같이 분말 수지의 중량비가 증가하면 길어지고, 배합 조건 (6), (7)에서와 같이 시멘트량이 증가하면 단축되는 것으로 나타났다.

따라서 분말 수지나 시멘트를 과도하게 첨가하면 지나치게 응결시간이 길어지거나, 지나치게 감소하는 역효과를 낼 것으로 보여 각각 분말 수지 2% 중량비, 시멘트 40% 중량비 이내가 적절한 것으로 판단된다.

4.1.4 압축강도

Fig. 4의 압축강도 실험 결과에서는 배합 조건 (2)에서

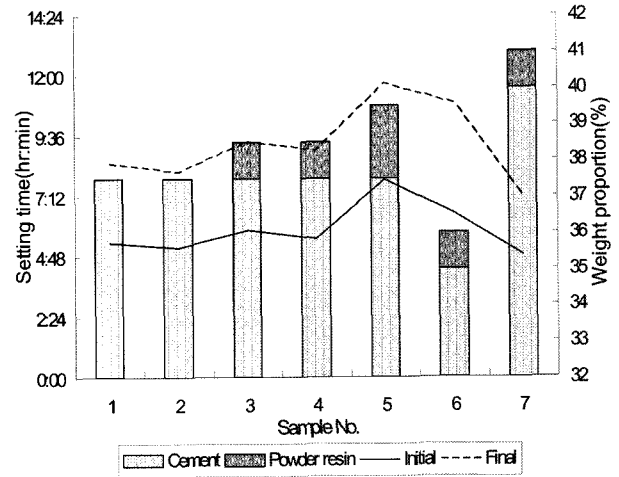


Fig. 3 Test results of setting time at each mix conditions

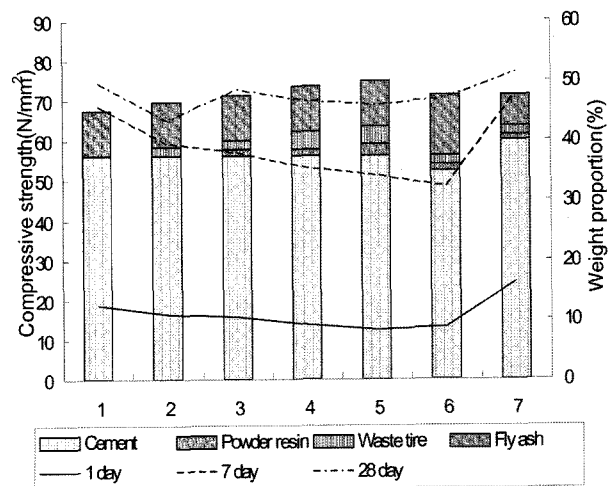


Fig. 4 Test results of compressive strength at each mix conditions

와 같이 분말 페타이어가 첨가되면 감소하는 것으로 나타났다, 배합 조건 (3)에서와 같이 분말 수지가 첨가되면 장기강도는 회복되는 것으로 나타났다. 이것은 분말 수지가 분말 페타이어를 포함한 각 조성물 간의 결합을 증가시키고, 공극의 충전 효과를 나타내기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 배합 조건 (4), (5)의 경우에서 알 수 있는 바와 같이, 분말 페타이어 및 분말 수지가 일정 수준 이상 첨가되면 강도 저하가 발생하는 것으로 나타났다. 배합 조건 (6)으로 보아 플라이애쉬가 증가하면 초기강도가 감소하고, 배합 조건 (7)로 보아 시멘트가 증가하면 초기강도가 증가하는 것을 알 수 있다.

4.1.5 휨강도

Fig. 5의 휨강도 실험 결과에서는 배합 조건 (3), (4), (5), (6), (7)에서와 같이 분말 페타이어 및 분말 수지가 같이 첨가되면 같이 첨가되지 않은 배합 조건 (1), (2)에서보다 장기강도가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이로부터 분말 페타이어를 단독으로 사용할 때는 휨강도에 기여하는 부분이 크지 않고, 분말 페타이어와 분말 수지를 같이 사용할 때, 분말 수지가 분말 페타이어 및 무기

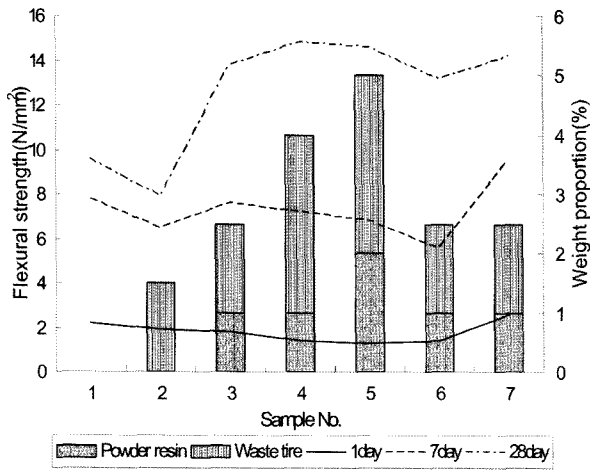


Fig. 5 Test results of flexural strength at each mix conditions

질 조성물간의 결합력을 증가시켜 분말 페타이어의 특성을 상승시키는 것으로 나타났다. 이를 반증하듯 재령 28일에서 휨강도/압축강도 비율은 배합 조건 (1), (2)에서는 각각 13%, 12%, (3)~(7)에서는 18~21%로 나타나 배합 조건과 강도 등급에 따라 그 비율이 다소 변화됨을 알 수 있다.

4.1.6 부착강도

Fig. 6의 부착강도 실험 결과에서는 배합 조건 (2), (4), (5)에서와 같이 분말 수지가 증가하면 부착강도가 같이 증가하는 것으로 나타났으며, 이것은 분말 수지의 접착력 증강 효과 때문으로 판단된다. 따라서 분말 수지를 사용하면 구조물 본체와 하부 콘크리트와의 결합력을 증가시켜 그라우트재의 일체화 및 상부 응력의 하부 분산 기능이 증대될 것으로 판단된다.

4.1.7 길이 변화

Fig. 7의 길이 변화 실험 결과에서는 배합 조건 (1), (2), (3), (4), (5)에서 알 수 있는 바와 같이, 분말 페타이어 및 분말 수지가 첨가되면 초기 1주 재령의 팽창성이 감소하고, 후기 4주 재령의 수축성도 감소하는 것으로 나타나, 전체적으로 팽창 및 수축의 안정성이 나타나는 것으로 보

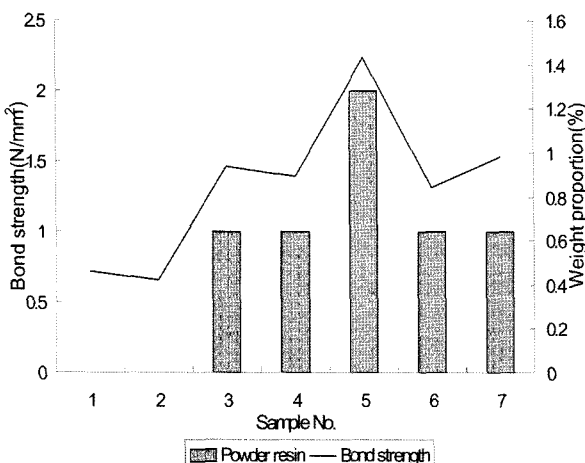


Fig. 6 Test results of bond strength at each mix conditions

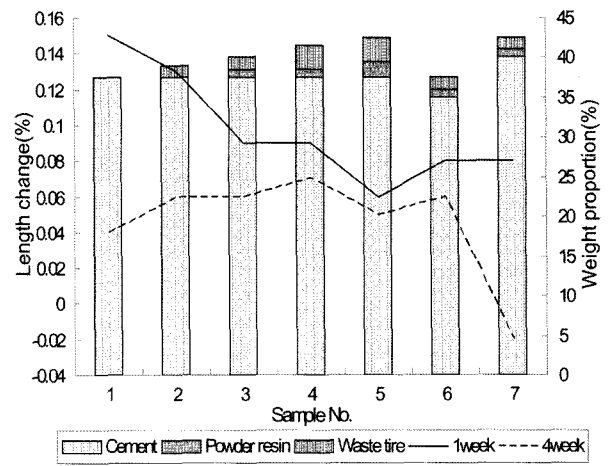


Fig. 7 Test results of length change at each mix conditions

인다. 이것은 분말 페타이어 및 분말 수지를 사용함으로써 팽창압의 흡수 및 모세관 충전 효과에 의한 것으로 판단되며, 따라서 계면박리 방지 및 균열 방지에 효과적일 것으로 판단된다. 그러나 배합 조건 (3), (6), (7)에서와 같이 시멘트량이 증가하면 수축 특성이 증가하는 것으로 보아, 시멘트량은 전체 중량비 대비 40% 이하로 첨가하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4.1.8 흡수량 및 투수량

Figs. 8과 9의 흡수량 및 투수량 실험 결과에서는 배합 조건 (1), (3), (5)에서 알 수 있는 바와 같이 전체 중량비에서 분말 수지와 분말 페타이어의 중량비가 증가하면 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서의 조성물을 사용하면 수분 침투에 의한 동결융해 등의 성능 저하와 용빙제로 사용하는 염화칼슘 등의 부식염류의 침투, 이산화탄소에 의한 탄산화 등을 저감시킴으로써 종래의 조성물에 비해 그라우트재 매트릭스의 내구성이 증가할 것으로 기대된다.

4.1.9 종합

이상의 실험 결과 및 분석을 통해 얻어진 내용을 사용 재료별로 고찰하여 정리하면 다음과 같다.

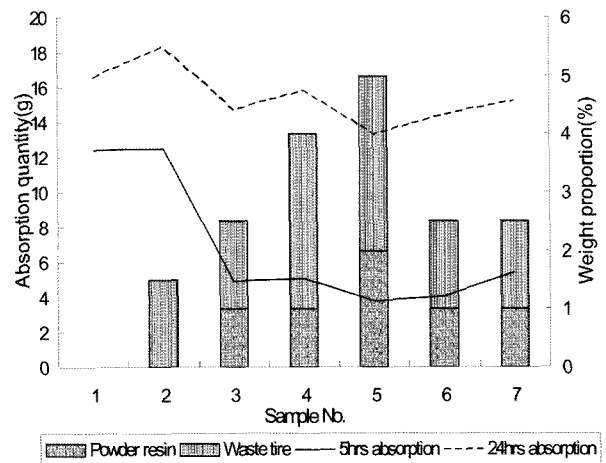


Fig. 8 Test results of absorption quantity at each mix conditions

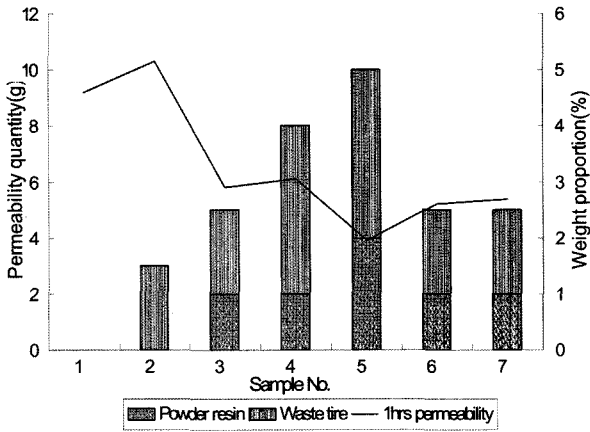


Fig. 9 Test results of permeability quantity at each mix conditions

1) 시멘트

보통포틀랜드시멘트는 전체 100% 중량비에 대하여 40% 이상의 초과 사용 시 압축강도는 증가하나 유동성의 저하가 발생하고, 수축 증대의 원인이 되며, 35% 이하로 사용 시 요구되는 고강도 확보에 어려움이 있기 때문에 전체 중량비에 대해 35~40%를 사용하는 것이 요구 물성에 적합하게 나타났다.

2) 팽창재

팽창재는 석회석, 석고, 알루미늄질 원료를 주원료로 제조된 칼슘술포알루미늄에이트를 주성분으로 하는 CSA계 팽창재를 사용한다. 이 CSA계 팽창재는 포틀랜드시멘트와의 경화 과정에서 미세한 침상 결정의 고풍산염 수화물인 에트링자이트 (ettringite)를 생성하며, 이 수화물은 초기 재령에서 팽창력을 발휘하여 시멘트의 초기 건조수축을 보상하는 역할을 한다. 사용량은 시멘트 100% 중량비에 대하여 10~13%를 사용하는 것이 요구되므로 전체 중량비 100%에 대하여 3.5~5.2%를 사용하는 것이 바람직하다.

3) 플라이애쉬

플라이애쉬는 시멘트의 수화열을 억제하고 포졸란반응으로 장기강도를 향상시키며, 수밀성을 향상시켜 부재의 내구성을 높이게 된다. 또한 블리딩을 감소시키고 연행공기를 감소시키는 역할을 한다. 특히 플라이애쉬는 폐부산 자재이므로 재료비 절감 및 산업폐기물 재활용을 도모할 수 있다. 전체 100% 중량비에 대하여 플라이애쉬 10%를 초과 사용 시 상대적으로 시멘트의 사용량이 감소하여 초기강도 확보에 어려움이 있으며, 5% 미만 사용 시에는 수화열 억제 효과가 적으므로 전체 100% 중량비에 대해 5~10%의 사용이 효과적이다.

4) 모래

모래는 입도가 굵어지면 사용 물량의 감소는 기대할 수 있으나 재료분리 발생 및 충전성 저하를 가져오고, 입도가 미세하면 충전성 및 재료분리 방지는 기대할 수 있으나, 전체 분말 중량비에 대해 요구되는 물 중량비의 증가로 요구 강도 확보 및 수축 저감 특성 만족에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 그라우트재의 충전성 및 고강도성 등의 특성을 고려하여 전체 모래 100% 중

량비에 대하여 2.5~1.2 mm 입도가 25%, 1.2~0.6 mm 입도가 40%, 0.6~0.3 mm 입도가 30%, 0.3 mm 이하의 입도가 5%가 되도록 모래입도를 조정하여 모래의 충전성을 극대화 시켜 물/시멘트 비를 낮추고 유동성을 증가시켰다. 입도가 조정된 모래는 전체 분말 중량비 100%에 대하여 40~55% 중량비를 사용하는 것이 요구 물성에 적합하였다.

5) 분말 페타이어

타이어용 고무는 가교 결합에 의해 형성된 구조를 가지고 있는 유기고분자로서 마모성이 우수하고 탄성이 뛰어나며 용융이 되지 않는 특성을 갖는 재료이다. 따라서 페타이어는 구조적 안정성 때문에 폐기물 처리나 재활용에 어려움이 있어 심각한 산업폐기물로 문제시 되어왔으나, 최근에는 건설 재료로서 그 활용성이 다양하게 모색되고 있어 사용이 증가되고 있다. 본 연구에서는 타이어 고무의 우수한 탄성 및 내마모성 특성을 이용하여 고강도 부재에 인성과 내충격성을 부여할 수 있는 재료로 페타이어를 활용하였으며, 폐기물 재활용의 부수적 효과를 얻고자 하였다. 그라우트재의 고충전 특성을 고려하여 입경은 모래와 유사한 2 mm 이하로 제한하였고, 페타이어 분말은 모래에 비해 비중이 가벼워 동일한 중량에서 비표면적의 증가로 사용 물량의 증가 및 강도의 저하를 가져오는 것으로 확인되었으며, 본 연구에서는 분말 페타이어의 사용량이 전체 중량비 100%에 대해 1~3%가 요구 물성에 적합한 것으로 나타났다.

6) 분말 수지

분말 수지는 물과 혼합하였을 때 액상 수지와 같이 재분산 되고, 물이 증발되면 고분자 막을 형성하여 결합력을 증가시키는 특징을 가지고 있다. 페타이어 분말은 유기물로서 기존의 그라우트재 조성물인 무기질 재료와는 서로 상이하어 입자간 결합이 충분하지 못하기 때문에 페타이어 분말 특성을 충분히 발휘할 수 없다. 따라서 페타이어 입자와 그라우트재의 무기질 조성물과의 결합력을 증가시킬 수 있는 재료로서 아크릴계 및 EVA계 분말수지를 사용하였으며, 과다 사용 시 시멘트 수화반응을 방해하여 과도한 응결 및 경화 지연을 나타내고, 강도를 저하시키기 때문에 전체 100% 중량비에 대하여 분말 수지 0.5~2%가 적합한 것으로 나타났다. 또한 분말수지를 사용함으로써 기존의 재료분리 방지를 목적으로 사용되는 증점제를 사용하지 않고서도 플라이애쉬 및 분말 페타이어 등이 표면으로 부유하는 현상을 방지할 수 있었으며, 증점제를 사용하는 경우는 재료분리는 방지되는 반면에 유동성이 증가하는 부수적인 효과를 얻을 수 있었다. 또한 그라우트재가 경화된 후에는 분말 수지의 자체 특성 및 내부 공극의 충전 효과에 의해 방수 성능이 현저히 증가하였고, 구조물 본체와의 부착강도도 증가하는 효과를 얻을 수 있었다.

7) 유동화제

유동화제는 멜라민계, 폴리카본산계, 나프탈렌계를 검토하였으나, 나프탈렌계는 분말 수지와 함께 사용할 경

우, 응집 현상에 의해 유동성이 급격히 손실되는 특성이 나타났으며, 폴리카본산계는 공기량이 과다하게 연행되어 멜라민계 유동화제를 사용하였다. 지나친 사용량은 재료분리를 증가시키고, 너무 적은 양은 충분한 유동 특성을 발휘하지 못하기 때문에 전체 중량비 100%에 대하여 0.3~0.8%가 적합한 것으로 나타났다.

소포제는 물과 그라우트재의 혼합 시 발생하는 기포를 제거하여 미려한 표면 상태를 얻고, 내부의 공기함량을 감소시켜 치밀한 구조체를 형성하기 위하여 사용하였으며, 전체 100% 중량비에 대해 0.05~0.2%가 바람직한 것으로 나타났다.

8) 최적 배합 조건 선정

이상의 결과를 종합해 볼 때 본 연구 목적을 만족시키는 최적 배합 조건은 Table 1의 (3), (4)조건 모두 가능하며, 그 중에서도 (3)조건이 최적인 것으로 판단된다.

4.2 고인성 실험

앞서 3.2항의 고인성 실험 조건 및 방법에 따라, 최적 배합 조건으로 선정된 Table 1 (3)의 재료 조건대로 제조한 경우 (T-1)와, 기존 국내 시판 제품인 시멘트계 그라우트재를 제품 안내서대로 배합하여 제조한 경우(T-2)의 2가지 조건에 따라 제작한 보 시험체에 대해 고인성 실험 방법에 의해 실험한 결과를 Table 3과 Fig. 10에 나

Table 3 Test results of beam test specimen

Series no.	Strength of grouting mortars (N/mm ²)		Absorbed energy T _b (N · mm)	Residual displacement (mm)
	Comp.	Flexural		
T-1	74.6	15.1	6,040	ruptured
			5,500	107
	15.1	15.1	4,690	88
			2,720	46
T-2	70.3	13.4	5,600	ruptured
			5,100	108
	13.4	13.4	4,310	86
			2,470	48
			1,300	20

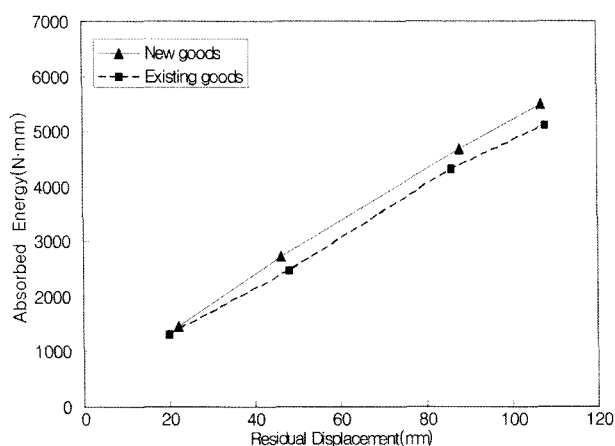


Fig. 10 Relationship between residual displacement and absorbed energy

타내었다. 여기서, T-1의 압축·휨강도가 Table 2의 값과 다소 차이가 있는 것은 같은 배합의 시험체간 오차로 사료된다.

Fig. 10은 T-1과 T-2 재료 각각의 잔유 변위와 흡수에 너지의 관계를 나타낸 것으로 이들 관계는 곧 이들 재료의 고인성 특성을 나타낸 것이라 할 수 있다. 이 결과로부터, T-1과 T-2모두 거의 직선적인 관계를 나타내고 있으나, 두 선의 종축 방향 차이가 발생하고 T-1쪽이 보다 기울기가 약간 더 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 고인성 효과가 T-2 (기존제품)의 경우보다 페타이어 분말과 분말 수지 등을 혼합한 T-1 (본 연구의 개발 제품)의 경우가 더 크게 나타남을 입증하는 결과라 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구로부터, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 분말 수지와 분말 페타이어와 같은 탄성 재료를 사용하여 기존의 강성 위주의 그라우트재보다 우수한 인성을 부여하는 것이 가능하게 되어, 그라우트재의 구조적 안정성에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 그라우트재에 함유되어 있는 분말 페타이어 및 분말 수지는 그라우트재의 팽창 및 수축을 저감시켜 균열 및 접촉면 박리 등의 발생 가능성을 저감시킬 수 있다.
- 3) 그라우트재에 함유된 분말 수지는 페타이어 분말과 시멘트 모르타르와의 결합력을 부여하고, 또한 구조물 본체와 하부 콘크리트와의 부착력을 증가시켜 구조물과 그라우트재 간의 일체화를 증대시키고, 물의 흡수 및 침수에 대한 저항성을 향상시켜 그라우트재 매트릭스의 내구성을 증진시킨다.
- 4) 그라우트재에 분말 페타이어 및 플라이애쉬를 사용하여 산업폐기물을 재활용하는 효과를 얻음으로써 환경문제에 기여할 수 있다.

감사의 글

본 연구 실험에 협조하여 주신 (주)정우소재 박정준 사장님께 감사드립니다.

참고문헌

1. 특허공고: 제1019930009342호, 1993.9.28.
2. 특허공고: 제1019980153089호, 1998.11.16.
3. 특허공고: 제1019990194315호, 1999.6.15.
4. 특허공고: 제1020010100789호, 2001.11.14.
5. 大野鐵, 小山清一, “超高强度セメント系グラウト材を充填したねじ鉄筋カプラー継手の施工性と継手性能”, 日本コンクリート工學論文報告集, Vol.9, No.2, 1987, pp.585~588.
6. 五味秀明, 松永嘉久, 中谷清一, “非鐵系骨材を使用した高性能舞收縮グラウト材の性質”, 日本コンクリート工學論文

報告集, Vol.15, No.1, 1993, pp.25~30.

7. 近藤直孝, 半田實, 福嶋一秋, 柳澤直仁, “特殊グラウト材の耐震補強工事・鋼板巻立て工法への適用”, 日本コンクリート工學論文報告集, Vol.18, No.2, 1996, pp.119~124.

8. 田中博一, 栗田守朗, 高橋直伸, 河瀬正明, “鐵筋の機械繼

手に用いる無機グラウト材に關する檢討”, 日本コンクリート工學論文報告集, Vol.26, No.2, 2004, pp.877~882.

9. 原田曉, 新村亮, “高靱性コンクリート”, 日本コンクリート工學, Vol.36, No.1, 1998, 59pp.

요 약 주로 교량 슈 (shoe)나 기계 기초 등과 하부 콘크리트 구조체간의 공극을 충전시켜 상부 구조물과 하부 구조물을 일체화하는데 사용되는 그라우트재는 구조물의 특성상 주로 큰 하중을 받는 부위에 시공되기 때문에 높은 압축강도를 갖는 제품 위주로 개발 사용되어 왔다. 그러나 고강성 위주로 제품이 개발되어 한계응력 이상에서는 구조체가 갑자기 파괴되는 취성체라는 구조적 문제점을 안고 있고, 연속 및 반복하중 등의 응력에 의한 누적 피로에 의해 균열 등의 성능 저하 현상이 발생할 수 있다. 또한, 초기 고강도를 유지하기 위해 발열 특성이 높은 속경성 재료를 과다하게 사용함으로써 대형 부재인 경우 수화열 등에 의한 균열발생 우려의 문제 등도 안고 있다. 본 연구는 이와 같은 문제들을 개선하기 위해, 탄성재료인 분말 페타이어 및 분말 수지를 이용하여 기존의 고유동, 무수축, 고강도 특성 이외에 고인성과 고내구성을 부여하여 보다 안정적으로 시공될 수 있으며, 모체와의 일체성을 향상시키기 위한 그라우트재의 분체 조성물을 개발하였다. 또한, 부수적으로 분말 페타이어 및 플라이애쉬와 같은 산업폐기물을 재활용할 수 있도록 하여 환경친화적인 건설 재료를 제공하는 데에도 기여하였다. 이를 위해 총 7가지 배합 조건별 실험이 진행되었고, 이를 통해 최적 배합 조건을 선정하였다.

핵심용어 : 그라우트재, 고인성, 무수축, 분말 페타이어, 분말 수지