

재생골재 활용 철근콘크리트포장 내 철근의 부착특성에 대한 연구

A Study on the Bond Stress of Rebar in Reinforced Concrete
Pavement using Recycled Aggregate

김 낙 석^{*} / 김 광 태^{**} / 전 찬 기^{***} / 전 중 규^{****}

Kim, Nak Seok / Kim, Kwang Tae / Jeon, Chan Ki / Jeon, Joong Kyu

Abstract

Amount of demolished concretes is highly produced as dismantlement of structures to increased owing to usage alteration and deteriorated of concrete structures, but most of them have been used as material for simple reclamation. Therefore, if demolished concrete could be recycled as aggregate for concrete, it will contribute to solve the exhaustion of nature aggregate, in terms of saving resources and protecting environment, especially being want of resources in Korea. In this study it was investigated into experimental results that were carried out demolished concrete recycled aggregate gained from dismantled real structures and source concrete recycled aggregate produced according to respectively 5 steps of replacement ratio for recycling as pavement concrete aggregate.

key words : Recycled aggregate, Crushing process, Pavement

요 지

콘크리트 구조물의 성능저하, 노후화 및 용도 변경 등으로 구조물을 해체할 경우가 증가하면서 발생하는 폐콘크리트량이 급증하고 있는 추세이지만, 거의 대부분이 단순 매립용 재료로 사용되고 있다. 우리나라와 같이 부존자원이 부족한 나라에서 폐기되는 콘크리트를 포장 콘크리트용 골재로 재활용할 경우 콘크리트용 천연골재의 부족 현상 극복, 자원절약 및 환경보존 등에 크게 기여할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 실제 구조물에 사용된 콘크리트를 해체하면서 발생한 폐콘크리트를 파쇄하여 제조한 재생골재의 혼합율을 각각 5단계로 변화시켜 제조한 재생 골재를 포장 콘크리트용 골재로 활용하기 위하여 실시한 실험결과에 대하여 고찰하였다.

핵심용어 : 재생골재, 파쇄공정, 포장

1. 서 론

최근 경제발전이 힘입어 생활수준이 크게 향상되므로써 이로 인하여 발생하는 쓰레기, 생활 및 산업 폐기물이 크게 증가하여 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 특히 건설폐기물 중 콘크리트구조물의 노후화, 성능저하 및 용도, 목적의 변경 등으로 인하여 구조물의 해체

에 의해 발생하는 폐콘크리트량이 급증하고 있는 실정이다. 환경부 통계(1999년)에 따르면 폐콘크리트량은 연간 1,400만톤 정도 발생되었으며, 향후 20년 이후에는 이미 건설된 아파트 또는 신도시의 개발 등에서 발생하는 건설폐기물이 현재의 10배정도 크게 증가할 것으로 추정하고 있다.

그러나 현재까지 폐콘크리트는 도로 포장용 또는 매

* 정회원 · 경기대학교 토목공학과 교수 (e-mail : nskim1@kyonggi.ac.kr)

** 정회원 · 경기대학교 토목공학과 공학석사

*** 정회원 · 시립인천전문대학 토목과 교수

**** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 공학박사수료

립용 재료 등으로 사용 내지는 폐기되어 왔을 뿐, 부가가치가 높은 자원으로서 재활용되지 못하고 있는 실정이다. 또한, 점차 급증하는 건설폐기물을 처리할 수 있는 매립지의 부족뿐만 아니라 폐기물의 처리비용이 큰 부담이 되고 있다.

특히, 근년에 와서 양질의 천연골재 부족현상의 해소 및 자연생태계의 유지 등을 목적으로 콘크리트 기술자들 사이에는 폐콘크리트를 콘크리트용 재생골재로 재활용화 하기 위한 연구에 관심을 나타내고 있다.

그러므로 자원이 부족한 우리나라에서 폐콘크리트를 콘크리트용 골재로 재활용할 경우, 양질의 골재부족 현상을 극복하는데 큰 도움이 될 것으로 생각된다. 뿐만 아니라 현재 콘크리트 제조 시 사용되고 있는 하천, 강 및 석산 등 골재 산지의 무분별한 채굴을 방지하여 환경파괴를 줄일 수 있으므로 자연생태계를 보존하는데도 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 콘크리트포장은 표층에 작용하는 하중을 기층 및 보조기층을 통해 넓게 분산시켜 노상층이 지지하는 하중을 줄여주는 아스팔트 포장과는 달리, 콘크리트슬래브의 휨저항에 의해 대부분의 하중을 지지하는 포장이다. 그러므로 슬래브의 두께는 하중에 충분히 저항할 수 있을 정도로 하여야 한다. 또한, 균열은 콘크리트포장에서 필연적으로 발생하는데 이러한 균열을 줄이는 설치로 위치를 인위적으로 조절하고 줄눈부위를 다우웰바나 타이바로 보강할 필요가 있다.

다우웰바는 주로 횡방향 줄눈에 설치하며, 사용목적은 줄눈부에서의 하중전달을 원활히 하여 승차감을 좋게 유지함과 동시에 하중에 의한 처짐량을 감소시켜 팽팽 현상 등을 억제하고, 콘크리트의 응력을 줄이는데 있다.

타이바는 주로 종방향 줄눈에 설치하며 종방향 줄눈에 발생한 균열이 과도하게 벌어지는 것을 막는데 있다. 또 철근콘크리트포장(JRCP, Jointed Reinforced Concrete Pavement)이나 연속철근콘크리트포장(CRCP,

Continuously Reinforced Concrete Pavement)등의 경우에 슬래브 내에 보강철근을 사용하게 되는데, 여기서 철근의 역할은 균열의 발생 자체를 막는 데 있는 것이 아니라 발생된 균열이 과도하게 벌어지는 것을 막는 데 있음을 상기할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트, 철근콘크리트 포장 및 연속철근콘크리트포장에 폐콘크리트에서 생산되는 재생골재를 적용하기 위한 일환으로 재생골재의 특성과 재생콘크리트의 역학적 특성을 분석하였으며, 재생골재와 모르타르의 부착 및 재생콘크리트와 철근과의 부착특성에 대하여 고찰, 분석하여 천연골재의 고갈에 따른 대체자원으로의 활용방안을 제시하였다.

2. 철근콘크리트의 부착응력 특성

2.1 철근콘크리트 부착 저항의 주요소와 과정

2.1.1 부착 저항의 주요소

철근콘크리트에 사용하는 원형철근의 부착은 주로 콘크리트와 철근표면 사이의 화학적인 접착력에 의해 발생하며 매우 작은 응력 하에서도 이 화학적인 접착은 파괴되어 미끄러짐이 발생한다. 일단 슬립이 발생하면 그 이상의 부착은 마찰에 의해 발생하며, 이 마찰저항은 철근표면의 상태에 따라 크게 달라지는데 원형철근의 경우는 마찰저항이 작아 철근이 콘크리트로부터 쉽게 이탈하는 이탈파괴(pull out failure)가 발생한다.

이와 달리, 이형철근은 철근 표면에 마디를 만들어 이 마디와 주위 콘크리트간의 상호작용에 의해 큰 부착력이 발생되는데 이형철근의 두 마디 사이에 발생하는 부착응력은 그림 1에 나타낸바와 같이 알 수 있듯이 다음의 응력들과 관계가 있다.

- (1) 콘크리트와 철근표면 사이의 화학적 접착력에 의한 전단응력 v_a
- (2) 철근의 마디면에 발생하는 다우웰(dowel)작용에 의한 지지응력 f_b

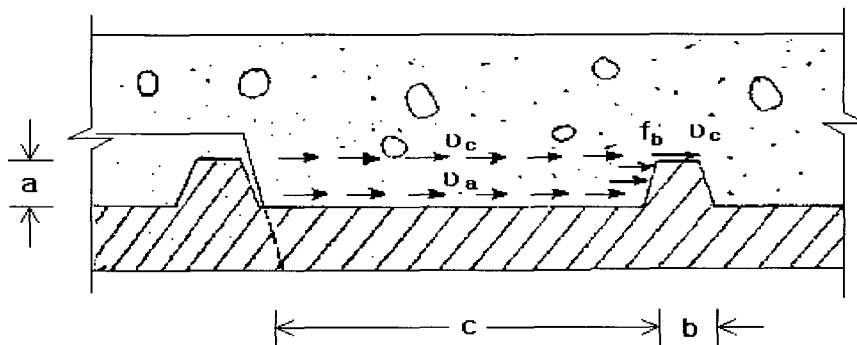


그림 1. 이형철근의 부착력

(3) 인접 마디 사이의 콘크리트에 발생하는 전단응력 v_c 위에서 (2)가 가장 큰 역할을 하게 되며, 이에 따라 이형철근을 사용한 부재의 부착파괴는 대부분 쪼갬파괴(splitting failure)가 발생한다.

이러한 쪼갬파괴는 그림 2에서와 같이 처음에는 초기 쪼갬균열이 발생하고, 하중이 증가함에 따라 초기 쪼갬균열과는 다른 쪼갬균열이 발생하여 파괴된다. 대부분의 경우 초기 쪼갬균열에 의해 파괴가 발생하지는 않으며, 특히 스테럽 등으로 횡보강한 경우는 쪼갬균열이 다수 발생한 뒤 파괴가 일어난다.

Rehm의 연구에 의하면 이형철근의 마디 형상에 따라 그 파괴양상이 달라짐을 보고하였는데, 이것에 의하면 $a/c \approx 0.065$ 일 때 부착성능이 가장 우수하며, 그림 3의 (a)와 같이 마디의 높이가 높고 그 간격이 좁으면 이탈파괴가 발생하고, 마디간격이 마디높이의 10배 이상일 때는 주로 쪼갬파괴가 발생한다. 이형철근의 형상은 그 부착파괴의 양상이 이탈파괴가 되지 않도록, 즉 그림 3의 (b)형태의 부착파괴가 발생하도록 하여야 한다. 본 실험에서 사용된 철근에서는 $a/c = 1/13.4 = 0.075$ 의 값이 측정되어 마디간격은 마디높이의 10배 이상이 되었다.

2.1.2 슬립-파괴 과정

콘크리트와 철근의 변형도가 철근길이 전체에 걸쳐서 일정하지 못하고 서로 같지 않기 때문에 두 재료의

접촉면에서 슬립이 일어난다. 초기에 이형철근의 경우에는 화학적 접촉력만이 슬립에 저항하며 이것에 의해서 철근과 콘크리트는 변형이 일치하여 슬립 현상이 거의 없게 된다. 부착응력이 증가하면 화학적 접촉은 철근마디의 켜기작용의 결과로 파괴되는데, 이때 작용하는 부착은 철근과 콘크리트의 기계적 상호작용으로 마디가 콘크리트를 밀어서 철근으로부터 콘크리트를 분리시킨다. 이 지압력의 방사성분이 철근 주위의 콘크리트에 원형 인장력을 발생시킨다.

이형철근의 높은 부착성능은 이러한 마디의 기계적 저항 작용에 의한 것이지만 철근과 콘크리트 사이의 슬립도 이 마디의 존재 때문에 보통 원형철근에 비해서 복잡한 과정을 거쳐 일어나게 된다.

이형철근은 주로 다음과 같은 4가지에 의하여 슬립이 발생된다.

- (1) 마디 경사면에 따른 철근과 콘크리트의 슬립에 의한 것
- (2) 마디 측면 가까이 있는 콘크리트의 압괴에 의한 것
- (3) 철근 주변 콘크리트의 내부 갈라짐에 의한 것
- (4) 마디 선단을 잇는 원면에서의 콘크리트의 직접 전단차이에 의한 것

이와 같이 마디의 높이, 마디측면이 재축과 이루는 각도, 마디간격 등이 어떠한 값을 갖는가에 의해서 4가지 요인이 복잡하게 서로 연관되어 발생된다.

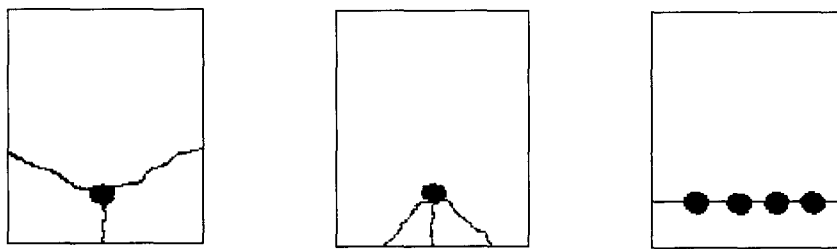
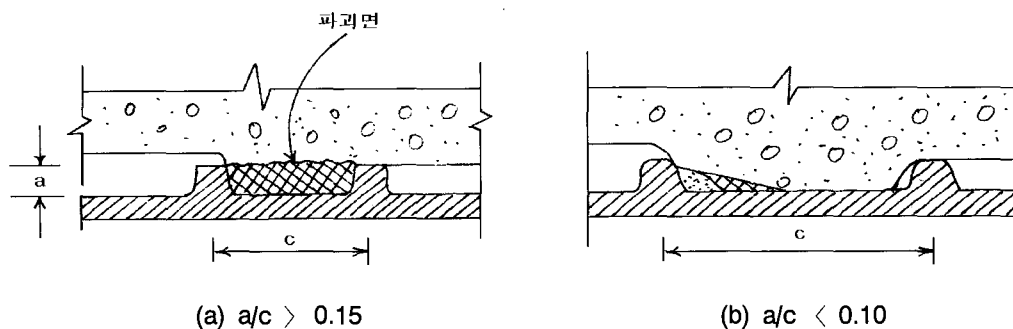


그림 2. 쪼갬균열의 발생 및 쪼갬파괴의 양상



(a) $a/c > 0.15$

(b) $a/c < 0.10$

그림 3. 이형철근의 마디형상에 따른 부착파괴 양상

2.2 철근의 콘크리트에 대한 부착응력에 영향을 주는 요인

콘크리트 속에 묻혀있는 철근의 부착응력에 영향을 미치는 요인은 다음과 같다.

- (1) 철근 : 철근의 직경, 이형철근의 형상(마디의 높이, 마디 간격, 마디 각도), 정착길이, 표면의 상태, 철근의 위치, 철근간격, 철근의 탄성계수 및 부식정도.
- (2) 콘크리트 : 콘크리트 피복, 일축압축강도, 골재의 품질, 다짐방법, 슬럼프, 크리프, 건조수축, 재령 및 경화상태.
- (3) 시험방법 및 하중 형태 : 시험하중, 하중이력, 하중방향, 설치방향, 횡보강근의 영향, 파괴형태, 균열 폭, 균열 형태, 균열 간격 및 시험 시간

3. 실험개요

3.1 사용재료

- 1) 시멘트 : KS F 5201에 규정된 보통포틀랜드시멘트로서 그 화학적 성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.
- 2) 골재 : 잔골재는 바다모래를 세척하여 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 20mm인 부순돌 및 재생골재로서 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.
- 3) 철근 : KS D 3504 D19 이형철근을 사용하였다.

3.2 실험방법

- 1) 콘크리트의 압축강도 및 인장강도
 재생골재 혼입율에 따른 콘크리트의 압축강도 및 인장강도를 알아보기 위한 시험은 KS F 2403, 2405에 따라 $\phi 100 \times 200$ mm의 공시체를 제작한 후 각 재령별 압축강도 및 인장강도를 측정하였다.
- 2) 콘크리트의 부착강도

재생골재를 사용한 콘크리트의 골재와 시멘트페이스트 사이의 접착강도 특성 실험을 수행하기 위해서 $500 \times 500 \times 50$ mm의 콘크리트 슬래브를 제작하였다. 코어의 직경은 30mm이며, 절삭 깊이의 영향을 알아보기 위하여 부착 면으로부터 10, 20 및 30mm 깊이로 절삭하여 직접인장시험(Pull-off test)을 실시하였다.

3) 철근콘크리트의 부착강도

철근콘크리트의 부착강도를 측정하기 위해서는 여러 가지 방법들이 제안되고 있지만 철근과 콘크리트의 응력상태에 따라 압축인발시험, 인장인발시험 및 보시험으로 나뉜다. 본 연구에서는 철근의 기계적 부착특성을 파악하기 위하여 압축인발시험(Pull-out test)을 실시하였으며, 시험체는 KS F 2441과 ASTM C 234를 참고하여 그림 4에 나타낸 바와 같이 $150 \times 150 \times 150$ mm의 직육면체 모양으로 하였으며, 그 속에 D19의 이형철근을 매입하였다.

재생 굵은 골재를 0, 30, 50, 70 및 100%로 혼합율을 달리하여 각각 3개씩 인발시험체를 제작하였다. 제작된 시험체는 그림 4와 같은 방법에 따라 실시하였으며, 각 하중단계에 따른 슬럼프량은 변위계를 사용하여 측정하였다

3.3 콘크리트 배합

물-시멘트비 50%로 하여, 재생 굵은 골재를 0, 30, 50, 70 및 100%로 혼합한 콘크리트 배합은 표 3과 같다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 재생골재의 물리적 성질

골재의 입도, 조립률, 굵은 골재 최대치수 등을 측정하고, 골재로서의 적부, 각종 골재의 적당한 비율의 결정, 콘크리트의 배합설계, 골재의 품질관리 등에 필요한 KS F 2502에 규정된 골재의 체기름 시험방법을 수행하여 표 4, 5 및 6의 결과를 얻었다.

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

항 목	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	감열감량 (%)	비 중	분말도 (cm ² /g)
종 류 OPC	21.95	6.59	2.81	60.1	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112

표 2. 골재의 물리적 성질

항 목	비 중	흡 수 율 (%)	실 적 륜 (%)	조 립 륜	단위용적질량 (kg/m ³)
잔골재	2.60	0.94	56.8	2.80	1,475
굵은 골재	2.67	0.78	65.4	6.97	1,552
재생골재	2.45	2.78	57.9	6.76	1,263

표 3. 콘크리트 배합표

배합명	굵은 골재 최대치수 (mm)	슬럼프 범위 (mm)	공기량 (%)	W/C (%)	잔골재율 (S/a)	단위량(kg/m ³)					
						물 (W)	시멘트 (C)	잔골재 (S)	굵은 골재(G)		혼화제 (C×%)
									일반	재생	
RG0	200	100	4.5	50	42	170	350	731	1025	0	1.41
RG30								731	717	287	"
RG50								731	512	479	"
RG70								731	307	671	"
RG100								731	0	958	"

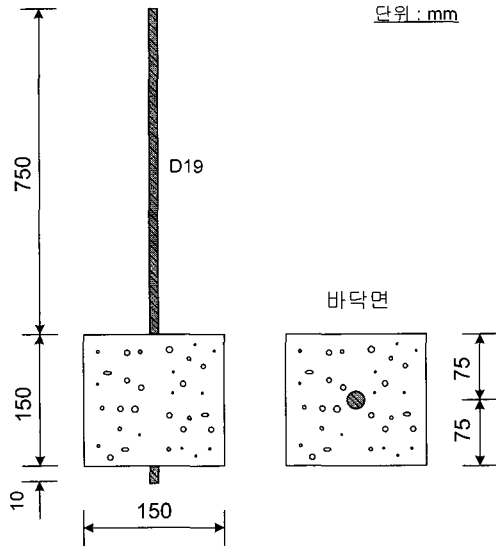


그림 4. 철근콘크리트 부착강도 시험체

한편, 현장에서 생산된 재생골재를 직접 체가름 시험을 한 결과, 보통 굵은 골재의 조립률 6~8사이의 값이 7.21을 얻었으나, 입도분포곡선은 콘크리트 표준시방서의 규정하고 있는 범위를 벗어나므로 입도 조성한 후 입도 분포 곡선 내에 나타낼수 있도록 조성하였다.

골재의 비중은 콘크리트의 단위중량의 결정, 골재의 적부관정을 위해서도 필요하며, 흡수량 시험은 골재의 내부의 공극을 알고, 콘크리트 배합설계 계산에서 사용수량을 조절할 목적으로 수행하였다. 본 연구에서는 KS F 2503에 규정된 굵은 골재의 비중 및 흡수율 시험방법에 의해 골재의 비중 및 흡수율 시험을 실시하였다. 실험 결과는 위의 표 2에 나타내었으며, 재생골재는 일반 부순돌에 비해 비중이 다소 작게 나타났으며, 흡수량은 매우 크게 나타나고 있어 재생골재 내부에 공극이 많음을 알 수 있었다.

표 4. 일반 부순돌 체가름 시험 결과

체 크기	일반 부순돌(쇄석)			
	체에 남은 양 (g)	체에 남은 양의 백분율(%)	체에 남은 양의 누계 백분율(%)	통과율(%)
20	504	10	10	90
10	3450	69	78	22
5	1015	20	99	1
팬	31	1	100	0
			400	
합계	5000		687	
굵은 골재 최대치수(mm)		20	조립률(FM)	6.87

표 5. 재생골재의 체가름 시험 결과

체 크기	재생골재			
	체에 남은 양 (g)	체에 남은 양의 백분율(%)	체에 남은 양의 누계 백분율(%)	통과율(%)
20	1291	26	26	74
10	3512	70	96	4
5	163	3	99	1
팬	3	1	100	0
			400	0
합계	5000		721	
굵은 골재 최대치수(mm)		20	조립률(FM)	7.21

표 6. 입도 조정 후 재생골재의 체가름 시험 결과

체 크기	재 생 골 재			
	체에 남은 양 (g)	체에 남은 양의 백분율(%)	체에 남은 양의 누계 백분율(%)	통과율(%)
20	350	7	7	74
10	3084	62	69	4
5	1550	31	100	1
팬	16	0	100	0
			400	0
합 계	5000		676	
굵은 골재 최대치수(mm)		20	조립률(FM)	6.76

4.2 재생골재를 사용한 콘크리트의 기초물성

1) 압축강도

포장용 콘크리트 슬래브 두께산정을 위한 보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트의 설계기준 휨강도는 4.5 MPa 이상을 원칙으로 하고 있지만, 본 연구에서 재생골재를 혼합한 콘크리트의 압축강도를 측정하여 평가하였다. 그림 5는 재생골재를 5단계로 혼합하여 압축강도 공시체를 제작하였고, 각 재령별 압축강도를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이 그림에서 나타낸 바와 같이 재생골재를 혼합함으로써 콘크리트의 압축강도는 감소하였으며, 재생골재 혼합율 100%의 경우 재령 28일에서의 압축강도가 21.8 MPa로 가장 작은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 재생콘크리트의 물성에 관련한 기존의 연구결과와 유사한 결과로서 굵은 골재의 입도, 흡수율 및 재생골재 표면에 붙어 있는 이물질이 남아있기 때문으로 사료된다.

한편, 재생골재를 철근콘크리트 및 무근콘크리트에서 사용할 때 굵은 골재로는 재생 굵은 골재 1종, 잔골재로는 천연골재를 사용해야 하며, 이때 설계기준강도

는 18~21 MPa를 목표로 하고 있다. 따라서 본 실험에서 사용된 재생 굵은 골재는 1종의 품질로써 재령 28일의 압축강도가 21 MPa를 만족하는 결과를 얻었다.

2) 인장강도

연속철근콘크리트포장에서 콘크리트의 인장강도는 두가지로 사용하고 있다. 첫째, 공시체의 휨시험(3등분 점재하)에서 유도해 낸 파괴계수(또는 휨강도)는 소요 슬래브두께를 결정하는데 이용한다. 둘째, 보강철근설계에는 AASHTO T198과 ASTM C496 시험에 의한 간접인장시험으로 얻어진 인장강도를 기준으로 하여 설계한다. 만일, 간접인장강도를 얻기 어려운 경우 28일 휨강도의 86%에 해당되는 값을 인장강도로 적용할 수 있다. 그림 6은 재생 굵은 골재의 혼합율을 달리하여 제조한 콘크리트의 재령별 할렬인장강도를 측정하여 나타낸 것이다. 즉, 재령 28일에서 인장강도는 재생골재를 혼합함으로써 인장강도가 증가하는 결과를 나타내었으나, 천연골재를 사용한 콘크리트와 거의 유사한 약 2.1 MPa를 나타내었다. 특히, 인장강도의 경우 골재의 특성이 지배적인 요인으로 작용할 수 있음을 알 수 있었다.

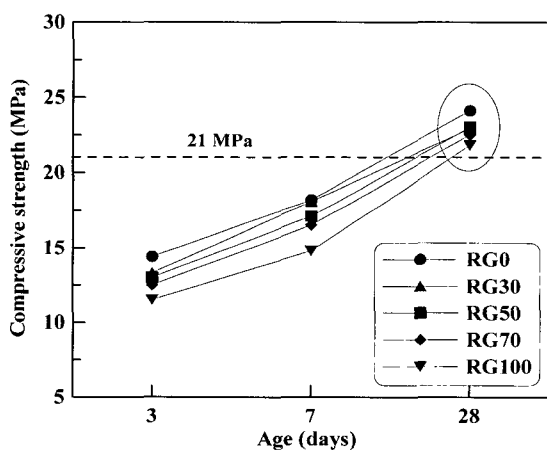


그림 5. 재생골재 혼합율에 따른 콘크리트의 압축강도

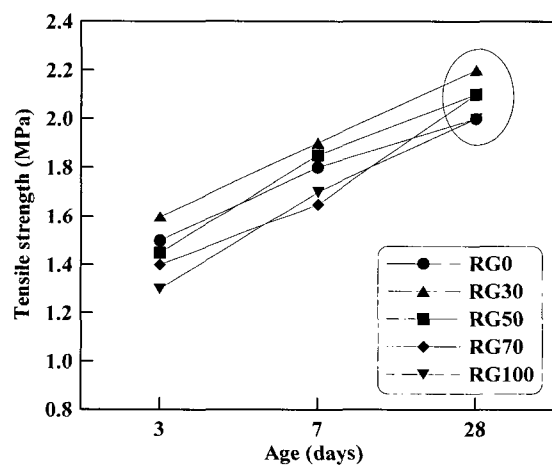


그림 6. 재생골재 혼합율에 따른 콘크리트의 인장강도

4.3 재생골재를 사용한 콘크리트의 부착강도

재생골재를 사용한 콘크리트의 골재와 모르타르의 부착특성을 측정하기 위한 국내 규정이 없으므로 KS F 2386 “도로 포장체 부착면의 인장 접착 시험 방법”을 이용하여 부착특성을 평가하였다.

그림 7은 재생골재를 0, 30, 50, 70 및 100% 혼합한 콘크리트 슬래브에서 코어의 절삭 깊이에 따른 부착강도 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 재생골재 혼합율을 5단계로 하여 제조한 콘크리트 슬래브에 코어의 절삭 깊이를 10mm로 하였을 때 콘크리트의 부착강도는 각각 2.47, 2.38, 2.33, 2.19 및 2.04 MPa로 나타났다. 또한, 콘크리트 슬래브에 코어의 절삭 깊이를 크게 할수록 콘크리트의 부착강도는 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 응력집중에 기인하는 것으로 판단된다.

4.4 재생골재를 사용한 철근콘크리트의 부착강도

철근콘크리트 부재에서 철근과 콘크리트간의 부착은 부재의 역학적 거동을 지배하는 주요인 중의 하나이다. 한편, 기존 연구 결과에 의하면 콘크리트 압축강도 및 인장강도와 부착응력 사이의 관계는 일정하지 않다. 콘크리트 압축강도 21 MPa 이하에서는 부착응력은 압축강도가 증가함에 따라 증가하지만 압축강도가 21 MPa이 넘으면 그 증가비율은 줄어든다고 한다.

따라서 재생골재를 혼합한 콘크리트에서 철근과 부착응력을 알아보기 위하여 재생골재의 혼합율을 0, 30, 50, 70 및 100%로 달리하여 압축인발시험체를 제작하여 실험한 결과를 그림 8에 나타내었다.

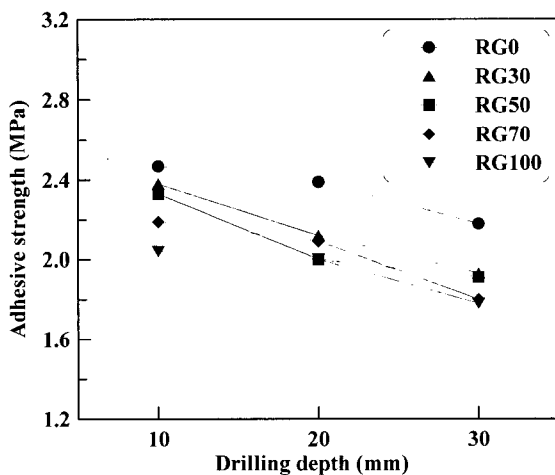


그림 7. 재생골재를 혼합한 콘크리트의 부착강도

즉, 슬립량이 최대일 때 RG0, RG30, RG50, RG70 및 RG100 시험체의 부착응력은 각각 10.7, 9.7, 9.8, 8.0 및 7.4 MPa로 나타났으며, 재생골재의 혼합율이 증가할수록 부착응력은 감소하는 경향을 나타내었다.

이러한 결과는 재생골재를 혼합율을 증가시킴에 따라 콘크리트의 압축강도가 감소하는 것과 비슷하였으며, 철근과 콘크리트의 부착응력은 콘크리트의 압축강도에 많은 영향이 있음을 알 수 있었다.

재생골재를 혼합한 철근콘크리트의 압축인발시험으로부터 측정된 슬립량과 하중으로 평균부착응력 또는 최대부착응력을 산정하는 방법은 자유단과 하중단의 슬립량에 따라 여러 가지로 나타낼 수 있다. 영국의 철근콘크리트규준 중 부착응력시험법에 의하면 자유단 슬립 0.025mm의 응력을 초기슬립의 부착응력으로 하고, 0.25mm를 부착응력 판정의 기준치로 규정하고 있으며, 그 외 자유단 슬립량이 0.05mm이거나 하중단 슬립량이 0.25mm일 때의 응력을 평균부착응력으로 나타낼 수 있다. 본 실험에서는 부착실험 결과를 이용하여 평균부착응력을 ASTM C 234에 따라 구하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$f_m = \frac{2(f_{0.025} + f_{0.1} + f_{0.2}) + f_{0.25}}{4} \quad (1)$$

여기서, f_m : 평균부착응력(MPa), $f_{0.005}$: Slip 0.005mm에 대한 부착강도 실험치(MPa)

위의 식으로부터 각 시험체의 평균부착응력을 구한 결과를 표 7에 나타내었다.

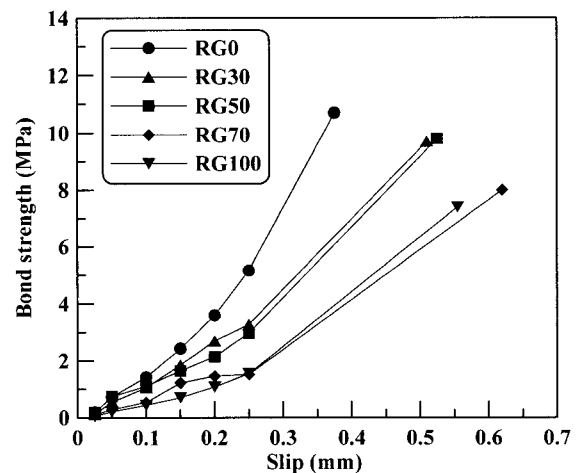


그림 8. 재생골재를 혼합한 철근콘크리트의 부착응력

표 7. 평균부착응력

시험체명	슬립량(mm)에 따른 부착응력(MPa)				평균부착응력
	0.025	0.1	0.2	0.25	
RG0	0.20	1.43	3.60	5.17	3.91
RG30	0.13	1.05	2.70	3.28	2.76
RG50	0.20	1.11	2.15	2.98	2.48
RG70	0.11	0.54	1.46	1.53	1.44
RG100	0.05	0.44	1.08	1.55	1.17

5. 결론

본 연구는 재생골재를 도로 포장용 콘크리트 골재로 적용시키기 위한 연구를 실시하였고, 이에 따른 결론을 다음과 같이 도출하였다.

- 1) 현장에서 생산된 재생골재를 직접 채가름 시험을 한 결과, 조립률은 7.21을 얻었으며, 입도 곡선은 KS F 2525의 도로용 부순골재에서 규정하고 있는 범위를 벗어나므로 입도 조성 후 실시한 실험결과, 비중은 2.44, 흡수율은 2.78 및 조립률은 6.76으로 도로용 부순골재로써 규정을 만족하였다.
- 2) 재생골재를 5단계로 혼합하여 압축강도 공시체를 제작하여 각 재령별 압축강도를 측정된 결과, 재생골재를 100% 혼합한 경우 가장 작은 값을 나타내었으나, 재생골재를 철근콘크리트 및 무근콘크리트에서 사용할 때 설계기준강도는 21 Mpa를 만족하는 결과를 얻었다.
- 3) 재생 굵은 골재의 혼합율을 달리하여 제조한 콘크리트의 재령별 활렬 인장강도를 측정된 결과, 재령 28일에서 인장강도는 재생골재를 혼합하므로써 인장강도가 조금 증가하는 결과를 나타내었으나, 천연골재를 사용한 콘크리트와 거의 유사한 약 2.0~2.1값을 나타내었다.
- 4) 재생골재를 5단계로 혼합한 콘크리트 슬래브에서 코어의 절삭 깊이에 따른 부착강도를 측정된 결과, 코어의 절삭 깊이를 10mm로 하였을 때 각각 2.47, 2.38, 2.33, 2.19 및 2.04 MPa를 얻었으며, 콘크리트 슬래브에 코어의 절삭 깊이를 크게 할수록 골재와 모르타르 계면의 부착강도는 감소하는 경향을 나타내었다.
- 5) 재생골재를 혼합한 철근콘크리트에서 철근과 콘크리트의 부착응력을 알아보기 위하여 압축인발 시험을 한 결과, 슬립량이 최대가 되었을 때 RG0, RG30, RG50, RG70 및 RG100 시험체의 부착응력은 각각 10.7, 9.7, 9.8, 8 및 7.4 MPa를 나타내었으며, 재생골재의 혼합율이 증가할수록 부착응력은 감소하는 경향을 나타내었다.

이상의 결과를 종합해보면 재생골재를 포장용 콘크

리트 골재에 적용 가능한지를 알아보기 위한 실험적 연구 결과로써 양질의 골재를 생산하는 것이 가장 중요한 요소로써 KS F 2573의 1종 굵은 재생골재의 품질 기준인 절건비중 2.2이상, 흡수율 3%이하, 마모율 40%이하, 미립분량 1.5%이하, 실적을 55%이상을 만족한다면, 포장의 보조기층용 뿐만 아니라 콘크리트 슬래브 및 도로 포장용 콘크리트로도 충분히 사용 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 건설교통부 제정 (2003) “도로공사표준시방서”, pp. 219-222.
- 김무한 (1994) “건설폐기물의 리사이클시스템 및 재활용방안에 관한 연구”, 한국폐기물학회지, 제 11권 3호. pp. 444-455.
- 김무한 외 (1993) “재생골재의 혼합조건에 따른 재생골재콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, 제 9권 11호, pp. 109-120.
- 김무한· 최민수 (1993) “국내 폐기콘크리트 발생량의 예측 및 재생골재로의 이용전망에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회논문집, pp. 425-430.
- 이진용 (1997) “재생골재의 생산과 활용방안”, 폐기물, pp. 62-97.
- 이진용, 이인대 (1996) “폐콘크리트 재활용기술에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제8권, 제1호, pp. 172-179.
- 장재영, 진정훈, 조규태, 남영국, 진찬기, “인천지역의 콘크리트 폐기물을 재생골재로 활용한 재생콘크리트의 강도특성”, 한국콘크리트학회논문집, Vol. 15, No. 2, 2003, pp. 197-208
- 한국도로공사 (1997) “건설폐기물 처리 및 재활용 요령”, pp. 1-128.

© 논문접수일 : 2005년 03월 15일

© 심사의뢰일 : 2005년 03월 16일

© 심사완료일 : 2005년 03월 28일