

# 골재-모르타르 경계면의 부착강도 특성

## Bond Strength Characteristics Between Aggregate and Mortar

박연동\* 양주경\* 임희철\*\* 김진근\*\*\* 장정수\*\*\*\*  
Park, Yon Dong Yang, Joo Kyoung Yim, Hee Cheol Kim, Jin Keun Jang, Jeong Soo

### ABSTRACT

The effects of water-cement ratio, age, and admixture such as fly ash, silica fume on the bond strength between aggregate and mortar were investigated. As the result, with increasing of water-cement ratio, the bond strength was slightly decreased while the compressive strengths of mortar and concrete were seriously decreased. The rate of strength gain of bond strength was not decreased with increasing of water-cement ratio while that of compressive strength was gradually decreased.

#### 1. 서론

콘크리트는 크게 나누어 보면 시멘트 매트릭스(matrix)와 골재로 이루어진 복합재료이다. 그러므로 압축강도, 인장강도와 같은 콘크리트의 강도를 지배하는 주 요인을 매트릭스와 골재의 강도 및 매트릭스와 골재 사이의 부착강도로 볼 수 있을 것이다. 이 중에서 가장 취약한 부분은 매트릭스와 골재의 부착부분으로 콘크리트가 압축강도의 30% 이상의 응력을 받기 시작하면 부착 균열(bond crack)이 발전하기 시작하여, 50%를 넘어서면서부터 서서히 매트릭스 균열(matrix crack)로 진전되기 시작한다.

일반적으로 매트릭스 및 골재의 강도 또는 그것들이 콘크리트의 강도에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔으며 잘 알려진 사실인데 반하여 부착강도 특성에 관한

연구는 상대적으로 적은 편이며, 콘크리트의 강도에 미치는 영향 또한 정확히 규명되지 못하고 있다. 다수의 연구자들에 의해서 부착강도 특성 및 콘크리트 강도와 관계를 규명하고자 하는 연구가 시도되었는데, (1)-(5) Alexander 등은 콘크리트 강도(인장 및 압축)와 페이스트(paste) 강도 및 부착강도는 선형 관계에 있다고 보고하였다. (6) 그러나 Fagerlund는 그의 연구로부터 시멘트와 골재의 부착은 콘크리트의 압축강도에 별 영향을 미치지 못한다고 결론지었다. (6) Hsu 등(7)은 콘크리트의 극한강도는 부착강도에 크게 영향을 받지 않으며, 부착강도의 증가는 단지 미세균열(micro crack)이 진전되기 시작하는 응력 수준(stress level)을 증가시킨다고 하였다.

본 연구에서는 모르타르 강도 수준에 따른 콘크리트 강도와 골재-모르타르 부착강도 특성 및 플라이애쉬, 실리카흄 등 혼합재료가 모르타르 강도, 콘크리트 강도 및 골재-모르타르 부착강도에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석하고자 한다.

\* 정회원, KAIST 토목공학과 박사과정  
\*\* 정회원, 조선대 건축공학과 석사과정  
\*\*\* 정회원, KAIST 토목공학과 부교수  
\*\*\*\* 정회원, 조선대 건축공학과 부교수

## 2. 실험

### 2.1 실험 계획

모르타르 강도 수준에 따른 골재-모르타르 부착강도 특성을 파악하기 위하여 물-시멘트비 70, 50, 40, 30%를 변수로 선정하여 실험을 수행하였다. 이때 시멘트와 모래의 비율은 각 배합이 적절한 작업성(workability)를 확보할 수 있도록 선정하였으며, 물-시멘트비가 낮아 배합비의 조절로만은 작업성의 확보가 곤란한 배합들(W/C=40, 30%)은 고유동화제(superplasticizer)를 사용하여 작업성을 확보하였다.

플라이애쉬 첨가에 따른 영향을 분석하기 위하여 물-시멘트비 70, 40, 30%에 대하여 플라이애쉬를 중량비로 10, 20% 첨가하여 그 영향을 분석해 보았다. 또한, 실리카흙에 대해서도 연구를 수행하였는데, 강력한 포졸란 재료인 실리카흙은 대부분 고강도 콘크리트에 이용되는 혼합재료이므로 비교적 고강도 배합인 물-시멘트비 40, 30%에 대하여 중량비로 7.5, 15% 첨가하여 그 영향을 분석해 보았다.

골재 종류에 따른 강도 특성을 파악하기 위하여 2 종류의 암석(화강암 및 석회암)을 사용하여 부착강도 시험용 공시체를 제작하였으며, 콘크리트 압축강도 시험용 공시체 역시 2 종류의 쇄석(화강석 및 석회석)을 사용하여 제작하였다. 모르타르 및 콘크리트의 자세한 배합비는 표 1 및 표 2와 같다.

### 2.2 실험 재료

시멘트는 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 모르타르 및 콘크리트 제조용 잔골재는 조립율(F.M.) 2.65의 금강에서 채취한 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 최대크기 25mm의 쇄석을 사용하였다. 부착강도 시험 제작용 석재는 원석을 석재 가공공장에서 다이아몬드 톱을 사용하여 15×15×25cm 크기의 정사각 기둥 모양으로 가공하는 방법으로 제작하였다. 플라이애쉬는 국산 플라이애쉬 중에서 콘크리트용 혼합재료로 비

교적 적합하다고 알려진 보령화력발전소 산 유연탄 플라이애쉬를 사용하였으며, 실리카흙은 노르웨이산 Elkem Microsilica(분말 제품)를 사용하였다. 고유동화제는 ASTM C 494 Type F에 해당되는 나프탈린계의 제품을 사용하였다.

표 1. 모르타르 배합비

공시체 번호	W/C* (%)	S/C* (%)	혼합재료	고유동화제 (%)
M-1	70	300	-	-
M-2	70	300	FA(10%)	-
M-3	70	300	FA(20%)	-
M-4	50	200	-	-
M-5	40	200	-	0.6
M-6	40	200	FA(10%)	1.0
M-7	40	200	FA(20%)	1.0
M-8	40	200	SF(7.5%)	1.0
M-9	40	200	SF(15%)	1.0
M-10	30	100	-	1.0
M-11	30	100	FA(10%)	1.2
M-12	30	100	FA(20%)	1.5
M-13	30	100	SF(7.5%)	0.7
M-14	30	100	SF(15%)	1.0

\* (시멘트+혼합재료)를 표시함.

표 2. 콘크리트 배합비

공시체 번호	W/C* (%)	S/C* (%)	S/b (%)	혼합재료	고유동화제 (%)
C-1	70	300	50	-	-
C-2	70	300	50	FA(10%)	-
C-3	70	300	50	FA(20%)	-
C-4	50	200	40	-	-
C-5	40	200	40	-	1.0
C-6	40	200	40	FA(10%)	1.0
C-7	40	200	40	FA(20%)	1.5
C-8	40	200	40	SF(7.5%)	1.5
C-9	40	200	40	SF(15%)	2.0
C-10	30	100	35	-	1.0
C-11	30	100	35	FA(10%)	1.2
C-12	30	100	35	FA(20%)	2.0
C-13	30	100	35	SF(7.5%)	1.5
C-14	30	100	35	SF(15%)	1.5

\* (시멘트+혼합재료)를 표시함.

### 2.3 비빔 방법

비빔에 사용된 믹서는 공칭용량 80리터의 콘크리트용 강제식 믹서이다. 모르타르 비빔

의 경우, 모래와 시멘트를 투입하여 1분간 건비빔한 다음, 물 또는 물과 고유동화제를 동시에 첨가하여 모르타르를 제조하였다. 콘크리트 비빔의 경우는 재료를 굵은골재, 잔골재, 시멘트의 순으로 투입하여 1분간 건비빔한 다음 물과 고유동화제를 동시에 첨가하여 3분간 비벼 콘크리트를 제조하였다.

## 2.4 공시체 제작

모르타르 압축강도 시험용 공시체는 5×5×5cm 몰드를 사용하여 KS L 5105의 방법에 준해서 제작하였다. 콘크리트 압축강도용 공시체는  $\phi 10 \times 20$ cm 몰드를 사용하여 붓다짐 방법으로 KS F 2405에 따라 제작하였다. 부착강도 시험용 공시체는 단면이 15×15cm이고 길이가 25cm인 석재를 평평한 바닥에 수직으로 세운 후 거푸집을 설치한 다음 모르타르를 타설하여 15×15×50cm의 크기로 제작하였다. 압축강도 시험용 공시체는 제작 후 24시간만에 탈형하고, 부착강도 시험용 공시체는 제작 후 48시간만에 탈형하여 상온 하에서 시험시까지 습윤양생을 실시하였다.

## 2.5 실험 방법

모르타르 압축강도 실험은 KS L 5105 시멘트 모르타르의 압축강도 시험 방법에 준하여 3, 7, 28일 각 재령당 3개의 공시체를 사용하여 실시하였으며, 콘크리트 압축강도 실험은 KS F 2405에 따라 3, 7, 28일 각 재령당 3개의 공시체를 기본으로 하여 실시하였다. 부착강도 실험은 단면이 15×15cm이고 길이가 50cm(석재: 25cm, 모르타르: 25cm)인 보 공시체를 KS F 2408 콘크리트의 휨강도 시험방법(단순보의 3등분점 하중법)에 준하여 실시하였으며, 부착강도는 골재와 모르타르 부착면의 휨인장강도로써 판정하였다. 이때, 강도 측정 재령은 3, 7, 28일이었으며, 각 재령당 3개의 공시체를 사용하여 실험을 수행하였다.

실험에 사용된 기기는 250톤 용량의 Instron 사의 Closed-Loop Servo-Hydraulic Dynamic Materials Testing System 이다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

표 3, 표 4, 표 5는 각각 모르타르 압축강도, 콘크리트 압축강도, 부착강도에 대한 실험 결과를 나타내고 있다.

표 3. 모르타르 압축강도 실험 결과

공시체 번호	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	3 일	7 일	28 일
M-1	105	127	232
M-2	75.5	145	240
M-3	75.9	123	217
M-4	201	326	395
M-5	306	369	516
M-6	322	366	490
M-7	218	318	448
M-8	366	466	622
M-9	367	484	479
M-10	439	553	724
M-11	509	570	659
M-12	393	516	648
M-13	420	548	763
M-14	403	535	801

표 4. 콘크리트 압축강도 실험 결과

공시체 번호	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	3 일	7 일	28 일
GC-1	106	179	260
LC-1*	115	165	255
GC-2	76.5	108	175
GC-3	73.6	126	201
GC-4	205	274	355
LC-4*	233	294	361
GC-5	341	414	496
LC-5*	323	372	443
GC-6	309	379	476
GC-7	288	368	462
GC-8	359	462	566
GC-9	443	535	640
GC-10	416	497	560
GC-11	413	516	551
GC-12	343	375	464
GC-13	435	536	603
GC-14	473	588	670

\* L은 사용된 굵은골재가 석회석임을 뜻함

### 3.1 재령에 따른 강도 변화

그림 1은 재령 28일의 강도를 기준(100%)으로 하였을 때 재령 3일, 7일의 모르타르 압축강도, 콘크리트 압축강도 및 부착강

표 5. 부착강도 실험 결과

공시체 번호	부착강도 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	3 일	7 일	28 일
GM-1	17.6	20.8	31.7
LM-1*	16.5	17.1	31.0
GM-2	16.7	22.7	27.9
GM-3	17.9	18.9	27.7
GM-4	11.8	20.9	25.7
LM-4*	16.4	21.5	28.2
GM-5	17.9	19.7	29.4
LM-5*	16.2	24.2	32.4
GM-6	22.2	24.6	30.1
GM-7	22.1	23.6	30.6
GM-8	22.6	27.8	32.8
GM-9	18.9	21.4	31.5
GM-10	15.3	24.3	31.5
GM-11	20.3	22.5	35.0
GM-12	21.3	25.6	32.0
GM-13	16.8	23.0	30.0
GM-14	10.7	15.9	35.5

\* L은 사용된 석재가 석회석임을 뜻함

도의 발현 정도를 도시한 것이다.

일반적으로 콘크리트의 경우, 고강도화될 수록 초기 재령에서의 강도 발현율이 높다. 그림에서 알 수 있듯이 3일 재령의 경우, 물-시멘트비 70%(재령 28일 압축강도 260 kg/cm<sup>2</sup>)에서 41%, 물-시멘트비 50%(재령 28일 압축강도 355 kg/cm<sup>2</sup>)에서 58%, 물-시멘트비 40%(재령 28일 압축강도 496 kg/cm<sup>2</sup>)에서 69%, 물-시멘트비 30%(재령 28일 압축강도 560 kg/cm<sup>2</sup>)에서 74%로 물-시멘트비가 낮아짐에 따라 강도 발현율이 높아지고 있다. 7일 재령의 경우도 3일 재령의 경우와 마찬가지로 물-시멘트비가 낮아질 수록 높은 강도 발현율을 보여주고 있다. 모르타르 압축강도의 경우도 강도 발현율은 조금 낮았으나, 강도 발현 경향에 있어서는 콘크리트 압축강도의 경우와 유사하였다. 부착강도의 경우는 조금 상이한 결과를 보여주고 있는데, 재령 3일, 7일 강도 모두 물-시멘트비에 크게 상관없는 강도 발현율을 보여주고 있다. 이러한 결과는 모르타르가 초기 재령에 높은 압축강도를 발현하더라도 그것이 반드시 부착강도를 증진시키지는 못한다는 것을 나타내주고 있다.

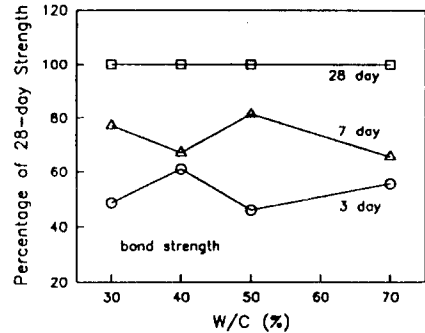
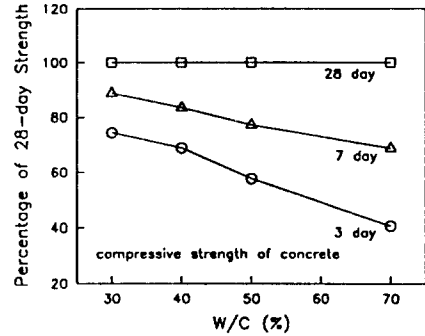
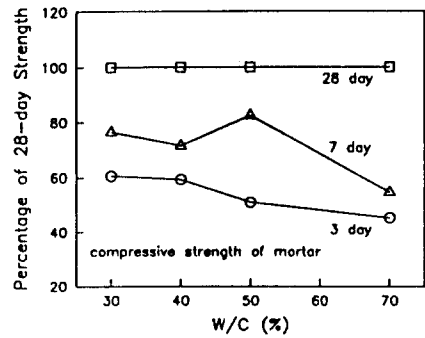


그림 1. 물-시멘트비에 따른 재령강도비

### 3.2 물-시멘트비에 따른 강도 변화

그림 2는 모르타르 압축강도, 콘크리트 압축강도, 부착강도를 물-시멘트비에 따라 도시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 모르타르 및 콘크리트의 압축강도는 물-시멘트비가 증가함에 따라 급격하게 감소하고 있다. 부착강도의 경우는 물-시멘트비가 증가하여도 그다지 큰 강도의 감소를 보이지 않고 있는데, 물-시멘트비가 30%에서 50%로 증가함에 따라 재령 7일 강도의 경우 14% 정도, 재령 28일 강도의 경우 18% 정도의 감소를 보이고 있다. 그러나, 물-시멘트비가 70%인 경우는 재

령 28일 강도가 물-시멘트비 50%인 경우에 비해서 증가하고 있어 일반적인 경우와 약간 상이하다. 본 실험에서 행한 것은 콘크리트 내에서 골재 상부와 모르타르와의 부착에 관한 것과 유사한데, 골재 하부의 부착에 대해서는 물-시멘트비가 커지면 블리딩 등의 영향으로 또 다른 결과가 나타날 수 있을 것으로 본다. 이에 대한 연구는 좀 더 이루어져야 할 것으로 사료된다.

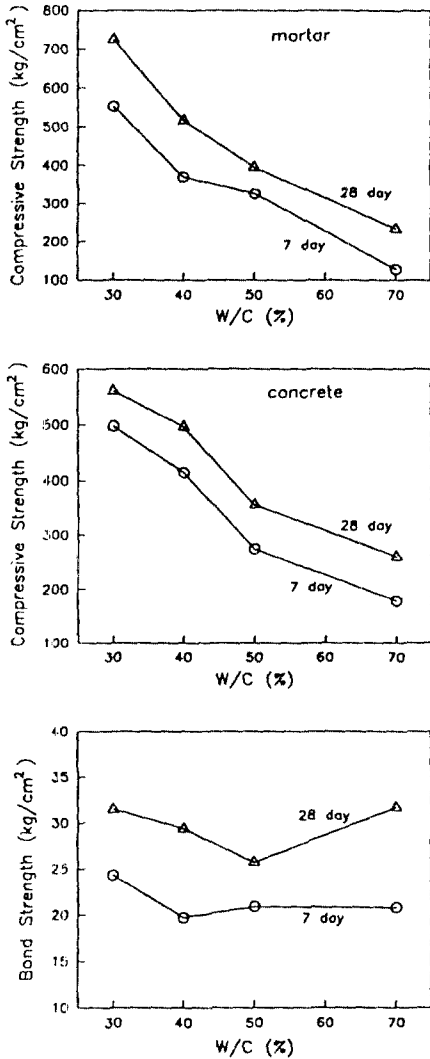


그림 2. 물-시멘트비에 따른 강도

### 3.3 골재 종류 및 혼합재료에 따른 강도 변화

그림 3은 콘크리트의 압축강도 및 골재-모르타르의 부착강도를 골재의 종류에 따라 도

시한 것이다. 콘크리트 압축강도의 경우, 재령에 따른 강도 발현율이나 강도 발현 정도에서 골재 종류에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 부착강도의 경우는 실험 데이터가 다소의 흠어짐이 있었으나 골재 종류에 따른 유의할 만한 차이는 보이지 않았다.

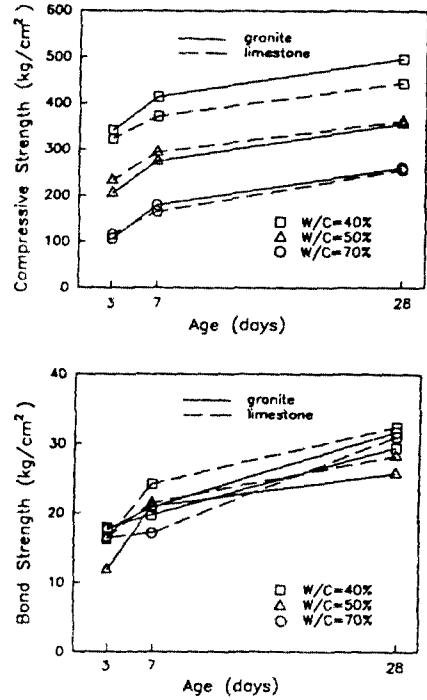


그림 3. 골재 종류에 따른 강도 발현

일반적으로 플라이애쉬를 콘크리트의 혼합재료로 사용하게 되면 초기 강도는 저하된다. 반면, 실리카흄을 콘크리트의 혼합재료로 사용하게 되면 전 재령에 걸쳐서 보통 콘크리트보다 높은 강도를 발현한다. 본 연구의 결과도 표 3, 표 4에 나타나 있는 바와 같이 이와 같은 경향을 보여주고 있다. 부착강도의 경우는 모르타르 및 콘크리트 압축강도와 약간 다른 경향을 보여주고 있는데, 플라이애쉬를 혼합재료로 사용한 경우에 초기 재령의 부착강도가 플라이애쉬를 사용하지 않은 경우에 비하여 약간 높게 발현되었다. 실리카흄을 혼합재료로 사용한 경우에는 압축강도의 증가량에 비하여 뚜렷한 부착강도의 증진을 발견할 수 없었다. 이러한 결과는 실리카흄을 사용하여

강도 증진이 일어날 때 이것이 부착강도의 증진에 의한 것이라기 보다는 모르타르 강도의 증진에 의한 것임을 의미한다고 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

골재-모르타르 경계면의 부착강도 특성을 모르타르 및 콘크리트의 강도와 비교하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 모르타르 및 콘크리트 압축강도의 경우는 물-시멘트비가 낮아질수록 높은 강도 발현율을 나타내었으나, 부착강도의 경우는 물-시멘트비에 상관없이 유사한 강도 발현율을 나타내었다.
- 2) 부착강도는 물-시멘트비가 증가하여도 압축강도와 같은 급격한 강도의 감소를 보이지 않았으며, 물-시멘트비가 30%에서 50%로 증가함에 따라 재령 7일의 강도는 14% 정도, 재령 28일의 강도는 18% 정도 감소하였다.
- 3) 압축강도, 부착강도 공히 골재 종류(화강석 및 석회석)에 따른 유의할만한 강도 차이를 보이지 않았다.
- 4) 플라이애쉬를 혼합재료로 사용한 경우, 플라이애쉬를 첨가하지 않은 경우에 비하여 압축강도는 낮게 발현되었으나 부착강도는 약간 높게 발현되었으며, 실리카흄을 사용한 경우에는 뚜렷한 부착강도의 증가를 발견할 수 없었다.
- 5) 한정된 실험에 의하면, 콘크리트의 고강도화는 부착강도의 증진에 의해서가 아니라 모르타르 강도의 증진에 의해 이루어지고 있음을 보여준다.
- 6) 보다 합리적이고 다양한 실험 방법에 의하여 이 부착강도 특성에 대하여 연구가 진행되어야 할 것으로 본다.

#### 감사의 글

본 연구는 1990년도 과학기술처에서 시행한 특정연구개발사업에 의하여 연구되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. Alexander, K.M., "Strength of the Cement-Aggregate Bond", ACI J., Proceedings, Vol. 56, No. 11, 1959, pp. 377-390.
2. Hsu, T.T.C., Slate, F.O., "Tensile Bond Strength Between Aggregate and Cement Paste or Mortar," ACI J., Vol. 60, No. 4, 1963, pp. 465-485.
3. Zimbelmann, R., "A Contribution to the Cement-Aggregate Bond," Cement and Concrete Research, Vol. 15, 1985, pp. 801-808.
4. Zimbelmann, R., "A Method for Strengthening the Bond Between Cement Stone and Aggregate" Cement and Concrete Research, Vol. 17, 1987, pp. 651-660.
5. Goldman A., Bentur A., "Bond Effect in High-Strength Silica-Fume Concrete," ACI Materials J., Proceedings, Vol. 86, No. 9, 1989, pp. 440-447
6. Struble, L., Skalny, J., "A Review of the Cement-Aggregate Bond," Cement and Concrete Research, Vol. 10, 1980, pp. 277-286.
7. Hsu, T.T.C., Slate, F.O., Sturman, G.M., Winter, G., "Microcracking of Plain Concrete and the Shape of the Stress-Strain Curve," ACI J., Proceedings, Vol. 60. No. 2, 1963, pp. 209-224.