

## 콘크리트와 콘크리트간의 접착강도 : 표면 처리된 접착표면에서 에폭시접착제의 영향

Concrete-to-Concrete Bond Strength :  
Influence of an Epoxy-Based Bonding Agent on a Roughened Substrate



우영진\*  
Young-Jin Woo

본 문헌은 Magazine of Concrete Research 2005년 10월호에 실린 논문을 번역한 것입니다.

본 실험연구는 접착표면의 거침도를 증가시키는 방법과 상업용 에폭시접착제를 적용하는 방법을 통하여 두 콘크리트층 사이의 접착강도를 파악하기 위하여 수행되었다. 총 40개의 슬랜트 전단 반공시체와 40개의 pull-off 반공시체의 접착표면은 잭햄머로 칩핑, 와이어블러싱, 모래분사 하거나 강거푸집에 타설된 면 그대로 준비하였다. 그리고 3개월 후에 접착제를 적용하고 신 콘크리트를 구 콘크리트에 덧붙였다. 인장과 전단접착강도를 측정하기 위하여 pull-off 실험과 슬랜트전단실험을 수행하였다. 실험결과를 분석한 결과 채택된 표면마무리 방법을 통하여 접착표면의 거침도를 충분히 증가 시켰기 때문에 에폭시 계열의 접착제를 바르는 것은 접착강도를 개선하지는 않았다.

### 1. 서 론

구 콘크리트에 신 콘크리트를 덧붙이는 것은 구조물을 강화하거나 보수하는데 있어 일반적으로 적용되는 기술이다. 일반 현장에서는 먼저 접착표면의 거침도를 증가시키고, 가끔 접착제를 추가적으로 바르기도 한다. 그러나 이러한 과정이 경험을 기초로 한 것으로서 접착제를 추가적으로 바르는 방법의 효율성은 증명되지 않았다. 저자는 다른 재령의 두 콘크리트층 사이에 접착제를 적용한 경우의 영향을 정량적으로 표시하기 위하여 본 실험연구를 수행하였다. 선정된 접착제는 상업적으로 넓게 사용되는 두가지 성분의 에폭시수지이다. 접착제를 바르기 전에 접착표면의 거침도를 증가시키기 위한 방법은 현장에서 가장 보편

적으로 사용되는 방법을 사용하였다.

본 연구의 결론을 통하여 설계자는 보다 저렴한 비용에 높은 접착강도를 얻기 위하여 구 콘크리트 접착표면에 가장 최적의 준비된 기술을 선택할 수 있을 것이다.

### 2. 선행연구

접착제를 사용하여 콘크리트 접착표면을 보수한 재료의 접착력에 대한 연구들이 다수 발표되었다<sup>1~7)</sup>. 그러나 각기 다른 연구자들에게서 얻어진 결과들이 늘 서로 일치한 것은 아니었다<sup>3~6)</sup>. 또한 접착강도에 영향을 주는 변수들의 가변성으로 인하여 결론을 예측하고 산출하기 또한 쉽지 않다.

Garbacz 등<sup>7)</sup>에 의하면 보수된 구조물에서의 접착력은 콘크리트 접착표면의 표면거침도, 미소균열의 존재여부, 그리고 보수에 사용되는 재료의 성질에 달려있다고 한다. 여기서 저자들은 표면처리 거침도를 증가시키기 위하여 접착층 사용의 필요성을 증가시킬 것을 언급하였다. Cleland와 Long<sup>8)</sup>은 접착재료의 주된 역할은 콘크리트 접착표면과 보수재료 사이에 접착을 돕게 하는 것이라고 결론을 내렸다. 발표된 연구들에 기초해 볼 때, Talbot 등<sup>9)</sup>은 접착재료의 사용은 결과의 가변성을 줄인다고 밝혔다.

접착제의 특성에 의하여, Emmons<sup>4)</sup>는 접착제는 접착표면과 보수재료 양쪽에 대하여 호환성이 있어야 하며, 접착표면의 작은 구멍조직에 쉽게 흡수되어야 한다고 밝혔다. 여기서 저자는 자주 사용하는 세가지 주접착제로써 시멘트계통의 슬러리, 에폭시, 그리고 리텍스유제를 지적하였다. 접착강도에 있어서, 일반적으로 알려진 접착제를 고려한 경우의 장점에 대하여 모두가 동의하지는 않았다. Austin 등<sup>5)</sup>은 접착층은 콘크리트 접착표면과 보수재료 사이에 접착력을 크게 향상 시키나, 오용 시에는 오히려 접착층이 없는 것보다 훨씬 적은 강도를 유발할 수 있다고 보고하였

\* 대림산업 용인경전철시공사업단현장 과장  
ywoo9@dic.co.kr

다. Cleland와 Long<sup>8)</sup> 또한 보수재료에 있어서 만약 접착층을 사용하지 않는다면 인장접착강도는 크게 감소한다는 것을 지적하였다. Emmons<sup>4)</sup>는 콘크리트 접촉표면에 직접 보수용 재료를 타설하는 것이 충분한 접착을 유도하며, 에폭시접착제를 사용한 경우 접착의 파괴를 가져오는 증기장벽(vapour barrier)을 생기게 할 수 있다고 지적하였다. Saucier와 Pigeon<sup>3)</sup>은 구 콘크리트 바닥면에 직접 신 콘크리트를 타설하는 것이 높은 물/시멘트 비의 시멘트 슬러리를 접착제로 사용하는 것보다 좋다고 결론지었다.

### 3. 실험조사

본 실험연구를 통하여 정의된 목적은 표면의 거칠도를 증가시키는 방법 들을 고려한 접착제 적용시의 영향을 정량화하고, 전단접착강도와 인장접착강도사이의 상호관계를 시험하는 것이다.

다른 연구자들에 의하면 슬랜트 전단시험은 표면 거칠도에 민감하므로 전단접착강도를 측정하는 실험으로 선택되었다<sup>2, 4, 10-13)</sup>(그림 1). 1976년 Kriegh<sup>14)</sup>는 아리조나 슬랜트시험은 에폭시 수지를 선택하기 위해서 가장 '의미 있으며 차별화 되는 실험방법' 이라고 발표하였다. 또한 1978년 Tabor<sup>15)</sup>는 '이 실험방법은 수지의 형식화 변화에 따른 영향을 평가하는 효과적인 방법을 제공한다'라고 발표하였다. Pull-off시험(그림 2)은 슬랜트 전단 시험과는 달리 현장에서 수행 가능하므로 인장접착강도를 측정하기 위하여 선택되었다<sup>16-17)</sup>.

슬랜트 전단시험에 사용된 공시체의 형상은 인터페이스선이 수직에 대하여 30°경사진 20 cm × 20 cm × 40 cm인 각주이다. 공시체들은 정육면체와 원통형의 표준시험과정을 통하여 압축하중 아래서 압축강도를 측정하였다. Pull-off시험에 사용된 공시체의 형상은 인터페이스선이 중앙에 위치한 20 cm 정육면체이다. 덧붙여지는 신 콘크리트에 75 mm직경의 코어를 뚫고, 구 콘크리트 접촉표면의 인터페이스로부터 15 mm를 늘였다. 원형 강디스크는 코어의 표면에 에폭시수지로 접착시켰다. 인장력 0.05 MPa

을 디스크에 파괴가 일어날 때까지 일정한 비율로 적용하였다. 각 경우 대하여, 구 콘크리트와 신 콘크리트의 압축강도를 정의하기 위하여 6개의 표준공시체(각각에 대해 3개씩의 정육면체) 뿐만 아니라 5개의 슬랜트 전단공시체와 5개의 인장공시체를 제작하였다. 구 콘크리트 접촉표면의 거칠도와 그것을 개선시킬 수 있는 방법 이외에 모든 접착강도에 영향을 미칠 수 있는 다음과 같은 매개변수들을 일정하게 유지시켰다.

- 1) 구 콘크리트 배합
- 2) 신 콘크리트 배합
- 3) 양쪽 콘크리트의 재령
- 4) 온도와 상대습도
- 5) 인터페이스표면을 정리하기 위한 방법
- 6) 인터페이스표면의 습한 정도
- 7) 접착제의 종류 그리고 이 접착제의 적용방법
- 8) 신 콘크리트의 준비/적용과 적용/타설 사이에 시간차이를 포함한 접착제 적용방법
- 9) 접착강도 측정방법.

앞에 4가지 매개변수를 일정하게 하기 위해서, 양쪽 콘크리트 강도와 이들 사이에 미세수축을 또한 일정하게 유지하였다. 예비시험을 통하여 정의한 매개변수들은 구 콘크리트 배합, 신 콘크리트 배합, 양쪽 콘크리트의 재령들이다. 비록 현장에서 자주 발생하지는 않지만 일체식 파괴를 피하기 위하여 신 콘크리트와 구

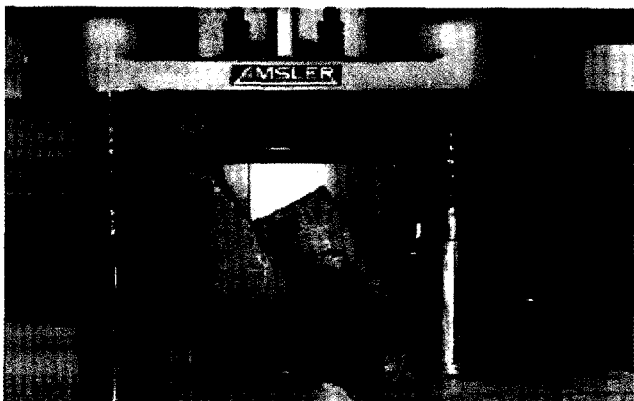


그림 1. 슬랜트 전단시험

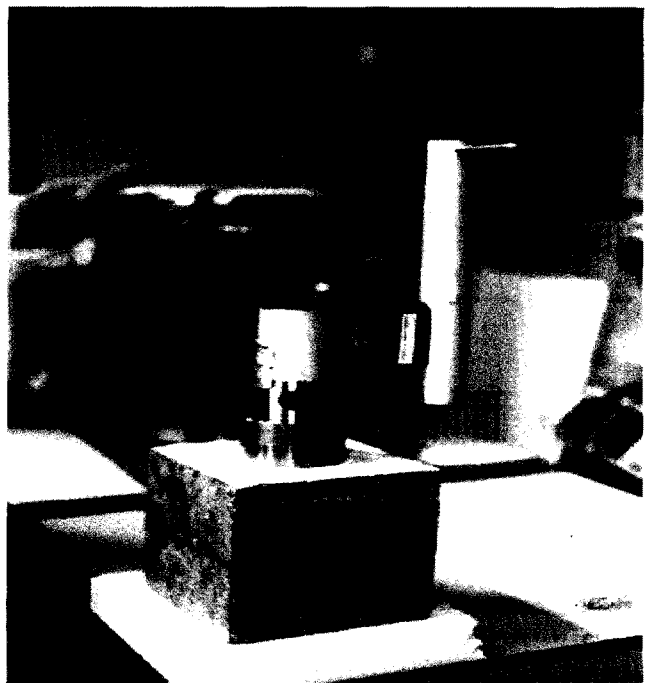


그림 2. Pull-off시험

콘크리트는 같은 콘크리트 배합을 사용하였다. 실험 시 신 콘크리트와 구 콘크리트 사이에 수축변형을 얻기 위하여 양쪽 콘크리트의 재령을 각각 112일과 28일에 맞추었다.

압축강도 50 MPa을 갖는 콘크리트배합을 사용하였다. 이 콘크리트의 성분은 I 타입 360 kg : 포트랜드시멘트 32.5, 변형된 리그닌설포산염(lingnosulphonate) 혼화제 1.6리터, 물 168리터, 세립도 2.84의 규산질모래 813 kg, 세립도 6.16의 석회석 골재 469 kg과 세립도 6.93의 석회석 골재 567 kg이다. 표면을 거칠게 하는 기술은 실무에서 가장 보편적으로 사용되는 방법을 적용하였다. 고려된 표면처리 방법은 다음과 같다.

- 1) (1r)과 (1) 강거푸집에 타설된 표면
- 2) (2r)과 (2) 스틸블러시로 마무리(그림 3)
- 3) (3r)과 (3) 부분적인 칩핑(그림4)
- 4) (4r)과 (4) 모래분사를 통한 표면처리(그림 5)

표면마무리는 위에서 언급한 (1)에서 (4)의 경우를 적용하여 구 콘크리트 접착표면 마무리 후에 접착제를 적용하였다(그림 5). 여기서 접착제는 현장에서 가장 널리 사용되는 상업용 에폭시수지를 사용하였다. 이 제품의 화학적 구성은 비페닐 A-휘발성 액체(bisphenol A-epichlorohydrin)수지이며, 양생제로는 4,4-메틸렌 비스(cyclohexylamide)이다. 제작자에 의하면 이 제품은 90 MPa의 압축강도와 45 MPa의 휨강도를 가진다. 모든 경우에 있어서 콘크리트 강화층 타설전에 즉시 접착제를 적용하였다.

#### 4. 실험과 고찰

〈표 1〉은 위에서 언급한 8가지 표면마무리 방법을 적용한 구 콘크리트와 신 콘크리트의 평균압축강도를 나타내고 있다. 이 결과는 표준 정육면체 공시체에 수행된 실험결과이다. 또한 표 1에는 슬랜트 전단실험에 의해 결정된 각 경우에 대한 전단 접착강도 평균값도 나타내고 있다. Pull-off실험에 의해 측정된 인장 접착강도 평균값과 신 콘크리트의 이론적인 인장강도값 또한 보여주고 있다. 이 두가지 실험방법에 의해 측정된 모든 공시체에서 관찰되는 파괴모드는 항상 인터페이스에서 접착파괴를 보이고 있다. (1r)경우에서 모든 5개의 공시체에 구멍이 발생하고 코어에 파괴가 일어나 이에 대한 접착강도 평균값은 나타내지 않았다.

앞에서 언급했듯이 표면의 거침도를 제외한 콘크리트 배합, 성분, 재령, 그리고 모든 실험과정들을 포함해서 실험결과에 영향을 줄 수 있는 모든 변수들을 일정하게 하였다. 그러나 구 콘크리트 공시체의 평균압축강도는 50.57 MPa이며, 신 콘크리트의 평균압축강도는 46.33 MPa임을 주목하여야 한다(표 1). 이러한

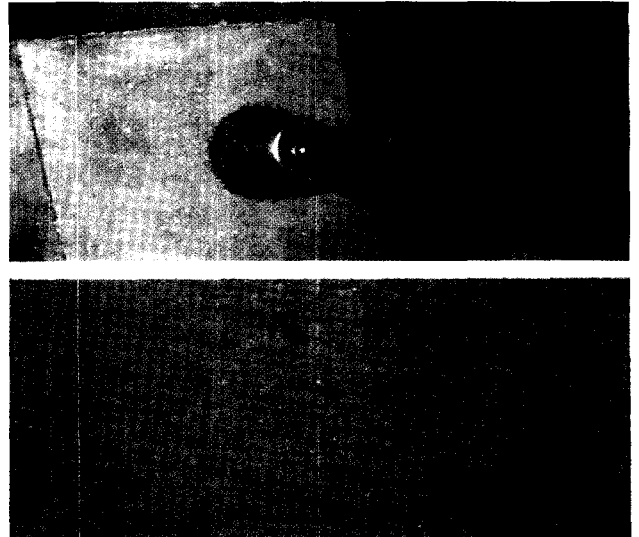


그림 3. 스틸블러시로 처리된 표면

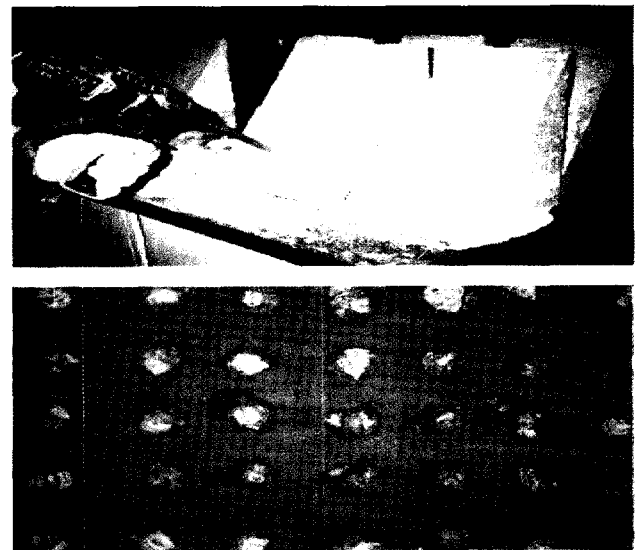


그림 4. 부분적으로 칩핑된 표면

차이는 신·구 공시체가 다른 시간에 타설 되었고, 실험실에서 상대습도와 온도 또한 서로 다르기 때문일 것이다. 실험결과를 분석해 볼 때 2번째 경우에 신 콘크리트의 평균 압축강도(49.38 MPa)는 기준값으로 사용된 평균값보다 훨씬 크다는 것에 주목하여야겠다. 슬랜트 전단실험을 결과를 분석해보면(표 1), 에폭시수지를 적용한 모든 상태에 대하여 전단접착강도는 거의 일정하며, 11 MPa보다 조금 크다는 것을 보여주고 있다. 2번째 경우에 전단접착강도는 12.63 MPa로써 위에서 인용된 사실을 증명해주고 있다고 볼 수 있다.

Pull-off실험 결과를 분석해보면(표 1), 에폭시수지를 적용한 경우를 포함해서 모든 경우에 대하여 1.93과 2.51 MPa 사이 범위 내에서 변하고 있음을 보여주고 있다. 마무리가 따로 되지



그림 5. 모래분사로 처리된 표면



그림 6. 구 콘크리트 접착표면에 에폭시수지 적용

않은 구 콘크리트 접착표면의 경우에 대한 최대값에 주목해 보면 이 차이는 아마 실험자체의 고유한 것이지 표면마무리 방법으로 인한 것은 아닐 것이다. 에폭시수지를 접착제로 사용했을 때 전단 접착강도는 표면마무리 방법에 따라 영향을 받지 않음을 실험결과는 보여주고 있다.

에폭시계열의 접착제를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 슬랜트 전단실험들의 결과(표 1)를 비교해보면 표면마무리

방법을 통해 충분히 거침도를 증가시킨 후 구 콘크리트 접착표면에 접착제를 적용한 경우에는 접착강도를 개선시키지 못하고 있음을 보여준다. 슬랜트 전단 공시체에 모래분사기로 표면처리를 하고 에폭시수지를 적용한 경우에 전단접착강도는 14.13 MPa이며, 적용하지 않은 경우에 전단접착강도는 11.57 MPa이었다.

강거푸집에 타설면 그대로, 부분적인 칩핑, 와이어블러시로 표면처리, 그리고 모래분사로 마무리 되어진 구 콘크리트 접착표면에 에폭시수지를 적용했을 때 시각적으로는 동일하게 된다. 즉 에폭시수지를 적용한 것은 서로 다른 방법으로 표면 처리된 구 콘크리트 접착표면들의 거침도 차이를 없었다고 말할 수 있다. 따라서, 이러한 경우들에 전단접착강도가 동일하다는 것 또한 놀라운 결과가 아닐 것이다. 이는 모래분사로 표면 처리된 후 에폭시수지를 적용한 슬랜트 전단 공시체 결과와 비교해 볼 때 에폭시수지가 적용되지 않은 경우의 결과가 큰 것 또한 설명이 될 것이다.

본 연구의 두번째 목적은 슬랜트 전단실험 결과와 pull-off 실험의 상호관계를 조사하기 위한 것이다. <그림 7>과 <그림 8>에서 에폭시수지를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대한 슬랜트 전단실험과 pull-off 실험에서 측정된 평균값을 각각 보여주고 있다. <그림 7>에 그래프는 이 슬랜트 전단실험과 pull-off 실험의 상호관계가 선형적임을 보여주고 있으며, 에폭시수지가 적용되지 않은 표면에 대하여 두가지 실험의 상호관계 계수가 0.948임을 알 수 있다. <그림 8>은 에폭시수지를 적용한 표면에 대한 결과를 보여주며, 실험결과들의 상호관계는 거의 일정함을 보여주고 있다.

### 5. 결론과 장래연구

본 논문에서 실험연구를 통하여 구 콘크리트 접착표면의 거침도를 충분히 증가시키는 방법을 사용한다면, 접착표면에 접착제를 적용시키는 것은 인터페이스의 접착강도를 개선시키지는 않는다는 결론을 얻었다. 또한 모래분사로 표면 처리된 방법이

표 1. 실험결과

구분	구 콘크리트 접착표면 처리방법	에폭시 수지 적용 유·무	압축강도		인장강도		Pull-off 실험		슬랜트 전단실험	
			구 콘크리트(MPa)	신 콘크리트(MPa)	신 콘크리트(MPa)	인장 접착강도(MPa)	변화계수(%)	전단 접착강도(MPa)	변화계수(%)	
1r	강거푸집에 타설면 그대로 마무리	No	50 · 95	47 · 42	3 · 81				1 · 30	33 · 85
1		Yes	50 · 08	45 · 22	3 · 75	2 · 40	14 · 17		11 · 20	7 · 95
2r	와이어 블러시로 표면 처리	No	49 · 66	46 · 11	3 · 78	1 · 92	13 · 54		10 · 67	8 · 90
2		Yes	50 · 88	49 · 38	3 · 97	2 · 24	12 · 05		12 · 63	15 · 44
3r	부분적으로 칩핑	No	51 · 40	45 · 46	3 · 69	1 · 47	1 · 48		6 · 24	20 · 67
3		Yes	49 · 69	46 · 61	3 · 86	1 · 93	19 · 69		11 · 16	11 · 47
4r	모래 분사로 마무리	No	50 · 60	45 · 14	3 · 58	2 · 65	6 · 42		14 · 13	8 · 56
4		Yes	50 · 80	45 · 30	3 · 64	2 · 08	21 · 63		11 · 57	2 · 59

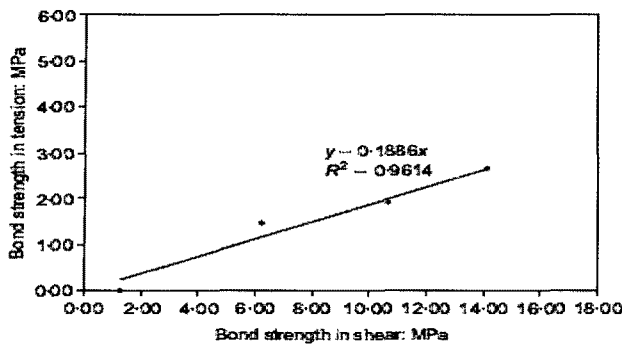


그림 7. 에폭시수지를 적용한 경우의 슬래브 전단실험과 pull-off 실험 사이에 상호관계

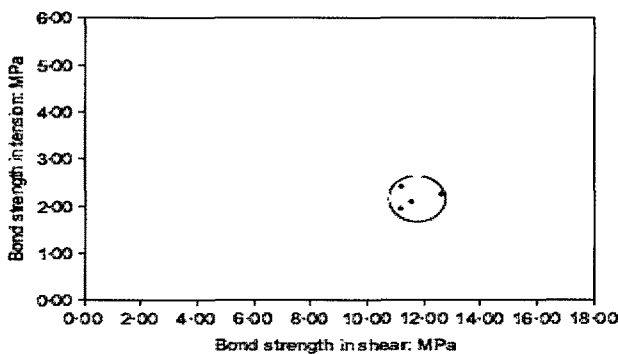


그림 8. 에폭시수지를 적용하지 않은 경우의 슬래브 전단실험과 pull-off 실험 사이에 상호관계

접착제를 적용 했을 때 보다 적은 비용으로 접착강도를 보다 개선시킨다는 것을 보여주고 있다. 사용된 접착제는 널리 사용되고 있는 상업용 에폭시수지이다. 접착제 적용 방법에 따른 접착강도의 영향은 추가적인 실험연구를 통하여 조사할 계획이며, 이 연구에서는 다른 에폭시계열의 접착제에 또한 고려될 것이다.

슬래브 전단실험과 pull-off 실험의 결과 사이에 상관관계 또한 입증하였다. 슬래브 전단실험은 실험실에서만 가능한 실험인 반면에 pull-off 실험은 현장에서 수행될 수 있기 때문에 만약 서로의 상호관계가 미리 정의된다면, 전단에 대한 접착강도가 현장에서 산정될 수 있을 것이다. □

### 참고문헌

1. Murray M. A. Surface preparation for adhesives. *Concrete International*, No. 9, 1989, 11, pp. 130 ~ 132.
2. RIZZO E. M. and SOBELMAN M. B. "Selection criteria concrete repair materials", *Concrete International*, No. 9, 1989, 11, pp. 46 ~ 49
3. SAUCIER F. and PIGEON M. Durability of new-to-old concrete bondings. *Proceedings of the ACI International Conference Evaluation and Rehabilitation of Concrete Structures and Innovations in Design*, Hong Kong, Vol. 1, 1991, pp. 689 ~ 707.

4. EMMONS P. H. "Concrete Repair and Maintenance, Part Three: Surface Repair", Section 6: Bonding Repair Materials to Existing Concrete. R. S. Means Company, MA, 1944, pp. 154 ~ 163.
5. AUSTIN S. ROBINS P and PAN Y. Tensile bond testing of concrete repairs. *Materials and Structures*, RILEM, 1995, Vol. 28, No. 179, pp. 249 ~ 259.
6. JULIO E. S., BANCO F. and SILVA V. D. "Structural rehabilitation of columns using reinforced concrete jacketing". *Progress in Structural Engineering and Materials*, No. 1, 2003, 5, pp. 29 ~ 37.
7. GARBACZ A., GORKA M. and COURARD L. On the effect of concrete surface treatment on adhesion in repair systems. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 57, No. 1, 2005, pp. 49 ~ 60.
8. CLELAND D. J. and LONG A. E. "The pull-off test for concrete patch repairs". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Structures & Buildings*, Vol. 122, No. 4, 1997, pp. 451 ~ 460.
9. TALBOT C., PIGEON M., BEAUPRE D. and MORGAN D. R. Influence of surface preparation on long-term bonding of shotcrete. *ACI Materials Journal*, Vol. 91, No. 6, 1994, pp. 560 ~ 566.
10. JULIO E. N. B. S. "The Influence of the Interface on the Behavior of Columns Strengthened by RC Jacketing. PhD Thesis", University of Coimbra, 2001. (only available in Portuguese)
11. ABU-TAIR A. I., RIGDEN S. R. and BURLEY E. "Testing the bond between repair materials and concrete substrate". *ACI Materials Journal*, Vol. 93, No. 6, 1996, pp. 553 ~ 558.
12. WALL J. S., SHRIVE N. G. and GAMBLE B. R. Testing of bond between fresh and hardened concrete. *Proceeding of the Rilem International Symposium "Adhesion between polymers and concrete"*, Aix-en-Provence, France, 16-19 1986. 9, pp. 335 ~ 343.
13. MOMAYEZ A., EHSANI M. R., RAMEZANIANPOUR A. A. and RAJAIE H. "Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials". *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 4, 2005, pp. 748 ~ 757.
14. KRIEGH J. D. Arizona slant shear test: a method to determine epoxy bond strength. *ACI Journal*, Vol. 73, No. 7, 1976, pp. 372 ~ 373.
15. TABOR L. J. "The evaluation of resin systems for concrete repair", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 30, No. 105, 1978, pp. 221 ~ 225.
16. LONG A. E. and MURRAY A. McC. "The pulling-off partially destructive test for concrete. In Situ/ Nondestructive Testing of Concrete". (MALHOTRA V. M. (ed)), SP-82. *American Concrete Institute*, Detroit, MI, 1984, pp. 327 ~ 350.
17. HINDO K. R. "In-place bond testing and surface preparation of concrete", *Concrete International*, Vol. 12, No 4, 1990, pp. 127-129.