

교면 덧씌우기 콘크리트의 引拔附着强度 試驗法 提案

Proposal of Concrete Pull Off Bond Strength Measurement Method for Bridge Deck Overlay

김 성 환* 김 동 호** 김 현 오*** 이 봉 학****
Kim, Seong-Hwan Kim, Dong-Ho Kim, Hyun-Oh Lee, Bong-Hak

Abstract

The development and maintenance of a sound bond are essential requirements of concrete repair and replacement. The bond property of an overlay to its substrate concrete during the lifetime is one of the most important performance requirements which should be quantified. A standard or a verified bond strength measurement method is required at field for screening, selecting materials and quality control for overlay or repair materials, but no test method has been adopted as a standard. In this study, a concrete pull off bond strength measurement method for field application is proposed and evaluated.

This study compares the splitting tensile test, slant shear test, nipple pipe direct tensile test, flexural adhesion test, briquette tensile test, jumbo nail pull-out test and core pull-off test with their test procedures. From these comparison and investigation, core pull-off test is selected as a main topic of this study because of its suitability for in situ testing, simplicities in field application and clearness at interface boundary condition.

Thus, the proposed core pull off test is evaluated to be the most appropriate method for field application in a simple manner. The fracture surface and fracture mode could be easily determined by visual observation of failure surface of the field specimen. The core pull off test was found to be sensitive to surface condition and latex contents at latex modified concrete.

키워드 직접인발시험, 니플 파이프 직접인장시험, 휨 인장시험

Keywords core pull-off test, nipple pipe direct tensile test, flexure adhesion test

1. 서론

콘크리트 구조물의 보수·보강에서 중요시되는 것 중의 하나는 신·구 콘크리트의 부착성능이라 할 수 있다. 이러한 콘크리트의 부착성능은 두 콘크리트 사이의 부착강도로서 나타낼 수 있다. 부착

강도를 측정하기 위한 다양한 직·간접적인 방법들이 제시되어 사용되어지고 있다. 하지만 대부분의 시험법은 실내시험을 위한 방법이며, 현장시험이 가능한 시험방법은 거의 없는 실정이었다. 그러나 최근 현장시험이 가능한 코어 인발부착강도 시험법이 제시되었으나 이 시험법 또한 현장에서 적용하기 위한 시험체의 크기나 모양, 시험 절차 재하 방법 등, 이렇다 할 시험규정이 정해져 있지 않은 관계로 주관적인 방법에 의하여 부분적으로 사용되어오고 있다[1,2,4].

본 연구에서는 현장적용을 위한 콘크리트 인발

* 강원대학교 토목공학과 박사과정

** 강원대학교 토목공학과 박사 후 과정

*** 강원대학교 토목공학과 석사과정

**** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

부착강도 시험법을 제안하고자, 시험에 필요한 제 기준을 규정할 수 있도록 코어 인발을 위한 강관 강성의 영향, 적절한 코어직경, 코어직경과 절삭깊이의 관계에 대하여 사용가능한 범위를 산정하였다.

2. 부착강도 실험

2.1 개요

부착력을 측정하기 위한 여러 가지 다양한 시험 방법 중에서 현장에서 적용하기에 가장 적절한 코어 인발부착시험법(Core pull-off test)을 주된 시험법으로 선정하였다. 보조적인 시험방법으로 사각빔 몰드를 이용한 휨인장부착 시험방법(Adhesion of flexure test)과 Kuhlmann(1990)이 제안한 니플파이프 직접인장시험법(Direct tensile bond test)을 병행하여 결과를 비교할 수 있도록 하였다.

Fig. 1~3에 인발부착시험, 니플파이프 직접인장 시험, 휨인장부착 시험법에 대한 개요도를 나타내었다.

시험을 통하여 현장 인발부착강도 시험에 필요한 제 요소의 값을 실험적으로 검증 하고자 하였다. 또한 다른 부착강도 시험법을 이용한 동일한 조건의 부착강도 측정치를 비교할 수 있도록 하고, 라텍스 혼입률의 변화에 대한 부착특성을 평가하였다.

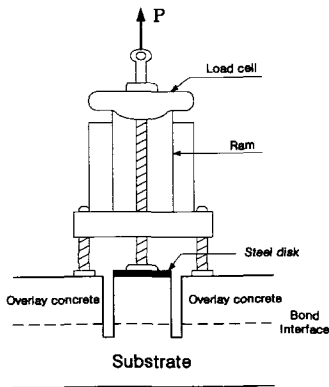


Fig. 1 Schematic of core pull-off bond strength measurement test

2.2 실험변수

본 시험에서는 부착강도를 측정하기 위한 필수 조건중의 하나로서, 공시체의 형상에 따른 응력집중에 영향을 미치는 몇 가지 기하학적 요소를 변화시켜, 그 영향을 실험 결과를 통하여 평가하기 위하여 Table 1과 같은 변수를 정하였다. 재료적 변수는 여러 가지 제한된 조건으로 인하여 몇 가지의 중요한 변수만을 선택하여 실험 하였으며, Table 2에 나타내었다.

실험은 한 개의 변수에 대해 5개의 시험체를 만들었으며, 28일간의 양생을 마친 후 시험하도록 하였고, 각각의 변수에 따른 시험체를 제작할 때마다 코어 인발부착강도 시험체, 니플 파이프 직접인장 부착 시험체 및 사각 빔 몰드 휨 인장부착 시험체를 동시에 제작하였다. 모든 실험은 동일한 조건의

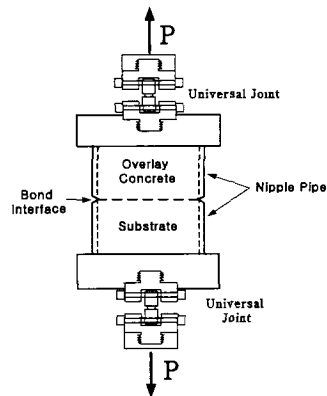


Fig. 2 Schematic of nipple pipe tensile bond test

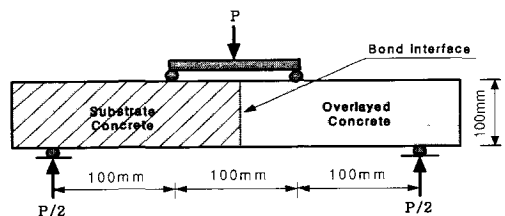


Fig. 3 Arrangement of flexural bond strength test

Table 2 Material experiment variables

Table 1 Geometric variables for experiment

Experiment variables	Variables
Steel disk thickness	18mm, 25mm, 36mm
Overlay thickness	-
Core diameter	50mm(D50), 75mm(D75), 100mm(D100), 150mm(D150)
Core depth	0.0cm, 1.0cm, 2.0cm, 3.0cm
Core distance	-
Modulus ratio	-

Concrete	Surface condition	W/C ratio			
		0%	34%	35%	42%
LMC	SSD	■	■	■	
	ASD	■	■	■	
RS-LMC	SSD		■	■	■
	ASD		■	■	■

■ : 시험체 존재
 □ : SSD Surface Saturated On Condition
 □ : ASD Surface Dry Condition

Table 3 Concrete mixture proportions

Type of concrete	Latex contents (%)	W/C (%)	Mix proportions (kgf/m)					S/a (%)	Antifoamer contents 1)	Super-plasticizer contents 2)
			Cement	Latex	Water	Sand	Gravel			
OPC	-	49	390	-	191	950	731	58	-	-
LMC	5	39	390	43	128	979	754			
	10	36		87	93	968	745			
	15	31		130	49	969	746			
		34			61	952	733			
		38			77	929	715			
20	25	173	2	975	751					
RSLMC	15	36	390	122	74	952	716	58	1.0%	1.0%
		38			82	940	707			
		40			89	958	698			

양생과 시험을 통하여 최종 결과 값을 비교 할 수 있도록 하였다. 특히 파괴 경향을 분석하기 위하여 파괴모드에 대한 형태(Types of failure modes)를 3부분으로 나누어 기록하였다. 즉, 파괴모드는 파괴 층에 따라 구체부분(Substrate concrete)파괴, 보수재료 부분(Overlay)파괴 및 계면(Bond interface)에서의 파괴로 나누었으며, 양 파괴단면을 목측에 의해 파괴단면 전체면적이 100%가 되도록 측정하여 면적 백분율을 산정하였다.

2.3 콘크리트 배합설계 및 양생

본 연구에 사용한 콘크리트 배합의 종류는 크게 3종류로서 구체 콘크리트(Substrate concrete), 1종 라텍스 개질 콘크리트(LMC), 초속경 라텍스 개질 콘크리트(RSLMC)로 나눌 수 있으며, 여기에서는 각각 물-시멘트비의 변화와 라텍스 혼입률의 변화

를 주었다 또한 라텍스 혼입률 변화시, 동일 슬럼프 조건을 만족시키기 위해서 배합수량을 조정하였다.

구체 콘크리트의 표면상태에 따른 영향을 평가하기 위하여 3가지 종류의 물-시멘트 비를 갖는 초속경 개질 콘크리트를 시험하였다 또한 1종 라텍스 개질 콘크리트에 대해선 라텍스 혼입률에 따른 영향을 평가하기 위하여 5가지의 혼입률에 대해 변화를 주었고, 물-시멘트 비의 변화에 따른 영향을 평가하기 위한 변수를 정하기 위하여 예비시험을 실행하고 그 결과를 토대로 Table 3과 같이 시방 배합표를 작성하였다.

덧씌우기에 사용한 라텍스 개질 콘크리트(LMC, RSLMC)는 양생 초기에 건조수축으로 인한 균열 발생이 우려된다 양생제의 살포로 균열을 방지할 수 있으나, 본 연구에서는 비닐을 사용하여 콘크리트 표면의 수분증발을 방지하도록 하였고, 양생기간 동안 양생실의 기온이 20℃를 유지하도록 하였다.

2.4 시험체 제작 및 시험

2.4.1 인발부착시험

현장에서의 콘크리트 교량 슬래브와 같은 환경을 조성하고 실험을 진행하기 위해 1,100×2,300×200mm인 슬래브(Type A) 8개와 1,100×1,100×200mm의 슬래브(Type B) 6개를 제작하였으며, 코어 인발부착강도 시험체 제작에 필요한 덧씌우기 콘크리트는 기존 구체콘크리트의 벽체 거푸집을 따라 50×50mm 각목을 덧대어, 50mm 두께로 덧씌우기 하였다. 양생 초기에 발생하기 쉬운 건조수축균열을 방지하기 위하여 비닐로 덮어 표면의 수분증발을 방지하였다. 콘크리트 코어는 전동 코어드릴을 사용하였으며, 코어를 절삭하는 동안 위치의 변위가 생기지 않도록 4개의 앵커볼트로 절삭장치를 고정시켰다. 특히, 간이 수평기를 이용하여 콘크리트 표면위에 절삭용 비트가 수평이 되도록 설치함으로써 절삭 시 표면에 대하여 수직으로 절삭 되도록 하였다. 코어에 부착하여 인발하게 될 강판(seel disk)은 직경 50, 75, 100, 150mm, 두께 18, 25, 36mm의 강재로 제작하였고, 강판의 부착은 유동성이 작은 에폭시를 사용하는데, 콘크리트의 최대 부착강도보다 큰 부착력에 견딜 수 있도록 하였다.

에폭시가 충분히 경화된 후 인발시험을 실시하였다. 인발시험에 의한 시험체의 파괴는 대부분 파열음과 함께 취성파괴가 이루어짐으로 이때의 최대하중 값을 기록하여 파괴하중값으로 사용하였으며, 파괴경향을 분석할 수 있도록 하기 위하여 파괴모드 형태(Failure modes)를 3부분으로 나누어 기록하였다.

2.4.2 니플 파이프 직접인장 시험

직접인장시험에는 강재로 된 니플 파이프와 ϕ 100×200mm의 콘크리트 원주형공시체(Substrate concrete)를 조합하여 사용하였다. 28일간 양생한 원주형 공시체는 콘크리트 절삭기를 사용하여 ϕ 100×100mm가 되도록 2등분하였고, 이렇게 만들어진 공시체는 각각 표면건조포화상태(SSD) 및 기건상태(ASD)를 유지 하도록 하여 시험체를 제작하여, 28일간의 양생을 마친 후 부착강도를 측정하였다. 니플 파이프 직접인장부착시험에 의한 부착강도 측정에 사용된 기계는 용량 10ton의 INSTRON (Model 8506)을 사용하였다. 하중은 약 1.0mm/min의 속도로 변위제어에 의해 재하 하였다.

2.4.3 휨인장부착시험

휨인장부착 시험에 사용할 시험체는 구체 콘크

리트를 모형화한 콘크리트 공시체와 덧씌우기를 재현한 공시체가 각각 1/2씩을 이룬 사각형의 빔 물드이다. 이와 같은 공시체는 코어 인발부착 시험용 슬래브를 제작할 때 100×100×460mm의 직육면 공시체를 함께 제작하여 동일한 조건에서 양생하였다. 양생된 공시체는 100×100×230mm의 크기가 되도록 콘크리트 절삭기로 절단한 다음, 미리 준비한 1/2사각 공시체(Substrate)를 빔 물드에 넣고 나머지 1/2은 덧씌우기 콘크리트로 채워 제작하였다. 빔 물드의 휨인장부착 시험은 KS F 2408에 의한 콘크리트의 휨강도(단순보의 3등분점 하중법) 시험방법과 동일한 방법으로 하중을 재하 하였다.

3. 인발부착강도 시험결과 및 평가

본 연구에서는 보다 명확한 분석을 위하여 파괴형상에 대한 구분을 다음과 같이 설정하여 분석하였다

파괴모드 I : 콘크리트와 강판의 순수계면 파괴(부착강도측정불능)

파괴모드 II : 콘크리트와 강판의 부착면 복합파괴(부착면강도)

파괴모드 III : 코어 부분에서의 파괴(부착 혹은 재료의 인장강도)

3.1 부착강판 두께의 영향

부착강판 두께의 변화는 신·구 콘크리트 부착계면에 대한 응력집중의 영향은 매우 미소하였으나, 부착강판과 콘크리트 부착면에 대한 영향은 매우 클 것으로 예상되었다. 이러한 강판과 콘크리트 부착면에서의 응력집중은 현장 및 실내에서 부착강도 측정 시 오류를 가져오게 하는 요인 중 하나로 작용하게 된다.

Fig. 4는 T/D비를 0.1~0.2, 0.2~0.3 및 0.3이상으로 분류하여 도표로 나타낸 그림이다. T/D비가 0.1~0.2사이에선 파괴모드 I 과 파괴모드 II가 지배적이어서 사실상 부착강도 측정이 불가능함을 보여주고 있다. T/D비가 0.2~0.3에서는 일부 시험체에서 파괴모드 II가 발생했으나 어느 정도 시험이 가능함을 알 수 있다. 그러나 0.3이상에서는 전체가 파괴모드 III으로 나타나 정상적인 부착강도 측정이 가능하며, 절삭 직경과 강판 두께비에 따라 부착강도의 측정시 파괴모드가 변화되는 것을 알 수 있다. 응력집중현상은 T/D비가 작을수록 커져서 부착면에서 매우 쉽게 탈리 현상을 나타내고, T/D비가 일정수준이상일 경우, 응력집중현상의 완화로 인하여 보다 정확한 두 재료간의 부착강도를 측정할 수 있었다. 즉, 파괴모드 III을 얻기 위해서는 반드시 T/D비를 고려하여야 함을 알 수 있다. Fig. 5는 T/D비의 변화에 따른 강판 부착강도 변화를 나타낸 그림으로서, T/D비가 0.3이상

비하여 0.1~0.2의 부착강도 값은 65%, T/D비가 0.2~0.3에선 91%의 값을 나타내어 응력집중의 영향이 크게 작용하고 있음을 보여주고 있다. 따라서 신·구 콘크리트 사이의 부착강도 값보다 응력집중을 고려한 강판의 부착강도 값이 커야만 인발부착강도 시험이 가능하다는 것을 나타내고 있다

3.2 절삭직경의 영향

Fig. 6은 인발부착 시험에 있어서 사용되는 시험체의 직경변화에 따른 부착강도의 변화를 나타낸 것이다. 시험체의 직경이 50~100mm까지는 부착강도의 변화가 동일하게 측정되었으나, 시험체 직경 150mm에서는 급격한 부착강도 저하 측정치를 나타내고 있다 즉, 코아 직경의 변화로 인해 부착강도가 최대 57%이상의 차이를 보였다. 포 괴경향을 살펴보면 Fig 7과 같이, 직경

50mm와 75mm에선 구체 콘크리트 부분에서 파괴가 이루어져, 사실상 신·구 콘크리트 계면의 부착강도라기 보다 기존 콘크리트의 인장강도 값이 기록되어졌다. 그러나 직경 100mm에선 70%가 부착계면의 부착강도 값을 측정하였고, 직경 150mm의 경우는 97%가 부착계면의 부착강도 값을 측정하였다

이러한 결과로부터 절삭 직경의 크기와 측정되는 부착강도와 상관성을 알 수 있었다. 절삭 직경 100mm 이하에서의 직경 변화에 따른 부착강도는 차이를 보이지 않았고 150mm에선 급격한 차이를 보였다. 절삭 직경만을 고려한 경우, 현장에서 신·구 콘크리트의 부착계면 부착강도를 측정하기엔 직경 100mm를 사용하는 것이 적절하고, 절삭 직경과 절삭 깊이를 고려치 않을 경우엔 최대 절삭 직경은 100mm를 넘지 않아야 할 것으로 판단된다

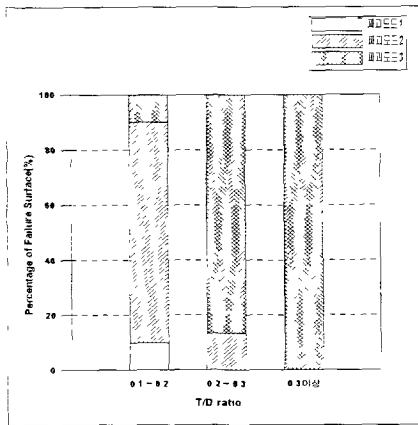


Fig. 4 Failure mode with T/D

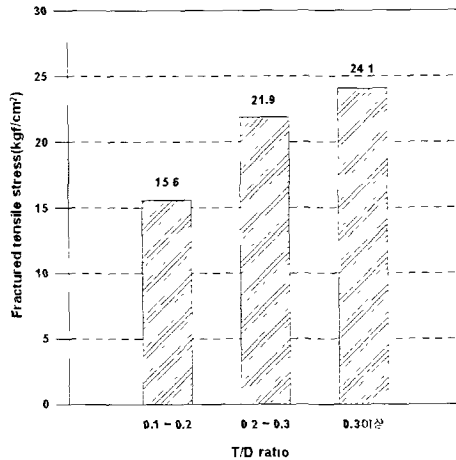


Fig. 5 Fractured tensile strength with T/D

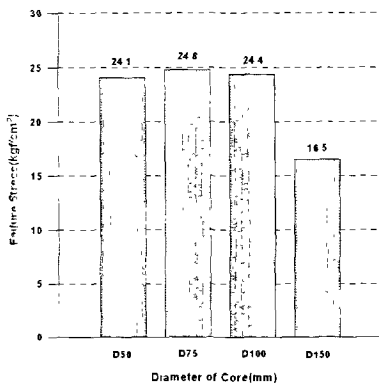


Fig. 6 Failure strength with cutting diameter

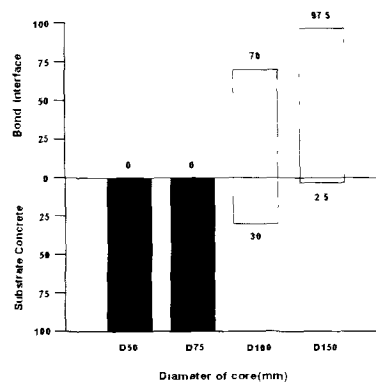


Fig. 7 Failure trends with cutting diameters and failure mode

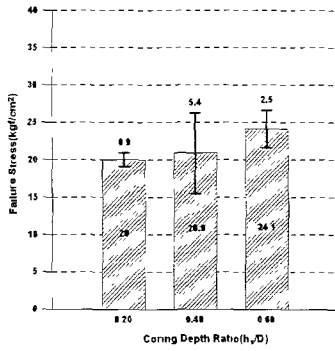


Fig. 8 Failure strength by coring depth ratio(D50)

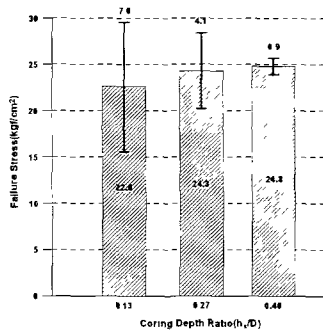


Fig. 9 Failure strength by coring depth ratio(D75)

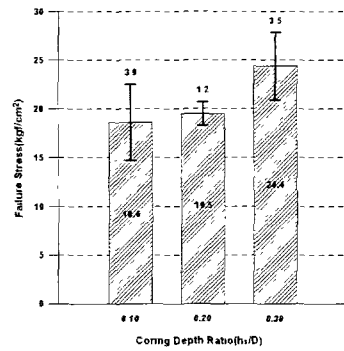


Fig. 10 Failure strength by coring depth ratio(D100)

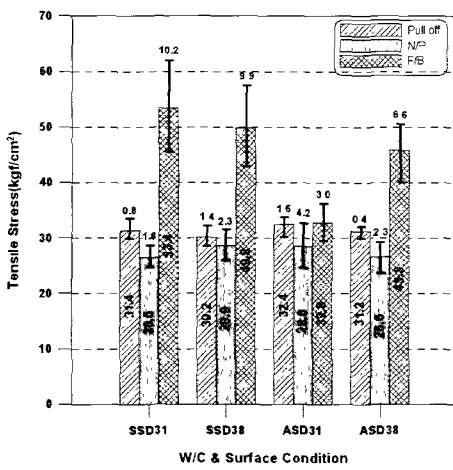


Fig. 11 Comparison of failure strength with three test methods on LMC

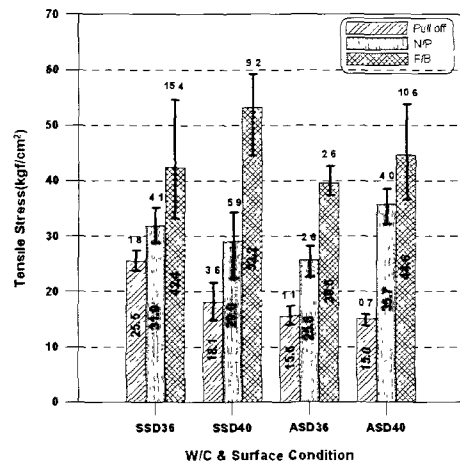


Fig. 12 Comparison of failure strength with three test methods on RSLMC

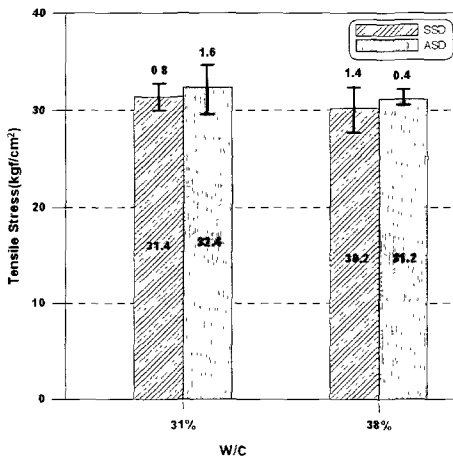


Fig. 13 Effect of surface condition at LMC

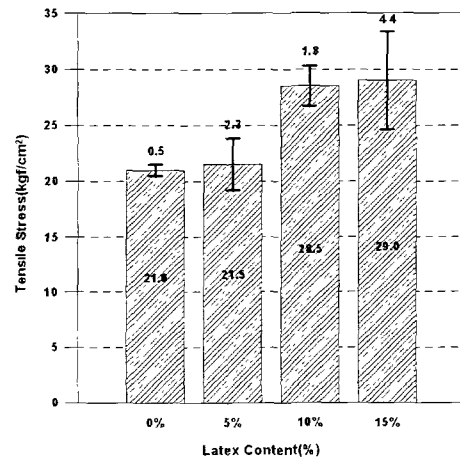


Fig. 14 Effect of latex content at LMC

3.3 절삭깊이의 영향

Fig 8~10의 결과를 비교하여 보면, 모든 경우에 있어 절삭 직경에 대한 절삭 깊이비가 커질수록 부착강도 측정치가 증진되는 경향을 보이고 있다. 이것은 앞절의 유한요소해석 결과에서 대부분 hs/D 비가 0.25에서 최소값을 나타내고, hs/D 비가 작아질수록 급격하게 응력집중계수가 증가하지만, hs/D 비가 커지게 되면 응력집중계수가 다소 증가한다는 해석 결과와 일치하는 것이다 따라서, 적절한 코어 직경과 절삭깊이와의 관계는 신·구 콘크리트의 부착계면에서 파괴를 유도할 수 있고 응력집중의 영향을 최소화 할 수 있는 범위의 값을 선택하는 것이 바람직하며, 코어직경 100mm, 절삭깊이 20~30mm가 가장 적절할 것으로 판단된다.

3.4 인발부착 및 기타 시험결과의 비교·평가

Fig 11은 라텍스 개질 콘크리트에서 세 가지 시험법에 의한 부착강도 값을 나타낸 그림이다. 인발부착강도 시험법과 비교할 때, 니플 파이프 직접인장부착 시험법의 경우 11.7% 감소한 강도값을 보였으며, 휨인장부착강도 시험법의 경우는 45.4%의 증가한 강도를 보이고 있다 또한 인발부착강도 시험법에서의 표준편차는 평균 1.05이지만, 니플 파이프 직접인장부착 시험법에선 평균 2.65, 휨인장부착 시험법에선 평균 7.4의 커다란 격차를 보였으며, Fig 12는 초속경라텍스 개질 콘크리트에서 세 가지 시험법에 의한 부착강도 값을 나타낸 그림으로써, 인발부착강도 시험법과 비교할 때, 니플 파이프 직접인장부착 시험법의 경우 65%, 휨인장부착강도 시험법의 경우는 142%의 강도 차이를 보이고 있다 또한 인발부착강도 시험법에서의 표준편차는 평균 1.8이지만, 니플 파이프 직접인장부착 시험법에선 평균 4.2, 휨인장부착 시험법에선 평균 9.5의 커다란 격차를 보이고 있어, 신뢰성 측면에서 인발부착강도 시험법이 유효한 방법임을 보여 주고 있다

3.5 표면조건에 따른 부착강도 특성

Fig 13은 LMC에서 물-시멘트비 및 표면습도조건에 따른 코어인발부착 강도를 나타낸 그림이며, 모든 경우에 있어 구체 콘크리트에서 파괴되는 경향을 나타내었다. 이것은 부착면이 이보다 높은 부착특성을 가지고 있는 것을 의미하는 것이며, 측정된 값이 실질적인 두 이질재료간의 부착강도를 뜻하는 것은 아니나, 매우 높은 부착강도를 갖는 것을 알 수 있다 또한, 물-시멘트비 변화에 따라 약 4%의 강도 차이를 보이고, 표면습도조건에 따른 영향도 약 3%의 강도차이를 보이지만, 강

도 값이 구체 콘크리트의 인장파괴강도이므로 큰 의미가 없다 이 시험에서는 측정치간의 표준편차의 변동이 1.1로 나타나 신뢰성이 매우 높은 것으로 평가되었다.

3.6 라텍스 혼입률에 따른 부착강도 특성

사용된 코어의 직경은 100mm, 구체 콘크리트의 표면상태는 SSD이고, 시멘트 중량에 대비 라텍스 고용분 혼입량을 0, 5, 10, 15%로 변화시켜 시험하였다. Fig. 14는 라텍스 혼입률에 따른 인발부착강도를 나타내고, 라텍스의 혼입률이 증가할수록 전체적으로 부착강도가 증가하는 것으로 나타났다 혼입률 15%에서 38%의 부착강도 증가를 보였고, 혼입률 10%에서도 36%의 부착강도가 증가 하였으나, 혼입률 5%에서는 2%의 부착강도만 증가되었다 이 시험에서의 표준편차는 평균 2.3으로 충분한 신뢰도를 가진 것으로 평가 되었다

4. 결론

구조물의 보수·보강과 같은 신·구 콘크리트의 부착성능을 평가하기 위한 현장적용 시험법으로 코어 인발부착강도 시험법이 선정되었다 그러나, 시험체의 기하형상과 하중조건에 따른 응력집중이 부착강도에 큰 영향을 미치는 문제점으로 조사되었다. 기하학적 문제들을 실험을 통하여 분석하고 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1 신·구 콘크리트 계면의 부착강도 측정을 위하여 코어 상단에 부착된 강관의 두께가 신·구 콘크리트 계면에 미치는 영향은 미비하지만, 부착강관의 강성이 작을 경우, 부착강관의 탈리 현상으로 인해 부착강도의 측정이 불가능하게 된다
따라서 원만한 부착강도의 측정을 위한 절삭직경에 대한 강관두께 비(T/D)는 0.25이상이어야 한다.

2 절삭직경의 영향을 분석한 결과 D50 및 D75의 경우, 작은 직경으로 인하여 절삭작업과정에서 신·구 콘크리트 계면이 손상되기 쉽고, D150의 경우 절삭깊이를 30~45mm로 하여야 함으로 구조물의 상부철근을 손상되기 쉽다.

따라서 D100의 사용이 가장 적절한 것으로 판단 되었다

3 절삭직경과 깊이에 따른 영향을 분석한 결과, hs/D 가 커질수록 응력집중의 영향을 적게 받는 것으로 판단되었다.

따라서 hs/D 를 0.2이상으로 하여야 될 것으로 평가 되었다

4. 인발부착강도 시험법을 비교·평가하기 위한 니플 파이프 직접인장부착 시험법과 휨인장부착 시험법의 실험결과, 인발부착강도 시험법 보다 니플 파이프 직접인장부착 시험법은 65%, 휨인장부착 시험법은 142%더 큰 부착강도를 나타내며, 표준편차는 니플 파이프 직접인장부착 시험법이 4.2, 휨인장부착 시험법은 9.5 인 반면에, 인발부착강도 시험법은 18로 나타나 인발부착강도 시험법의 신뢰성이 대단히 크다는 것을 알 수 있다.

5. 물-시멘트비 및 표면조건에 따른 두 재료간의 부착강도 결과를 비교하기 위한 시험에서, 라텍스 개질콘크리트로 덧씌우기 하였을 경우, 대부분 구체콘크리트 부분에서 파괴가 이루어져 사실상 부착강도를 측정할 수 없지만, 부착강도가 구체 콘크리트의 인장강도보다 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 초속경 라텍스개질콘크리트로 덧씌우기 하였을 경우는 물-시멘트비의 증가에 따라 부착강도가 감소하고, 건조상태보다는 습윤상태가 더 큰 부착강도를 나타 내는 예민한 값의 변화를 보였다. 또한 라텍스개질콘크리트 및 초속경 라텍스개질콘크리트 모두 측정 표준편차가 평균 1.1와 1.8로 작게 나타났다

6. 라텍스 개질 콘크리트의 라텍스 혼입률에 따른 부착강도의 영향은 라텍스 혼입률이 증가할수록 부착강도가 증가하는 것으로 나타났다. 라텍스 혼입률 0%에 비하여 라텍스 혼입률 15%에선 38%, 혼입률 10%에선 36% 부착강도가 증가하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] 윤경구, 김경진, 이남주, 장홍균, 심도식, “라텍스 개질 콘크리트의 부착강도특성”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, Vol.12, No 2, pp.647-652, 2000.
- [2] 윤경구, 장홍균, 김성환, 권 혁, “유한요소 해석과 실험 검증을 통한 콘크리트 직접인발 시험방법 제안”, 한국도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp.41-49, 2001
- [3] 윤경구, 장홍균, 홍창우, 정원경, 이봉학, “교면 덧씌우기 콘크리트의 부착강도 평가 방법 제안”, 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.14, No.1, pp.349-354, 2002.
- [4] 이남주, “라텍스 개질 콘크리트의 부착강도 특성”, 강원대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.
- [5] 최상룡, “초속경 SB 라텍스개질 콘크리트의 개발”, 강원대학교 대학원 박사학위 논문, 2002.
- [6] 콘크리트 인장 강도 시험 방법(한국산업규격

KS F 2423)

- [7] ACI COMMITTEE 503, “Guide for the Selection and use of Structural Adhesives with Concrete”. ACI Materials Journal, Vol.89, Issue. 1, 1992.
- [8] ASTM C1042-85, “Standard Test Method for Bond Strength of Latex System Used with Concrete”. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, 04.01, 1985.
- [9] Austin S. A., and Robins P. J., “Development of Patch Test to study Behaviour of Shallow Concrete Patch Repairs”, Magazine of Concrete Research. 45, No.164, pp 221-229. 1993.
- [10] Austin, S. A., Robins, P. J. and Pan, Y., “Tensile Bond Testing of Concrete Repairs”, RILEM Materials and Structures, Vol.28, pp.249-259. 1995.