



배합 및 접합면 처리에 따른 신·구 콘크리트의 부착특성 평가

조병두¹⁾ · 김상현²⁾ · 전세진^{2)*}

¹⁾도화엔지니어링 철도부문 ²⁾아주대학교 건설시스템공학과

Assessment of Bond Characteristics between New and Old Concrete in Various Mixtures and Joint Conditions

Byeong-Du Cho,¹⁾ Sang-Hyun Kim,²⁾ and Se-Jin Jeon^{2)*}

¹⁾Railway & Metro Division, Dohwa Engineering, Seoul 135-518, Korea

²⁾Dept. of Civil Systems Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

ABSTRACT Although the construction joints of a concrete structure are properly treated with some measures, leakage has frequently occurred. A series of tests on the bond characteristics between new and old concrete were carried out in this study, assuming that the leakage at the construction joints has certain relationship with the bond of concrete. To assess the bond characteristics under various conditions, a number of specimens were made that have an interface between new and old concrete and bond strength, flexural strength and splitting tensile strength were measured. Main test variables are type and amount of mineral admixtures, treatment method of the interface and type of waterstops. In addition, the effects of placing interval between the concrete and of the age of the strength tests were investigated. The test results showed a slightly increased bond strength when applying mineral admixtures, which can be attributed to the interface filled with the calcium silicate hydrate that is formed by pozzolanic reaction. On the other hand, the bond strength was higher when the interface was treated rough and dry, and the roughness of a waterstop affected the bond capacity of the waterstop. Also, an assessment is required that considers the type of strength test because the bond strength varied according to the test methods.

Keywords : construction joint, bond, mineral admixture, blast furnace slag, fly ash

1. 서 론

콘크리트 구조물에는 시공이음부, 신축이음부, 수축이음부와 같은 이음이 존재한다. 그 중 시공이음부는 설계 시 구조적으로 일체로 보지만 콘크리트 타설 물량이나 거푸집 배치 등의 시공성을 고려하여 불가피하게 끊어치는 곳을 의미한다. 이러한 시공이음부에서는 구조적 일체성 확보를 위해 신·구 콘크리트 접합면을 적절히 처리하고 또한 누수 방지를 위하여 지수판도 설치하게 된다. 철근 또한 신·구 콘크리트에서 연속되도록 이음을 실시한다. Fig. 1은 전형적인 시공이음부의 형상을 보여주고 있다.

그러나 상기와 같은 조치에도 불구하고 Fig. 2와 같이 시공이음부의 누수 사례가 빈번히 발생하여, 이에 따른 구조물의 내구성 저하 및 막대한 보수 비용이 문제가 되

고 있다. 이러한 누수는 콘크리트 단면 내 또는 내부 공간의 배선이나 전자 기기에다 악영향을 미칠 수 있으므로 그 영향이 지대하다. 또한 이러한 누수에 대한 여러가지 보수 방법들이 제안되었지만 완벽한 보수는 용이하지 않으며, 보수 및 재보수에 많은 노력, 비용 및 시간이 투입되고 있는 실정이다.

이처럼 콘크리트는 그 자체로는 우수한 방수층 역할을 하지만 이를 위한 전제 조건으로 이음부나 관통균열을 통한 누수가 방지되어야 한다. Fig. 1과 같은 시공이음부의 구조에서 지수판이 찢김 없이 올바르게 시공되었다는 전제 하에 누수가 발생하기 위해서는 먼저 지하수 또는 물에 접한 외면으로부터 배면 방수층의 결합 부위를 통해 수분이 침투해야 한다. 그러한 수분이 신·구 콘크리트의 접합부를 따라 이동하다가 지수판을 만났을 때 지수판과 콘크리트의 경계면을 따라 계속 침투한 후 다시 신·구 콘크리트 접합부를 거쳐 내면에 도달하면 누수가 발생하게 된다. 이처럼 시공이음부 누수는 배면 방수층의 성능, 지수판의 성능, 지수판과 콘크리트의 접합성능 및 신·구 콘크리트의 접합성능이 복합적으로 관련된 문제이다.

*Corresponding author E-mail : conc@ajou.ac.kr

Received March 24, 2014, Revised April 29, 2014,

Accepted April 29, 2014

©2014 by Korea Concrete Institute

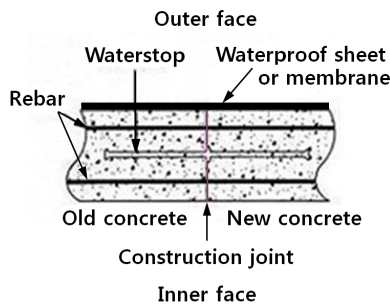


Fig. 1 Construction joint of concrete structures



Fig. 2 Leakage at construction joints

따라서, 이 연구에서는 시공이음부의 구조적 일체성 뿐 아니라 누수에 큰 영향을 미치고 있는 신·구 콘크리트 경계면의 접합성능을 실험적으로 검증해 보았다. 이러한 접합성능은 설계, 시공 및 배합 특성 측면에서 검토해 볼 수 있다. 이를 고려하기 위해 주된 실험 변수로는 접합면의 처리방법 및 배합의 종류를 포함시켰으며, 그 외 타설 간격의 영향 및 시험 방법에 따른 영향도 고찰해 보았다. 특히 최근에는 대형 매스 콘크리트 구조물에서 수화열 저감 및 내구성 확보를 위하여 다량의 혼화재를 혼입하는 경우가 많으므로 혼화재의 종류를 변수로 고려하였다. 한편 지수관과 콘크리트의 접합성능도 추가로 검토하였다.

2. 기존 연구

해외의 경우 2000년대 이후 SEM(scanning electron microscopy)을 통하여 콘크리트 수화생성물을 분석함으로써 혼화재 사용에 따른 신·구 콘크리트 사이의 부착강도 특성을 규명하려는 연구가 주목할 만하다. 일부 연구¹⁾에서 부착강도의 증가는 배합수량과 SiO_2/CaO 비율의 영향을 받으며, 즉, 많은 SiO_2 와 적은 CaO 를 함유한 혼화재일수록 부착강도가 증가된다고 발표하였다. 그러나 포졸란 재료의 특성상 이러한 현상은 28일 이상의 재령에서 주로 나타났다. 다른 연구^{2,3)}에서는 플라이애쉬의 비정질 실리카가 시멘트 수화에 의한 수산화칼슘과 반응하는 포졸란 반응을 통하여 생성된 칼슘실리케이트(C-S-H) 수화물이 콘크리트 계면의 공극을 메워주게 되어 부착강도가 증가한다고 분석하였다. 한편 플라이애쉬의 원형 입자들도 신·

구 콘크리트 계면의 취약한 미세공간들을 밀실하게 하는 역할을 한다고 하였다. 또한 배합 성분의 Ca/Si 의 비가 낮을수록 부착강도가 증대된다는 결론을 제시하였으며, 이는 Kuroda 등¹⁾의 연구와 유사한 결과를 산출한 것이다.

반면 국내의 연구에서는 이론적 규명보다는 주로 실험에 치중하여 접합면 처리와 시험 방법에 따른 신·구 콘크리트의 부착강도 특성에 관한 분석이 이루어졌다. 먼저 시험법의 종류에 따라 신·구 콘크리트의 부착강도 차이가 크므로 부착강도에 영향을 미치는 많은 인자에 대한 일반화 작업을 통해 재현성이 우수하고 신뢰할 수 있는 시험법을 찾고자 하는 연구가 있었다.⁴⁾ 또 다른 연구에서는 다양한 방법으로 처리한 접합면 중 워터젯으로 구 콘크리트의 굵은 골재를 노출시키고 접합면이 충분히 습윤한 상태에서 신 콘크리트를 타설하는 것이 가장 바람직하다고 제시하였다.⁵⁾ 그러나 이는 워터젯 사용 시 경계면 배합수가 증가하여 부착강도 저하 가능성이 있다는 연구^{6,7)}와 상반된 결과를 보인 것이며, 접합면 건습에 따른 영향이 불분명하다는 연구^{4,8)}와도 차이를 보이고 있다. 한편, 휨강도 시험에 의한 휨부착강도는 휨인장강도의 15~27% 범위로 측정되었으며, 건조수축 현상이 부착강도를 저하시키므로 건조수축을 최소화할 수 있는 배합을 적용하고 습윤양생을 실시하는 것이 중요하다는 연구가 이루어졌다.^{9,10)}

한편 국내외의 시방서를 분석한 결과 시공이음부의 신·구 콘크리트 간 접합면 처리 방법을 일괄적으로 규정하고 있지는 않으나 일부 권장사항을 제시하고 있다. ACI 207.1R¹¹⁾에서는 시공이음부에서 구 콘크리트 면 청소를 위해 샌드 블라스팅 또는 워터젯을 권장하고 있으며, 구 콘크리트 면의 수분이 신 콘크리트의 시멘트 페이스트를 희석시켜 강도가 저하될 우려가 있으므로, 구 콘크리트 면은 습기가 없고 건조한 것이 신·구 콘크리트의 부착에 유리하다고 기술하고 있다. 이는 접합면이 습한 것이 부착에 유리하다는 국내 일부 연구자들의 연구⁵⁾ 결과와 상반되고 있다. 또한 구 콘크리트에 모르타르를 도포하는 기존의 방법은 접착강도나 수밀성 측면에서 적절하지 않다고 언급하고 있다.

한편 국내의 콘크리트표준시방서¹²⁾에서는 해양 구조물의 경우 시공이음부가 온도나 건조수축에 의해 이격되어 누수에 대한 취약부가 되기 쉬우므로 제한적으로 설치하도록 하고 있다. 또한 접합부를 습윤하게 하도록 권장하고, 접합면에 시멘트 페이스트 또는 모르타르를 도포하는 방법을 언급하고 있으나 이는 상기의 ACI 207.1R과 상반되는 규정이므로 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

3. 부착특성 평가 실험

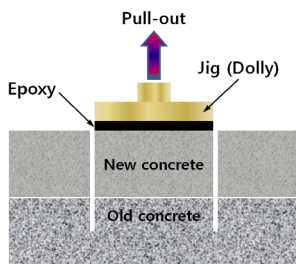
3.1 실험 개요

실험은 1차와 2차로 나누어 수행되었으며, 1차 실험에

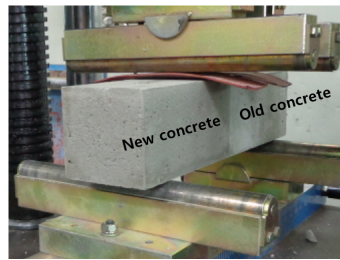
Table 1 Mix proportions of concrete

Mix type	G _{max} (mm)	Air content (%)	Slump flow (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)					AD (B×%)	
						W	Binder (B)			S		G
							OPC	SG	FA			
Plain	25	Below 3	600±50	34.9	43.0	143	410	-	-	815	1,081	1~2.8
SG50							205	205	-	806	1,073	
FA20							328	-	82	803	1,065	
SG50 FA20							123	205	82	797	1,057	

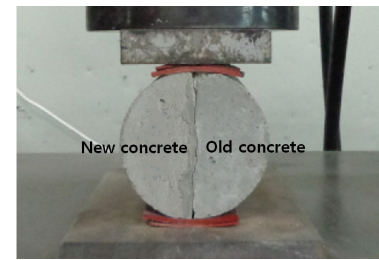
Note) W: water, OPC: ordinary portland cement, SG: blast furnace slag, FA: fly ash, S: sand (fine aggregate), G: gravel (coarse aggregate), AD: admixture (high-range water-reducing agent)



(a) Bond strength test



(b) Flexural strength test



(c) Splitting tensile strength test

Fig. 3 Bond strength tests between new and old concrete

서는 구 콘크리트를 타설하고 7일 후 신 콘크리트를 타설하여 인위적으로 시공이음부를 생성하였고, 2차 실험에서는 타설 간격의 영향을 살펴보기 위하여 타설 간격을 28일로 늘려 보았다. 이러한 신·구 콘크리트 타설 간격은 현장 시공 시 구 콘크리트의 거푸집 탈형 및 시공이음부 전처리, 신 콘크리트의 거푸집 및 철근 조립, 신 콘크리트 타설 작업과 같은 시공 사이클에 의존하게 된다. 또한 시험 방법이 부착특성에 미치는 영향을 고찰해 보기 위해 접착강도 시험, 휨강도 시험, 쪼갬인장강도 시험을 각각 실시하였다. 실험 변수당 2개 시편의 실험 결과값을 평균하였다.

Table 1과 같이 총 4가지의 콘크리트 배합 종류를 실험 변수로 설정하였으며, 즉, 보통포틀랜드시멘트를 사용한 배합(Plain), 시멘트양의 50%를 고로슬래그로 치환한 배합(SG50), 시멘트양의 20%를 플라이애쉬로 치환한 배합(FA20), 고로슬래그 50% 및 플라이애쉬 20%를 동시에 혼입한 3성분계 배합(SG50FA20)을 고려하였다. 결합재량은 동일한 상태에서 결합재 구성 비율에만 차이를 두었으며, 공정한 실험을 위해 공기량이나 유동성은 모든 배합에서 유사하도록 조절하였다. 특히 슬럼프플로우는 600±50 mm로 비교적 크게 설정하여 신·구 콘크리트 접합부가 원활히 충전되도록 하였다.

부착특성의 평가 실험은 접착강도의 경우 Plain 배합 기준으로 1차 실험에서는 신 콘크리트 타설 후 7일 및 14일, 2차 실험에서는 7일, 14일 및 28일에 실시하였다. 한편, 휨강도 및 쪼갬인장강도의 경우 역시 Plain 배합 기

준으로 1차 실험은 14일, 2차 실험은 14일 및 28일 시점에 실시하였다. 혼화제를 사용한 배합의 경우 Plain 배합에 비해 상대적으로 강도의 발현이 늦으므로 Plain 배합의 7일, 14일 및 28일 압축강도와 차이가 각각 ±3 MPa 이내가 되어 강도가 유사해지는 재령에 이르렀을 때 실험을 실시하였다. 예를 들어, 1차 실험에서 Plain 배합의 7일 및 14일 강도에 대응되는 등가재령은 각각 SG50에서 14일 및 28일, FA20에서 9일 및 21일, SG50FA20에서 30일 및 42일이었다. 이는 부착특성의 공정한 평가를 위해서는 부착특성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 콘크리트 강도가 유사해야 할 것으로 판단했기 때문이다. 이하에서 혼화제를 사용한 배합의 재령은 이와 같은 등가의 재령을 의미한다.

신·구 콘크리트 접합부 처리 방법은 건조한 면 및 습윤한 면, 매끈한 면 및 거친 면을 적절히 조합시켜서 변수로 삼았다. 거친 면의 경우 시편별 편차를 최소화하기 위해 일정한 요철 모양이 있는 거푸집을 사용하여 구현하였다. 또한 휨강도 시험 시에는 2가지 종류의 지수판과 콘크리트와의 부착강도를 추가적으로 측정해 보았다.

3.2 접착강도 시험

접착강도는 KS F 2762¹³⁾에 따라 측정하였다. 접착강도 시험용 공시체는 Fig. 3(a)와 같이 신·구 콘크리트를 모사하는 각 층의 크기를 210×150×50 mm로 제작하였으며, 콘크리트 타설 후 온도 20±2°C, 상대습도 65±20%의 표

Table 2 Test variables of bond strength tests

Mix type	Test dates ⁽¹⁾		Treatment of interface	
	1st test ⁽²⁾	2nd test ⁽³⁾		
Bond strength test				
Plain	7, 14 days	7, 14, 28 days	Dry+Smooth Dry+Rough Wet+Smooth Wet+Rough	
SG50	Age when the same compressive strength as that of Plain is achieved			Monolithic
FA20				
SG50 FA20				
Flexural strength test ⁽⁴⁾				
Plain	14 days	14, 28 days	Wet+Rough	
SG50 FA20	Age when the same compressive strength as that of Plain is achieved			Monolithic
Splitting tensile strength test				
Plain	14 days	14, 28 days	Wet+Rough	
SG50 FA20	Age when the same compressive strength as that of Plain is achieved			Monolithic

⁽¹⁾After casting the new concrete
⁽²⁾7 days interval between new and old concrete
⁽³⁾28 days interval between new and old concrete
⁽⁴⁾Bond strength tests between waterstop and concrete were also performed during 1st test.

준상태로 양생하였다. 재령 3일 후 신 콘크리트 표면으로부터 구 콘크리트 중앙부까지 지름 55 mm, 깊이 75 mm로 코어링을 실시하였으며, 콘크리트에 인장 하중을 전달하기 위한 지그 또는 돌리를 설치하여 소정의 재령에 접착강도 시험을 수행하였다. Table 2에는 접착강도 시험의 변수가 요약되어 있다.

3.3 휨강도 시험

휨강도 시험은 KS F 2408⁽⁴⁾에 의거하였다. 크기 100×100×400 mm의 거푸집의 중앙을 차단하여 신·구 콘크리트를 구분하였다. Fig. 3(b)와 같이 4점 재하를 실시하였으며, 실험 변수는 Table 2와 같다. 휨강도 시험 시에는 추가적으로 시공이음부의 누수 차단을 목적으로 사용하는 지수판의 종류에 따른 콘크리트와의 부착성능을 파악해 보았다. 신·구 콘크리트 사이에 KS M 3805⁽⁵⁾에 명시된 가장 보편적으로 사용되는 PVC(폴리염화비닐) 지수판의 종류 중에서 Fig. 4와 같은 CC형 및 FF형 지수판을 위치시켰다.

3.4 쪼갬인장강도 시험

쪼갬인장강도 시험은 KS F 2423⁽⁶⁾을 참조하였다. 직경 100 mm, 길이 200 mm의 원주형 공시체를 절반으로 나누

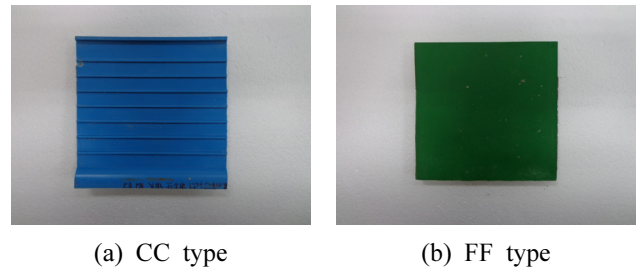


Fig. 4 PVC waterstop

어 신·구 콘크리트를 모사한 후 Fig. 3(c)와 같이 재하하였다. 실험 변수는 휨강도 시험과 동일하며 Table 2에 요약되어 있다.

4. 실험 결과 및 분석

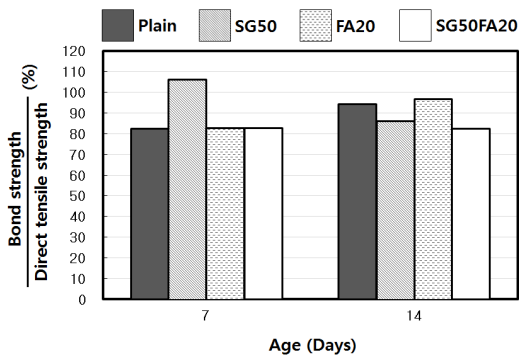
실험 결과 신·구 콘크리트 접합면에서 분리되는 시편들도 있는 반면, 접합면이 그대로 유지된 채 콘크리트가 파괴되는 시편들도 있었다. 후자의 경우 신·구 콘크리트 부착강도가 콘크리트의 인장강도와 유사하게 발현되었고 간주하였다. 압축강도의 발현 경향은 Plain 배합을 기준으로 2차 실험의 경우 7일, 14일 및 28일 강도가 각각 47.4 MPa, 56.3 MPa 및 59.4 MPa이었다.

4.1 배합의 영향

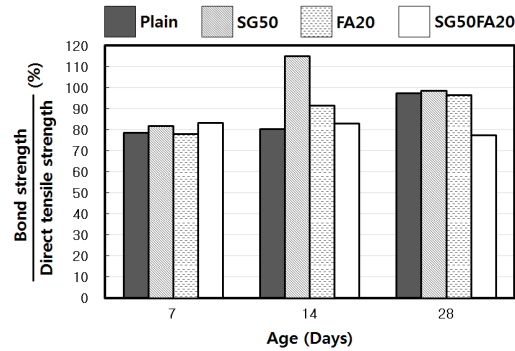
Fig. 5는 접착강도 시험에서 산출한 각 배합별 부착강도와 일체형 시편의 강도, 즉, 직접인장강도와와의 비를 보여주고 있다. 여기에서 배합별 부착강도는 접합면 조건에 따른 값들의 평균값이고, 직접인장강도는 모든 배합의 직접인장강도를 평균한 값이다. 이는 인장시험값의 변동성을 줄이기 위한 조치이다.

분석 결과 전반적으로 혼화재의 종류나 혼입률에 따라 부착강도가 증감하는 경향이 명확하지는 않았다. 다만, SG50과 FA20이 Plain보다는 좀 더 부착강도가 큰 경우가 많았다. 그러나, SG50FA20의 경우 Plain과 부착강도가 유사하거나 오히려 더 저하되는 경우도 나타났다. Fig. 5에서 비율이 100%를 넘어가는 경우는 인장시험의 큰 변동성에 기인한 오차 때문으로, 대략적으로 직접인장강도와 유사한 부착강도가 발현되었다고 보는 것이 타당하다. 특히, 다음에 분석할 휨강도 시험 및 쪼갬인장강도 시험에서는 배합에 따른 영향이 좀 더 명확하게 나타났음을 고려할 때, 상대적으로 Fig. 3(a)와 같은 접착강도 시험은 코어링 과정에서의 시편의 손상, 코어링 방향의 정밀성 등 실험 결과에 영향을 미치는 요인이 더 많아 주의를 요하는 것으로 사료된다.

Fig. 6은 휨강도 시험에 대해 유사한 분석을 실시한 결과로 접착강도 시험과는 다르게 혼화재 혼입에 따른 부착강도의 상승 경향이 뚜렷이 나타났다. 특이한 사항은 Plain 배합의 경우 모두 접합면이 분리되며 파괴가 일어



(a) 1st test



(b) 2nd test

Fig. 5 Bond strength development in each concrete mixture (bond strength test)

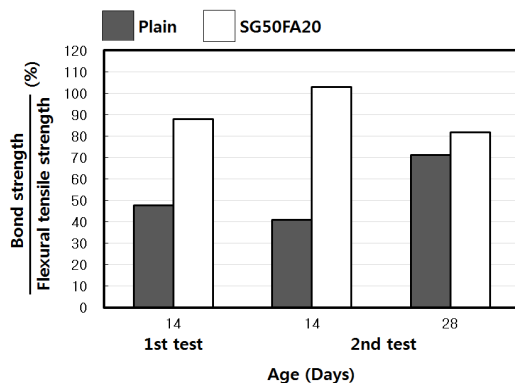


Fig. 6 Bond strength development in each concrete mixture (flexural strength test)

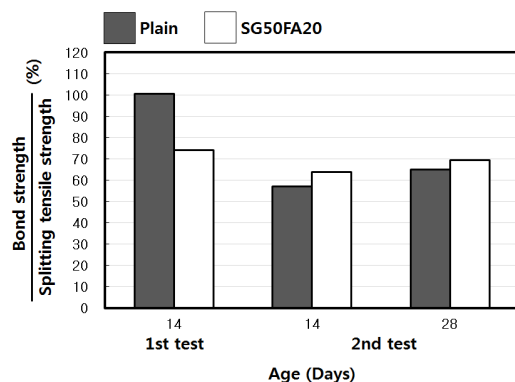


Fig. 7 Bond strength development in each concrete mixture (splitting tensile strength test)

났지만, SG50FA20 배합의 경우 콘크리트 부분에서 파괴가 일어난 경우가 많았다는 점이다. 이로 인해 휨인장강도 대비 부착강도의 비가 100% 가까이 산출되었음을 알 수 있다.

한편 Fig. 7은 쪼갬인장강도 시험 결과이다. 2차 실험에서는 혼화재 혼입을 통해 부착강도가 약간 상승되었음을 알 수 있다. 하지만, 1차 실험에서는 오히려 SG50 FA20의 부착강도가 감소하였는데 이는 일체형 시편의 쪼갬인장강도를 구할 때 SG50FA20과 Plain 배합의 값을 평균했기 때문에 나타난 현상으로, SG50FA20 및 Plain 배합의 쪼갬인장강도와 부착강도의 비를 각각 구해보면 SG50FA20이 Plain 배합보다 더 큰 부착강도 발현율을 나타낸다.

기존 선행 연구¹⁻³⁾에서는 SiO₂/CaO의 비가 높을수록 부착성능이 증가한다고 발표하였다. 이러한 기존 연구 결과를 검증해 보기 위해 각 배합에서 SiO₂/CaO의 비를 산정해 보았다. 계산 시 SiO₂와 CaO의 함유율은 통상적인 범위¹⁷⁾를 참조하여 시멘트는 각각 20%, 65%, 고로슬래그는 35%, 40%, 플라이애쉬는 60%, 10%를 적용하였다. 그 결과, SiO₂/CaO는 Plain, SG50, FA20, SG50FA20에서 각각 순서대로 0.3, 0.7, 0.5, 0.85로서 Plain이 가장 낮았고, SG50FA20에서 가장 높았다. 이에 따르면 Plain의 부착강도가 가장 낮고, SG50FA20의 부착강도가 가장 높게 산출되어야 하지만, Fig. 5와 같은 접착강도 시험에서는 이와 부합하는 결과를 얻을 수 없었다. 다만, Fig. 6 및 7과 같이 Plain과 SG50FA20에 대해서만 실험했던 휨강도 시험 및 쪼갬인장강도 시험에서는 Plain 대비 SG50FA20의 부착강도가 더 높았으므로 SiO₂/CaO의 비에 따른 기존 연구 결과와 어느정도 부합하였다.

4.2 접합면 처리의 영향

먼저 접합면 처리에 따른 파괴 모드를 비교해보면, 접합면이 매끈하거나 습윤한 시험체는 접합면에서 파괴된 경우가 많았으나 접합면이 거칠거나 건조한 시험체는 콘크리트에서 파괴된 경우가 많았다. 이는 접합면이 거칠거나 건조할 때 더 우수한 일체성을 보임을 반증하고 있다.

접합면 처리에 따른 부착성능의 차이를 정량적으로 비교해 보기 위하여 접착강도 시험에서 접합면 처리에 따른 부착강도값을 배합 구분 없이 일괄적으로 평균해 보았다. 그 결과 1차 실험에서는 접합면 처리에 따른 부착강도의 차이가 명확히 나타나지 않았다. 하지만 2차 실험의 경우 Fig. 8과 같이 그 차이가 좀 더 명확히 나타나서, 거칠고 건조한 면이 가장 높은 부착강도를 산출하였다. 일부 경우 거칠고 건조한 면은 일체형에 준하는 부착강도를 나타내기도 하였다.

2장에서 분석한 기존 연구 결과를 살펴보면 접합면을 워터젯 등으로 거칠게 만드는 것이 신·구 콘크리트 접합성능 측면에서 유리하며,^{5,11)} 이 실험 결과도 이에 부합하

고 있다. 하지만, 접합면의 건조이 접합성능에 미치는 영향에 대해서는 습한 것이 유리하다는 연구^{5,12)}와 건조한 것이 유리하다는 연구^{6,7,11)}가 혼재하고 있었는데, 이 연구 결과에 따르면 접합면이 거칠다는 전제하에 면이 건조한 상태가 더 우수한 부착강도를 나타내었다.

따라서, 시공 현장에서 주로 실시하는 워터젯이나 치핑과 같은 조치를 통해 시공이음부의 구 콘크리트를 거칠게 하는 조치는 부착성능 향상을 위해 타당하지만, 신 콘크리트 타설 전 구 콘크리트에 수분을 공급하는 것은 부착강도 저하를 유발할 수 있다고 생각된다. 특히, 워터젯을 시행했을 경우에는 수분이 모두 건조된 후 신 콘크리트 타설 작업을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4.3 타설 간격의 영향

타설 간격이 부착강도에 미치는 영향을 고찰해 보기 위하여 1차 실험과 2차 실험에서 신·구 콘크리트의 타설 간격을 각각 7일과 28일로 차이를 둔 바 있다.

Fig. 9는 접합면에 대해 레이턴스 제거 등 특별한 표면 처리를 실시하지 않았을 때 인장강도 대비 부착강도의 비에 대한 기존 연구¹⁸⁾를 보여주고 있다. 이 경우 구 콘크리트를 타설하고 3~7일이 경과된 후 신 콘크리트를

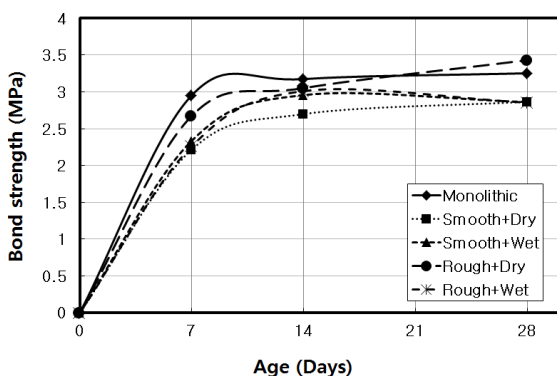


Fig. 8 Bond strength development for different interface conditions (bond strength test, 2nd test)

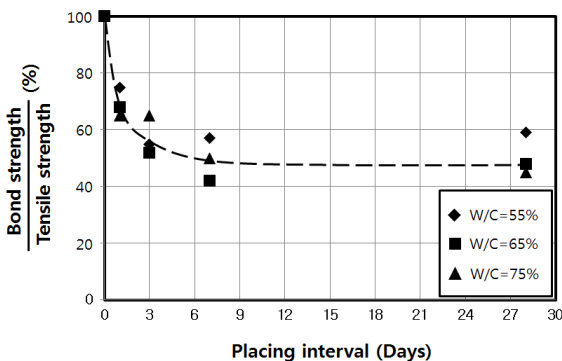


Fig. 9 Relationship between placing interval and bond strength¹⁸⁾

타설하면 강도비가 0.5 이하로 저하되는 것으로 나타나고 있다.

이 연구의 접착강도 시험에서는 Fig. 5(a)와 5(b)의 재령 7일과 14일의 부착강도 각각의 비교에서 알 수 있듯이 타설 간격에 따른 영향이 두드러지지 않았다. 이는 Fig. 9를 참조할 때 타설 간격이 7일보다 크면 부착강도에 큰 영향이 없다는 결과와 부합하고 있다. 다만, 이 실험에서 직접인장강도 대비 부착강도의 비율은 Fig. 5와 같이 80% 수준으로 Fig. 9의 50% 정도보다 컸다. 이러한 차이는 몇가지 관점에서 분석될 수 있다. 첫째, Fig. 9의 시험법이 무엇인지 명확히 제시되어 있지 않지만 이 연구의 접착강도 시험과는 다를 가능성이 있다. 둘째, 이 실험에서는 접합면 처리 방법에 관계없이 최소한 접합면이 깨끗한 상태가 유지된 관계로 부착강도가 비교적 크게 산출되었다. 셋째, 기존 연구^{9,10)}에서 언급하였듯 건조수축 현상이 접합부 부착강도를 저하시킬 수 있는데, Fig. 9에서는 55~75%의 높은 물-시멘트비를 가진 배합을 대상으로 실험한 반면 이 연구에서는 Table 1과 같이 물-결합재비가 약 35%인 배합을 사용하여 건조수축이 최소화되었기 때문으로 생각된다.

한편 Fig. 6의 휨강도 시험에서는 타설 간격 증가에 따라 Plain 배합의 부착강도가 7% 정도 저하되었으며, Fig. 7의 쪼갬인장강도 시험에서는 Plain 배합과 SG50FA20 배합 각각 43% 및 10%만큼 부착강도가 저하되었다. 그러나, 휨강도 시험의 SG50FA20 배합에서는 이러한 경향이 나타나지 않았다.

이상의 결과를 종합할 때 타설 간격 7일과 28일은 부착강도에 있어 큰 차이를 발생시키지 않았다고 보는 것이 타당하다. Fig. 9를 참조할 때 타설 간격이 7일보다 더 작았을 경우 부착강도가 추가적으로 증가했을 가능성도 있으나, 타설 간격은 실제 현장에서 시공이음으로 구획 지워진 콘크리트 블록들의 시공 사이클과도 관계되므로 신·구 콘크리트 간 부착강도만을 고려하여 결정할 수 있는 사항은 아니다.

4.4 기타 영향 및 고찰사항

4.4.1 시험방법의 영향

일체형 시편의 경우 인장강도의 크기는 휨인장강도, 쪼갬인장강도, 직접인장강도의 순으로 나타나서 기존 문헌¹⁹⁾과 일치하였다. 하지만, 실험 결과 부착강도의 크기는 이러한 순서를 따르지 않고 혼재된 양상을 보였다. 즉, 시험방법별 직접비교가 가능한 동일한 조건을 가진 6가지 경우에 있어서 3가지 경우에는 일체형 시편과 같은 강도 크기의 경향을 따랐지만 나머지 3가지 경우에는 이를 따르지 않았다. 하지만 적어도 기존 연구⁴⁾와 같이 시험방법별로 부착강도의 크기가 변동하는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 인장강도 측정시험은 본질적으로 변동성이 매우 커서 신뢰성 있는 값을 얻기가 용이하지 않은데, 이

연구에서 실시한 접착강도 시험, 휨인장강도 시험, 쪼갬 인장강도 시험 중에서 휨인장강도와 쪼갬인장강도 시험이 비교적 일관된 결과를 보였으며, 접착강도 시험은 측정값에 변동을 줄 수 있는 요인이 많아 경향 파악에 어려움이 있었다. 또한 같은 시험법이라도 여러가지 요인에 의하여 기존 실험 결과와는 차이를 보일 여지가 있으며, 한 예로 Fig. 6의 휨인장강도 2차 실험 결과는 동일한 타설 간격에서 실시한 기존 연구^{9,10)}에서 15~27% 범위의 강도비를 보였던 것과 큰 차이가 발생하고 있다.

4.4.2 재령에 따른 부착강도 발현

Fig. 5~7은 각 시험법에서 측정한 부착강도를 각 시험법의 일체형 시편에서 측정한 인장강도와와의 비로 나타내고 있으므로, 만약 재령에 관계없이 유사한 비율을 나타낼 경우 재령에 따른 인장강도의 발현 성상과 유사하게 부착강도도 증가하고 있음을 의미한다. 전반적으로 재령에 따라 인장강도와 유사한 수준으로 부착강도가 증가하는 현상 외에, 특기할 만한 사항은 Fig. 5에서 FA20 배합은 인장강도보다 빠르게 부착강도가 증가하고 있다는 점이다. 이는 기존 선행 연구¹³⁾에서 언급하였듯 포졸란 반응에 의해 생성된 칼슘실리케이트(C-S-H) 수화물이 접합면 콘크리트의 공극을 메워주는 효과에 의한 것으로 판단된다.

4.4.3 지수판과 콘크리트의 부착강도

1차 실험의 휨인장강도 시험 시 추가적으로 측정한 지수판과 콘크리트 간의 부착강도를 역시 휨인장강도와의 비로 나타내면 Plain 배합의 경우 CC형은 1.5%, FF형은 4.6%이며, SG50FA20 배합의 경우 CC형은 1.7%, FF형은 4.2%이다. 이를 Fig. 6의 1차 실험 시 신·구 콘크리트의 부착강도와 비교해보면, 지수판과 콘크리트의 부착강도는 Plain 배합에서는 10배~32배 작고, SG50FA20 배합에서는 21배~52배가 작아서 사실상 부착강도가 거의 없다고 볼 수 있다. 이러한 사실은 Fig. 1과 같이 지수판을 끼워 넣은 시공이음부 상재에도 불구하고 시공이음부에서 누수가 빈번히 일어나는 이유를 일부 설명할 수 있으며, 즉, 시공이음부에 침투한 물이 비록 지수판을 직접 통과할 수는 없지만 지수판과 콘크리트 사이의 느슨한 계면을 따라 이동한다고 볼 수 있다.

또한 지수판과 콘크리트 사이의 부착강도는 배합 종류와 관계가 거의 없었으며, 제원별로는 FF형이 CC형보다 부착강도가 약 3배 더 큰 특징이 있었다. Fig. 4를 참조하면 FF형은 돌기가 없으나 거친 면을 가지고 있고, CC형은 돌기가 있으나 상대적으로 매끈한 면을 가지고 있다. 실험 결과에 의하면 지수판의 돌기 유무보다는 면의 거칠기가 부착강도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 돌기가 있는 지수판의 경우 돌기 주변에 콘크리트가 충분히 충전되지 않을 경우 오히려 부착성능 저하 요인이 될 것으로 생각된다. 지수판이 우수한 방수 성능을 보

유하기 위해서는 콘크리트와 소정의 부착성능을 발휘하는 것도 중요하다고 판단된다.

4.4.4 부착강도 식 관련

추후 다양한 실험 변수에 대한 부착강도 측정 자료가 축적된다면 신·구 콘크리트 간의 부착강도 식을 제안하는 것도 가능하리라 생각된다. 단, 인장강도의 경우에는 단순히 압축강도의 함수로 정의하는 경우가 많은데,^{9,19)} 부착강도는 이 연구 결과가 보여주듯 영향을 미치는 요인들이 매우 많으므로 이들 요인들을 적절히 반영해야 할 것으로 생각된다. 부착강도는 기본적으로 인장강도 또는 압축강도와 관련될 것으로 판단되지만, 그 외 배합의 종류, 접합면 처리방법, 타설 간격, 시험 방법 등도 영향을 미치기 때문이다.

4.4.5 연장 사례

실제 구조물의 시공이음부 누수는 설계, 시공, 배합 등 여러가지 요인들이 복합되어 있어 그 주된 원인을 밝히기가 용이하지 않다. 혼화재가 다량 사용된 콘크리트 배합을 적용한 현장 3곳(이하 A, B, C로 지칭)을 조사한 결과 2개 현장(A, C)은 시공이음부 누수가 과다하게 발생했고, 1개 현장(B)은 발생하지 않았다. A현장은 플라이애쉬 35% 혼입 배합, B현장은 플라이애쉬 23% 혼입 배합, C현장은 고로슬래그 50% 혼입 배합과 함께 고로슬래그 45%와 플라이애쉬 20%가 사용된 3성분계 배합을 병용하였다. 비록 기존 연구 및 이 연구에 따르면 혼화재를 사용하는 배합이 시공이음부의 부착강도 증진 및 수밀성 향상에 일부 기여할 것으로 생각되지만 그 차이가 미미하므로 큰 영향은 없을 것으로 생각된다. 조사 결과 시공이음부 누수는 그 외의 요인에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각되며, A현장의 경우 일부 시공이음부에서 지수판을 의도적으로 생략한 것, 길이가 긴 구조물임에도 신축이음을 생략하여 건조수축, 수화열 및 외기온도에 의한 시공이음부의 이격이 비교적 크게 발생한 것이 누수의 원인으로 지적된다. 즉, 설계적인 측면의 오류가 큰 것으로 판단된다. C현장의 경우 시공이음부에 치핑을 실시했는데, 이는 A, B현장에서 워터젯을 통해 구현한 거칠고 깨끗한 시공이음부와 비교할 때 일체성이 다소 떨어져서 누수를 유발했을 것으로 추측된다.

5. 결 론

이 연구에서는 여러가지 변수에 따른 신·구 콘크리트의 부착성능을 실험적으로 평가해 보았다. 이러한 부착성능은 구조물 시공이음부의 일체성 및 수밀성에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 혼화재의 종류 및 혼입률과 같은 배합별 차이가 부착성능에 미치는 영향은 시험 방법별로 차이가 있었다. 접착강도, 즉, 직접인장강도 시험에서는 그 차

이가 뚜렷하지 않았지만, 휨강도 및 쪼갬인장강도 시험에서는 혼화제를 다량 혼입한 배합이 보통포틀랜드시멘트만을 사용한 배합보다 우수한 부착강도를 나타내었다. 이는 SiO_2/CaO 의 비가 높을수록 부착성능이 증가한다는 기존 연구 결과와 부합한다. 이러한 결과는 최근 수화열 저감 및 내구성 확보를 위해 다량의 혼화제를 함유한 배합을 사용하는 경향이 시공이음부에 불리하게 작용하지는 않음을 의미한다.

- 2) 신·구 콘크리트 접합면은 습윤한 것보다는 건조한 것이, 매끈한 것보다는 거친 것이 우수한 부착성능을 보여주었다. 특히, 접합면의 습윤 및 건조 여부가 부착성능에 미치는 영향은 기존 국내외 자료에서 일관성이 없었지만, 이 연구에서는 건조한 경우가 유리하게 나타났다.
- 3) 신·구 콘크리트 타설 간격 7일 및 28일은 부착강도에 있어 큰 차이를 나타내지 않았다. 접착강도 시험에서는 그 차이가 거의 없었으며, 휨강도 및 쪼갬인장강도 시험에서는 타설 간격이 길 수록 부착강도가 낮아지는 일부 결과가 있었지만 일반화하기는 어려웠다. 기존 연구를 참조할 때 부착강도 증진을 위해서는 타설 간격을 3~7일보다 짧게 두어야 하나 실제로는 시공성 문제로 어려운 경우가 많다.
- 4) 접착강도, 휨강도, 쪼갬인장강도 시험별 부착강도의 크기 경향은 명확치 않았다. 또한 재령에 따른 부착강도 발현 성상은 인장강도와 유사하였으나 플라이애쉬를 사용한 배합에서 좀 더 빠른 경향을 보였다. 한편, 지수판과 콘크리트의 부착강도는 신·구 콘크리트의 부착강도에 비해 매우 작았으며, 지수판 표면 재질에 따라 큰 차이가 있었다.
- 5) 콘크리트 배합은 이 연구에서 고찰한 혼화제의 영향 이외에도 다양한 측면에서 부착성능에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 예를 들어 건조수축에 의한 변형이 클 수록 시공이음부 이격에 의해 부착이 약화될 가능성이 있으며, 접합부 계면이나 지수판 주변의 밀실한 충전성 또한 부착성능에 영향을 줄 수 있는 요인이다. 이는 모두 배합설계 과정에서 개선 가능한 사항이다.
- 6) 추후 연구로는 신·구 콘크리트의 부착강도에 영향을 미치는 여러 요인들을 고려하여 부착강도 식을 제안하거나, 수밀성 시험을 통해 시공이음부 누수 현상을 직접 관찰하는 것을 고려해 볼 수 있다.

감사의 글

이 연구는 (주)대우건설의 지원을 받았으며 이에 감사드립니다. 또한 이 연구는 부분적으로 2012학년도 아주대학교 정착연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 실험에 도움을 주신 (주)에스지에스건설시험연구원에도 감사

드립니다.

References

1. Kuroda, M., Watanabe, T., and Terashi, N., "Increase of Bond Strength at Interfacial Transition Zone by the Use of Fly Ash," *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, 2000, pp. 253-258.
2. Li, G., "A New Way to Increase the Long-Term Bond Strength of New-to-Old Concrete by the Use of Fly Ash," *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, 2003, pp. 799-806.
3. Li, G., Xie, H., and Xiong, G., "Transition Zone Studies of New-to-Old Concrete with Different Binders," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 23, 2001, pp. 381-387.
4. Jang, H. G., Kim, S. H., Hong, C. W., and Yun, K. K., "Characteristics of Bond Strength with Measuring Methods of Concrete," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 25, No. 2, 2013, pp. 597-600.
5. Joo, B. C., Kim, Y. J., Kim, B. S., Park, S. Y., and Kim, D. J., "Bond Characteristics by Joint Condition between Old and New Concrete," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 15, No. 1, 2003, pp. 859-864.
6. Kim, D. B., Heo, J. W., and Lim, N. G., "An Experimental Study on Bond Properties the Way of Disposal Horizontality Placing Joint of Concrete Structure," *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 6 No. 2, 2006, pp. 1-4.
7. Song, J. H., "Experimental Study on Adhesion Characteristic of Treat Horizontality Placing Joint Type of the Concrete Structure," *Master's Thesis*, Tongmyoung University, Korea, 2008, 42 pp.
8. Kim, S. H., Jang, H. G., Kim, K. H., and Yun, K. K., "Concrete Bond Strength Evaluation According to Interface Conditions and Test Methods," *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers*, 2002, pp. 614-617.
9. Yang, I. H., Yoo, S. W., and Seo, J. I., "An Experimental Study on Flexural Tensile Strength and Bond Strength between Concrete-to-Concrete," *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 13, No. 3, 2009, pp. 155-163.
10. Yang, I. H., Kim, H. S., and Cho, S. K., "An Experimental Study on the Tensile Strength between Old and New Concrete," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, Vol. 13, No. 2, 2001, pp. 433-438.
11. ACI Committee 207, *ACI 207.1R: Guide to Mass Concrete*, American Concrete Institute (ACI), U.S., 2005, 21 pp.
12. Korea Concrete Institute (KCI), *Standard Specification for Concrete*, KCI, Korea, 2009, 148 pp.
13. Korean Agency for Technology and Standards, *KS F 2762: Measurement of Bond Strength of Products for the Protection and Repair of Concrete Structures by*

- Pull-Off*, Korean Standards Association, Korea, 2006, pp. 1-5.
14. Korean Agency for Technology and Standards, *KS F 2408: Method of Test for Flexural Strength of Concrete*, Korean Standards Association, Korea, 2000, pp. 1-9.
 15. Korean Agency for Technology and Standards, *KS M 3805: Polyvinylchloride Waterstop*, Korean Standards Association, Korea, 2004, pp. 1-8.
 16. Korean Agency for Technology and Standards, *KS F 2423: Method of Test for Splitting Tensile Strength of Concrete*, Korean Standards Association, Korea, 2006, pp. 1-12.
 17. Choi, J. J., Park, S. K., Choi, Y. W., and Kim, K. H., *Civil Materials*, Kimoondang, Korea, 2007, 30 pp., 96 pp., 101 pp.
 18. Lee, S. W., Jang, D. W., and Park, C. Y., "Defect of Concrete and Measures," *Magazine of the Korea Institute of Building Construction*, Vol. 1, No. 1, 2001, pp. 101-110.
 19. Shin, H. M. and Lee, J. H., *Reinforced Concrete*, 11th Ed., Dongmyungsa, Korea, 2013, pp. 35-36.

요 약 콘크리트 구조물의 시공이음부는 적절한 처리에도 불구하고 누수되는 사례가 빈번히 발생되고 있다. 이 연구에서는 이러한 누수 현상이 신·구 콘크리트 간의 부착특성과도 관련이 있을 것으로 보고 이에 대한 실험을 실시하였다. 여러가지 조건 하에서 부착특성을 평가하기 위해 신·구 콘크리트의 접합부를 모사하는 시편들을 제작하여 접합부의 접착강도, 휨강도 및 쪼갬 인장강도를 측정하였다. 주요 실험 변수는 혼화재의 종류 및 혼입률, 접합면의 처리 방법, 지수판의 종류였다. 그 외 신·구 콘크리트 타설 간격의 영향, 강도시험 재령에 따른 영향도 고찰하였다. 실험 결과 혼화재 사용에 따라 부착강도가 어느정도 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 포졸란 반응에 의해 생성되는 칼슘실리케이트 수화물이 접합부의 공극을 메우기 때문으로 생각된다. 한편, 접합면이 거칠고 건조할수록 부착성능이 향상되었으며, 지수판의 표면 거칠기는 지수판의 부착성능에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 시험 방법에 따른 부착강도의 차이가 발생하므로 이를 고려한 평가가 요망된다.

핵심용어 : 시공이음부, 부착, 혼화재, 고로슬래그, 플라이애쉬