

타이바와 콘크리트의 부착특성 연구

A Study for Bond-Slip Response of Tie-bars Embedded in Concrete

전범준* · 이승우**

Jeon, Beom Jun · Lee, Seung Woo

1. 서론

타이바와 콘크리트간의 부착력은 세로줄눈폭의 움직임을 제어하는 작용을 한다. 일반적으로 타이바는 콘크리트와의 부착력을 확보 하기 용이한 이형철근을 사용하며, 직경 13mm 또는 16mm가 많이 활용되고 있다. 현재 국내 콘크리트포장에서 설계되고 있는 타이바의 설계간격과 철근량에 대한 설계식은 제시되어 있으나 타이바의 길이는 '콘크리트와 부착이 유지될 수 있도록 충분한 길이 (약 70~80cm)를 가져야 한다.'(도로설계요령, 한국도로공사, 2001) 라고만 제시되어있다.

본 연구에서는 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 콘크리트포장 조건에 대하여 타이바와 콘크리트간의 부착력을 산정하고, 이를 토대로 콘크리트와 부착이 유지될 수 있는 길이를 제안하고자 한다. 단 본 연구에서는 타이바가 fresh 콘크리트에 매립된 경우만 고려하고 확장부와 같이 천공후 그라우팅 매립하는 경우는 포함하지 않는다.

2. 타이바 길이설계

세로줄눈부가 과도하게 벌어짐을 방지하기 위해서는 타이바와 콘크리트간의 부착이 유지되어야 한다. 타이바와 콘크리트 접촉면에서 슬라이딩을 방지하기 위한 충분한 부착력을 확보하기 위해서는 식 (1)을 만족하여야 하고, 시공오차등을 고려해서 8cm의 여유분을 추가시키는 것을 추천하고 있다.(Huang, 1993)

$$t = 2 \left[\frac{A_1 f_s}{\mu \Sigma o} \right] \quad (1)$$

여기에서, t = tie bar의 길이 (in)

μ = 허용부착응력 (MPa)

f_s = 철근허용응력 (MPa)

$A_1 = \frac{\pi d^2}{4}$ $\because d$ = 타이바 직경 (in)

$\Sigma o = \pi d$ (콘크리트와 접한 바의 경계선)

* 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 대학원생(najunya@kangnung.ac.kr)

** 정희원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수(swj@kangnung.ac.kr)



식 (1)의 허용부착응력은 타이바의 직경 및 형태, 콘크리트 물성, 피복두께에 영향을 받는데 국내 콘크리트 포장에 대한 적합한 값이 산정된바 없다.

3. 타이바-콘크리트 부착력 평가실험

우리나라 콘크리트 포장의 슬럼프, 강도등 기준에 맞는 배합으로 콘크리트시편을 준비하였다. 콘크리트-타이바 부착력평가는 JIS(일본공업규격)기준에 준하여(재령 1일, 7일, 28일) 수행되었다.

3.1 콘크리트 배합

본 연구에서의 콘크리트 배합비는 국내 콘크리트 포장 배합기준에 맞추어 목표 슬럼프를 $5\pm 1\text{cm}$ 로, 공기량은 혼화제를 첨가한 경우에 $5\pm 1\%$ 를 만족하는 기준으로 배합을 실시하였다. A.E 제와 S.P.제만 첨가량을 달리하여 배합한 후 표(1)과 같이 최종 콘크리트 배합비를 선정하였다.

표 1. 배합표

s/a(%)	w/c (%)	W (kgf / cm ³)	C (kgf / cm ³)	S (kgf / cm ³)	G (kgf / cm ³)	A.E (%)	S.P (%)	Slump (cm)
45	42	135	300	786	1148	0.04	0.1	0.45
구분	A.E.(%)	S.P.(%)	Air(%)	Slump(cm)	Concrete Temperature (°C)		.	.
배합	0.04	0.1	4.4	0.45	11.6		.	.

3.2 콘크리트 강도발현 측정

타이바와 콘크리트 부착력 평가 시기과약을 위하여 콘크리트의 응결시간 시험은 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간 시험 방법(KS F 2436)에 의하여 실시하였으며, 그 결과를 정리하면 초결은 5시간 10분에 종결은 7시간 30분 후에 나타났으며, 그림 (1)과 같다.

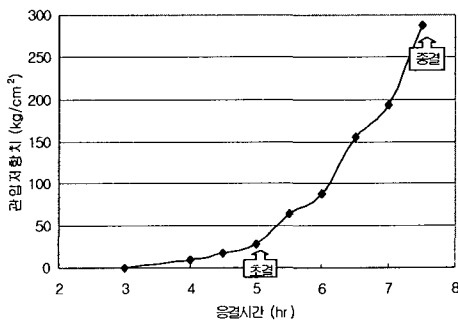


그림 1. 응결시간 시험결과 그림

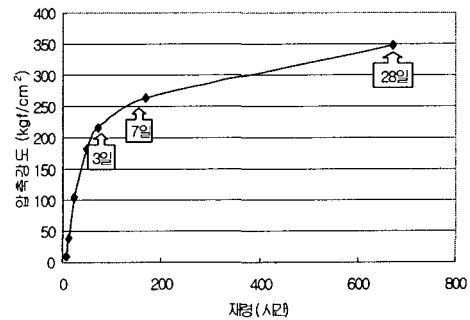


그림 2. 재령에 따른 압축강도 변화

부착 시험별 콘크리트의 압축강도 측정은 콘크리트의 압축강도 시험방법(KS F 2405)으로 실시하였다. 콘크리트 배합에 있어 팬형 강제식 믹서(공칭용량: 60liter, 25rpm)를 사용하였으며, $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 압축강도 시험용 몰드에 넣고 다진후, 요철이 없도록 시멘트 페이스트로 표면을 마무리하여 공시체를 제작하였다. 탈형한 공시체는 23°C의 일정한 온도에서 기중양생을 실시하여 각 재령



별로 압축강도를 측정하였으며, 그 결과는 위 그림 (2)와 같이 7일 압축강도 264kgf/cm², 28일 압축강도 347kgf/cm²의 값을 보였다.

3.3 부착강도 실험방법

타이바의 부착특성 평가를 위한 실험방법은 JIS(일본공업규격, Japanese Industrial Standard)의 표준인발시험법에 의하여 실시하였다. 그림 (3)과 같이 타이바의 매립깊이 15cm중 부착깊이 10.2cm, 비부착깊이 4.8cm로 정하여 미리 준비된 15×15×15cm 큐빅 몰드에 삽입한후, 콘크리트를 2층으로 나누어 타설하고 진동대로 각각 30초간 다짐하여 각 재령에서 미리 제작한 지그를 이용해 콘크리트를 고정후 Tie-Bar를 공칭용량 각각 5ton과 250ton의 만능재료시험기를 이용해 0.3m/min과 10ton/min으로 제어하며 콘크리트로부터 인발하여 부착강도를 측정하였다.

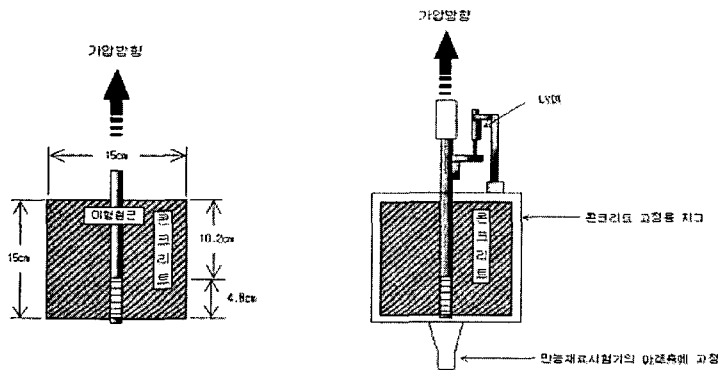


그림 3. Tie-Bar의 콘크리트내 매립모습과 지그 및 LVDT 설치개념도

부착강도를 측정함과 동시에 그림 (3)과 같이 콘크리트의 자유단에 변형률계지(LVDT)를 매달아 그 수치를 데이터로거(Data Logger)로 받아들여 하중에 따른 이형철근의 콘크리트와의 상대변위(Slip량)를 측정하였다. 그림 (4)는 공칭용량 250 ton의 만능재료시험기에서의 실제 실험모습이다. 재령별 부착강도 실험에서 초기(1일)의 경우 콘크리트의 강도발현값이 작아 공칭용량 5ton의 만능재료시험기에서 실험하였으며, 7일과 28일의 경우는 공칭용량 250ton의 만능재료시험기에서 각각 실험하였다.

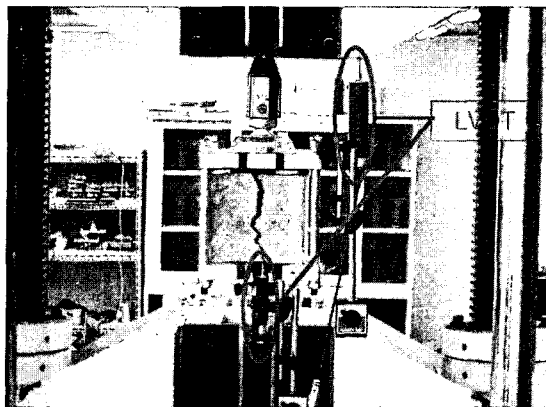


그림 4. 부착특성 실험전경



3.4 부착강도 실험결과 및 분석

하중-변위 관계는 그림 (5)의 P- δ 그래프로 나타나고 있다. 콘크리트-타이바의 부착강도는 콘크리트의 강도발현상태에 영향을 받는점을 확인할 수 있다. 재령 1일의 경우 콘크리트의 강도발현이 제대로 일어나지 못한 상태이기 때문에 그림 (5-a)에서 볼 수 있듯이 하중을 재하하는 초기부터 최대부착강도까지 타이바와 콘크리트사이에 Slip이 지속적으로 일어나는 것을 볼 수 있다. 반면 콘크리트의 강도가 충분히 발현된 재령 7일과 28일의 실험의 경우 재령 1일에 보였던 하중재하 초기의 Slip현상은 나타나지 않았으며, 타이바와 콘크리트간의 최대부착강도까지 부착력과 변위가 선형관계를 유지하였다. 최대부착력 발현이후에 부착력이 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 콘크리트의 강도발현과 부착강도가 연관성이 있는 것을 그림 (6)에서 명백히 보여주고 있다. 타이바와 콘크리트간의 부착단면의 경우 부착력 실험시 재령 초기의 실험시편의 경우에는 Slip 현상으로 인해 시편의 파괴단면을 관찰하기 힘들었으나, 재령 7일 이후엔 한계부착력이상 인장하중재하시 타이바와 콘크리트가 부분적으로 탈착현상을 일으키며 콘크리트 시편이 파괴되었다. 그림 (7)은 실험시편의 파괴단면을 관찰하기 위하여 파괴형상 그대로 시편의 단면을 분리한 모습이다.

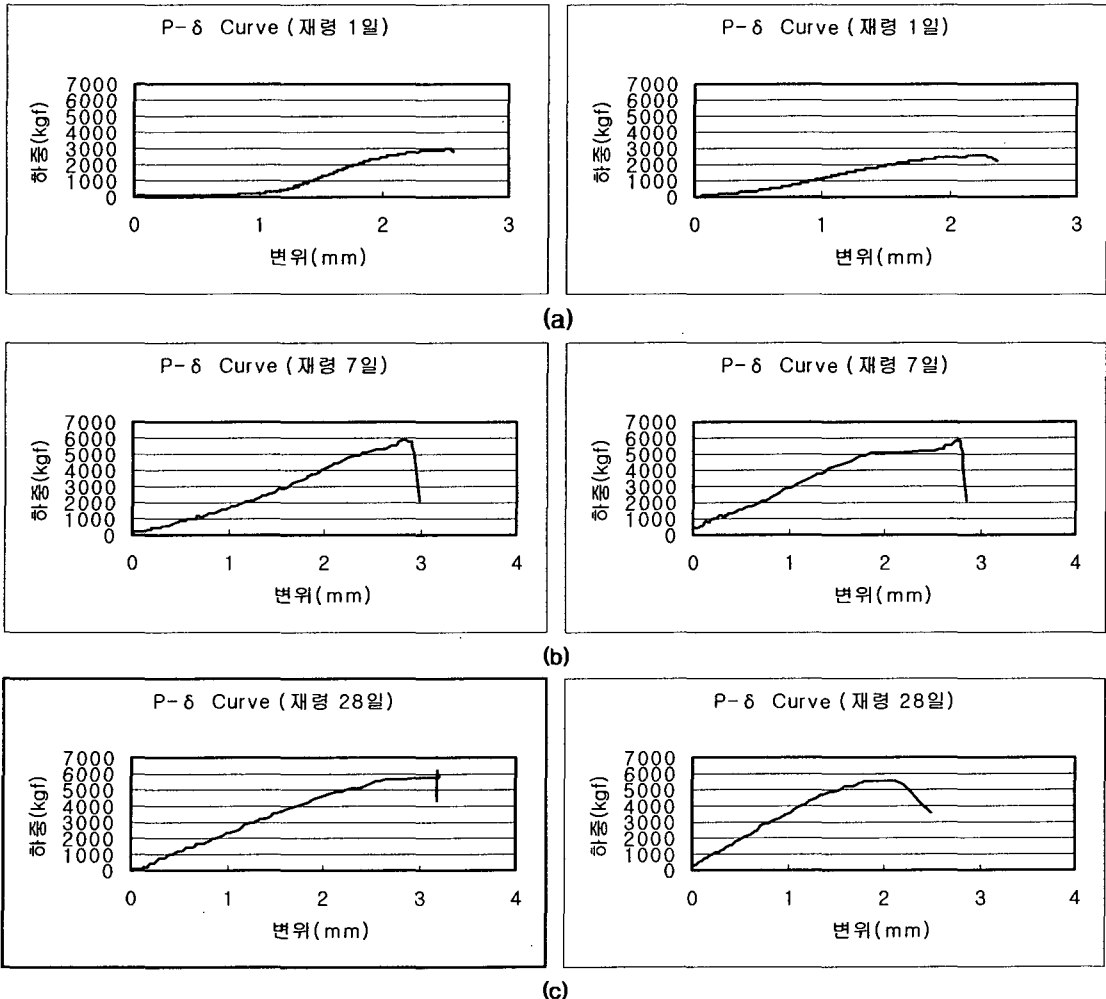


그림 5. 각 재령별 P- δ Curve

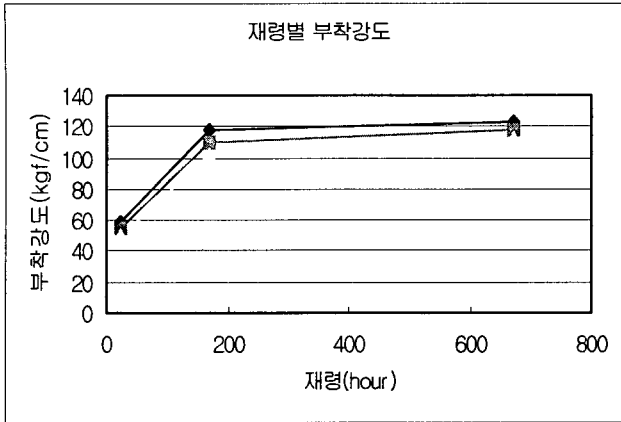


그림 6. 재령별 부착강도그림

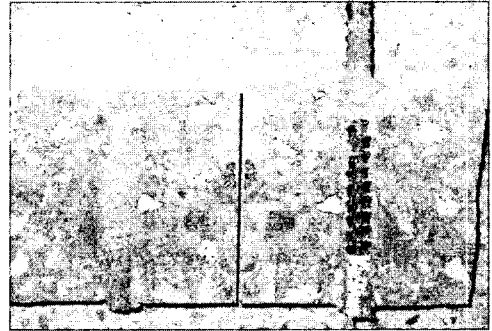


그림 7. 실험 후 시편파괴단면 모습

Harajli(2002)는 이형철근과 콘크리트간의 부착강도에 대해 다음과 같이 제시하고 있다.

$$\mu_{max} = 0.75\sqrt{f'_0}(c/d_b)^{2/3} \quad (2)$$

- 여기에서, μ_{max} = 허용부착응력(MPa)
- f'_0 = 콘크리트강도(MPa)
- c = 피복두께 (in)
- d_b = 철근직경 (in)

그림 (8)에서 보여주듯이 Harajli의 재연식과 본 연구에서의 부착강도 특성결과는 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

3.5 국내 일반적 콘크리트포장에 적합한 타이바 길이의 산정

본 실험결과 매립형 타이바의 경우 부착강도가 콘크리트 재령 1일 54.8 kgf/cm², 7일 110kgf/cm², 28일 118kgf/cm²으로 나왔다. 본 연구에서 측정한 타이바의 부착강도는 Harajli(2002)등이 제시한 이형철근과 콘크리트 부착강도 예측식과 매우 유사한 결과를 보여주었고, 콘크리트 압축강도에 직접적인 영향을 받았다. 종방향 줄눈의 과대한 벌어짐을 방지하기 위한 타이바의 길이를 역학적 방법에 준하여 산정한 결과 40cm로 나왔다. 따라서 매립형 타이바의 경우 현재 국내에서 사용되고 있는 길이 80cm는 과대하다고 판단된다. 하지만, 확장부의 경우 포장시공후 슬래브의 옆면에 천공을 한후 타이바를 설치하고 밀크그라우팅을 함에따라 부착특성이 매립형 타이바와는 확연히 다를 것으로 예상된다. 확장부 타이바의 경우는 향후 확장부에 적합한 부착평가실험을 통하여 부착강도를 평가함이 필요하다.

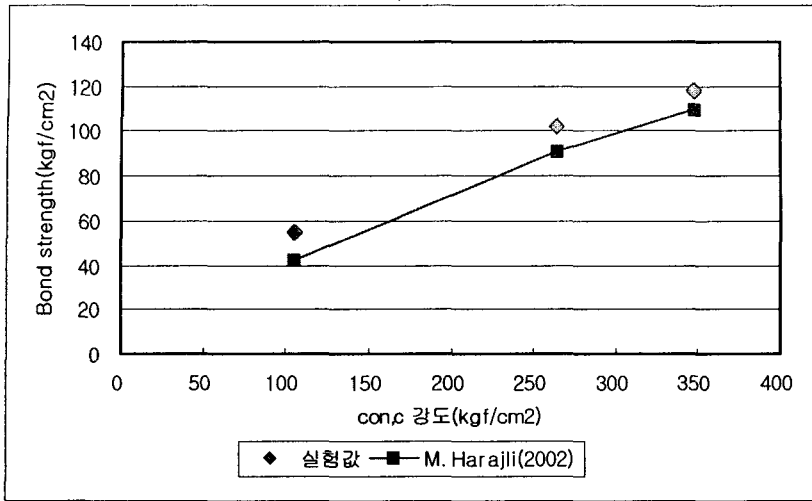


그림 8. 이론값과 실험값의 비교

4. 결론

본 실험결과 매립형 타이바와 콘크리트의 부착강도가 크게 나온 것은 피복두께의 차이에 의한 결과로 보여진다. 본 실험에서 국내 콘크리트 포장에 필요한 타이바 길이를 식 (1)을 통하여 검토한 결과 타이바 길이는 40cm의 길이로 설계하여도 그 성능을 발휘할 것으로 보인다. 하지만, 본 실험의 경우 시공현장의 조건중 고려하지 못한 부분이 있으므로 시공현장 조건을 고려한 연구가 더욱 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서 부착강도 실험시편제작시 타이바를 미리설치한후 콘크리트를 타설하여 시편을 제작하였다. 하지만 현장의 경우 콘크리트타설후 타이바를 매립하는 방식을 사용한다. 그러므로 실험으로 얻어진 타이바와 콘크리트간의 부착특성은 현장조건보다 타이바표면에 콘크리트가 조밀하게 부착하게 됨으로 인해 더 큰 부착력값이 산정된 것으로 사료된다. 따라서 이러한 현장조건을 고려한 타이바와 콘크리트의 부착특성을 평가할 필요가 있다. 또한 콘크리트도로의 확포장공사시 타이바의 설치는 콘크리트슬래브옆면에 천공을 한후 타이바를 설치하고 밀크 그라우팅제로 마무리를 하여 부착력을 이끄는데 이러한 확포장 공사시나 보수공사시의 연구또한 병행하여 실시 하도록 하겠다.

감사의 글

본 연구는 건교부 수탁과제인 한국형포장설계법 개발과 포장성능개선 연구의 일부 성과물로 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 한국도로공사, (2001) 도로설계요령 제 5권 포장, 한국도로공사.
2. M. Harajli, B. Hamad, K. Karam, (2002) Bond-slip Response of Reinforcing Bars Embedded in Plain and Fiber Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering.
3. Yang H. Huang, (1993) Pavement Analysis and Design, Prentice-Hall.