

Slab Anchor를 사용한 판형교의 거동특성 연구

Behavior of Steel Plate Girder Using Slab Anchor

한 상 윤* / 한 택 희** / 박 남 회*** / 강 영 증****

Han, Sang-Yun* / Han, Taek-Hee** / Park, Nam-Hoi*** / Kang, Young-Jong****

Abstract

Steel-Concrete composite girders have been used since early in the 1920's due to their advantages, which are lower weight, increasement of stiffness, slenderness, long span. However, in designing short to continuous composite bridges, negative moment occurs in mid-support and creates problems such as cracks in the concrete slab. Therefore, partially composite bridges are considered. In this time, slab-anchor is used in these. If the stiffness of shear connectors is insufficient, slip would happen at the contact surface. Partial interaction is the case that takes account of slips. In this paper, the evaluation of initial shear stiffness of slab-anchor in composite bridges is obtained from Push-Out specimen. Also, finite element analyses which uses the initial shear stiffness of slab-anchor got the experiment are carried out on simple composite girder and continuous composite girder. Futhermore, the ratio of composite according to various shear stiffness are investigated and the classification according to the ratio of composite is proposed.

Key words : Slab Anchor, Composite, Stud, Push-Out Test, Partial interaction

요 지

강합성 교량은 자중의 감소, 강성의 증대, 장지간의 적용 등의 재료적 특성에 힘입어 1920년대 이래로 사용되어져 왔다. 그러나 연속교의 경우 내부지점부에서 발생하는 부모멘트로 인하여 콘크리트 부분에 균열이 생기고 콘크리트의 건조수축이나 Creep으로 인한 문제들이 제기 됨에 따라 슬랩앵커를 이용한 부분합성교량이 제기 되었다. 부분합성의 경우 어느 정도의 슬립을 허용하여 이러한 문제를 극복할 수 있다. 본 연구에서는 슬랩앵커의 탄성구간에서의 초기 강성값을 실험을 통하여 알아내고, 단순지지인 경우와 연속교의 경우에 대하여 범용 프로그램을 이용하여 슬래브와 강재를 연결시키는 조인트 요소의 강성값을 변화시켜 전단연결재의 강성값에 따른 합성정도와 내부지점부의 콘크리트 슬래브의 인장응력이 어떤 변화양상을 나타내는지 파악하고자 한다.

핵심용어 : Slab Anchor, 합성, Stud, Push-Out Test, 부분합성 작용

* 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 박사과정

** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 박사과정

*** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 박사과정

**** 정회원, 고려대학교 토목환경공학과 부교수

1. 서 론

본 연구는 합성교량의 경우 브라켓이나 가로보에 사용되고 비합성교량의 경우 연결재로 사용되는 슬랩앵커를 Push-Out Test를 하여 실험으로 얻은 특성을 실제 소수주형모델에 적용하여 FEM해석을 통하여 거동특성을 파악 하고자 한다.

일반적으로 전단연결재 실험의 경우 콘크리트 슬래브와 강제 주형 사이에 직접 길이 방향 전단력을 작용시킬 수 있을 뿐 아니라 실험의 편리함 때문에 주로 Push-out 실험이 많이 이용되고 있다. 본 실험에서는 BS-5400에 제시된 바에 근거하여 시험체를 제작하였고, 또한 바닥판에 해당하는 콘크리트부분이 실제 모델에서는 교축직각 방향으로 콘크리트의 구속이 있는데 이것을 실험에 모사하기 위하여 콘크리트의 양옆을 구속하였다. 이 실험을 통하여 탄성구간에서의 강성(K)값을 알아내어 3D FEM해석에 적용한다. 이때 콘크리트 바닥판과 강제와의 연결을 3축에 대하여 회전에 대하여는 같은 거동을 하도록 하고 축 방향으로는 특정한 강성값을 넣을 수 있는 Joint Element를 사용하여 연결시켜서, 1경간 단순지지와 2경간 연속교에 대하여 연구를 수행하는데, 1경간 단순지지의 경우에는 Joint Element에 여러 강성값과 실험을 통해 얻은 강성값을 적용하여 합성교의 거동을 파악하고 강성값에 따른 합성정도를 규명하고자 한다. 또한 2경간 연속교에서는 슬랩앵커의 강성값을 내부지점부에 적용하여 내부지점부에 슬랩앵커를 사용하였을 때 슬래브의 인장응력이 어떤 변화양상을 나타내는지 파악 하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험목적 및 시험체

정적실험의 목적은 콘크리트로 충전된 슬랩앵커

연결부위의 전단 하중을 가하여 슬랩앵커의 하중-변위 곡선을 얻어 슬랩앵커의 탄성구간에서의 강성(K)을 조사하고자 한다. 콘크리트의 강도는 400kgf/cm²에 맞추어 콘크리트의 파괴가 아닌 슬랩앵커의 파괴에 초점을 두었다. 시험체의 제원은 다음과 같다.

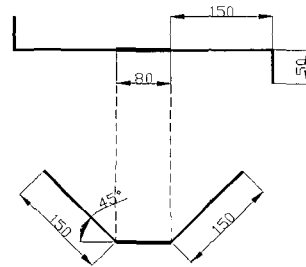


그림 1. 슬랩앵커 일반도

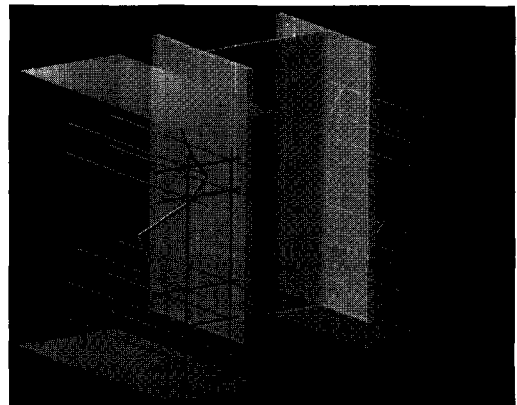


그림 2. 시험체 입체조감도

2.2 가력 및 측정 방법

본 연구에서 각 시험체는 U.T.M.에 시험체를 거치하여 H형강의 상부를 고정시키고 유압을 가하여 하중이 콘크리트에 전달되게 하였다. 가력판과 형

표 1. 시험체 일람표

시편명	콘크리트 압축강도 (kgf/cm ²)	앵커 직경 (mm)	앵커 개수	강제 크기 (mm)
1) SA 1-1	395	13	2	450
2) SA 1-2	388	13	2	550
3) SA 2-1	408	13	2	450
4) SA 2-2	398	13	2	550

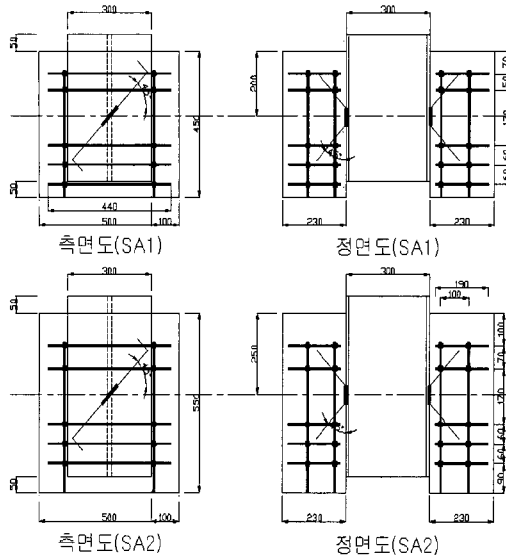


그림 3. 시험체 형상 및 철근 배치

강 사이의 편심제거를 위해 시험체가 대칭을 이루게 배치하였다. 시험체내에 주철근과 횡보강 철근을 배치하고 바닥판의 실제거동을 모사하기 위하여 하중방향의 직각방향(바닥판의 교축직각방향)으로 콘크리트를 구속하였다.

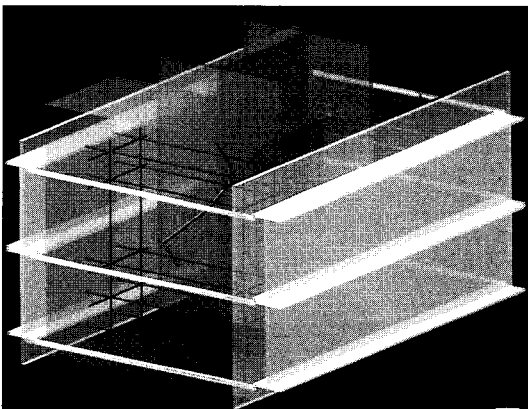


그림 4. 구속조건

2.3 실험결과 및 분석

위의 그림 5.는 4개의 모든 시험체의 Load-Slip Curve를 나타내고 있다. 이 그래프에서 SA 1-1, 1-2와 SA 2-1, 2-2를 서로 비교해볼 수 있는데 용접부위가 절단된 SA 1-1, 1-2의 그래프는 최대 강도에서 앵커가 절단된 SA 2-1, 2-2보다 최대강

도가 떨어짐을 알 수 있다. 또한 다른 여러 스테드의 실험(5)의 소성구간에서 Load-Slip Curve와 차이를 나타내는데 이것은 스테드는 압접으로 연결을 시키므로 많은 열의 발생을 줄이는 반면 슬랩앵커는 용접하는 방법이 수작업이고 용접부위가 훨씬 많기 때문에 용접에 의해서 생기는 심한 열로 인하여 앵커가 취성적으로 변했기 때문이다.

이번 실험에서 산출하려는 탄성구간에서의 강성은 SA1-1의 경우 탄성구간에서의 Load-Slip Curve가 선형적이지 않으므로 앵커의 강성 산출에서 제외하고 나머지3개의 시편의 탄성구간에서의 강성을 평균하여 산출하였고 그 값은 58048kg/cm이다.

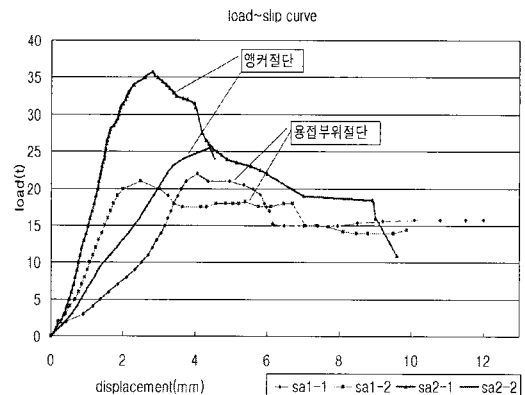


그림 5. Load-Slip Curve (SA 1-1, 1-2, 2-1, 2-2)

3. 구조해석

1경간 단순지지와 내부지점부가 있는 2경간 연속교에서의 콘크리트와 강재와의 연결을 앞의 실험을 통하여 얻은 슬랩앵커의 탄성구간에서의 강성값(K)를 적용한 Joint Element로서 모사하여 범용프로그램을 이용하여 F.E.M해석을 수행함으로써 강성값의 변화에 따른 합성정도를 알아보고자 한다.

3.1 1경간 단순지지 모델(span=10m, 앵커개수=2개/m)

1경간 단순지지 모델에서는 조인트 요소의 교축방향 강성값을 변화시켜 단위길이당강성값의 변화에 따른 합성정도의 변화를 살펴보고 또한 실험에서 얻은 강성값을 적용하여 어느 정도의 합성을 보이는지 알아본다. 1경간 단순지지의 모델에 사용된 제원과 지지조건은 다음의 그림과 같다. 하중재하

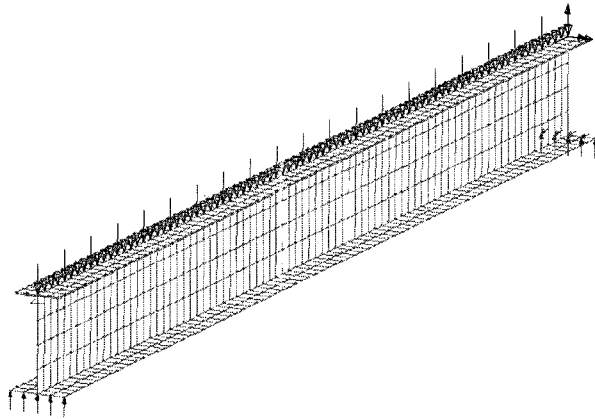


그림 6. 하중 및 지지조건

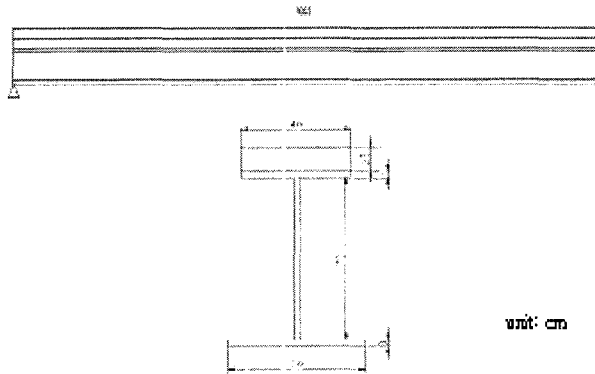
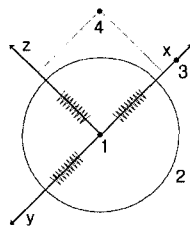


그림 7. 단면제원



No Rotational Stiffness Joint

Number of Node : 4, The 3,4 nodes are used to define the local x-axis and local xy-plane

Freedom : U, V, W

Node Coordinates : X, Y, Z

그림 8. 조인트 요소

모습은 그림 6과 같고 단면제원은 그림 7과 같다. 여기서 하중은 0.05(t/m)를 등분포하중으로 재하하였는데, 그 이유는 3D 모델링의 경우 집중하중으로 재하하는 경우 발생하는 국부적인 응력집중 현상을 없애기 위함이다.

다음의 모델에서 슬래브와 강재는 절점당 5개의 자유도를 가지는 8절점 Thick Shell 요소를 사용하였고, 강재와 슬래브를 연결시키는 조인트 요소는 그림 8과 같이 회전에는 구속하고 x, y, z 방향에 대해서는 변위를 주워지는 강성값에 따라서 허용하는 요소를 사용하였다.

1경간 단순지지모델에서는 교축방향 강성을 변화시켜가면서 슬래브와 강재의 상대슬립을 체크하였고 그림 10.는 비합성의 거동을 보이는 $K_e=0.02$ (kg/cm/cm)와 완전합성거동을 보이는 $K_e=200000$ (kg/cm/cm)의 슬래브와 강재의 상대슬립을 전 지간에 대하여 그래프로 나타낸 것이다. 또한, 그림 9.에서는 단위길이당강성(K_e)을 1에서부터 변화시켜 강성값이 증가함에 따라 상대슬립의 변화를 알아보고자 했다. 그래프에서 보는 바와 같이 단위길이당 강성(K_e)을 증가시키에 따라서 상대슬립의 값이 0으로 수렴하는 것을 볼 수 있는데 실험값(58048kg/

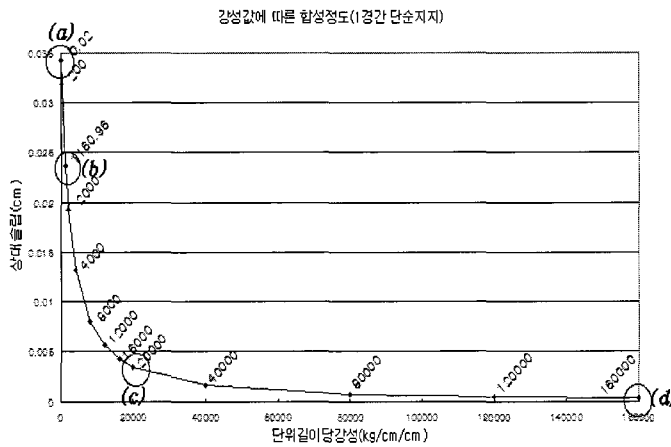


그림 9. 단위길이당강성(K_e)에 따른 상대슬립량 비교 (1경간 단순지지)

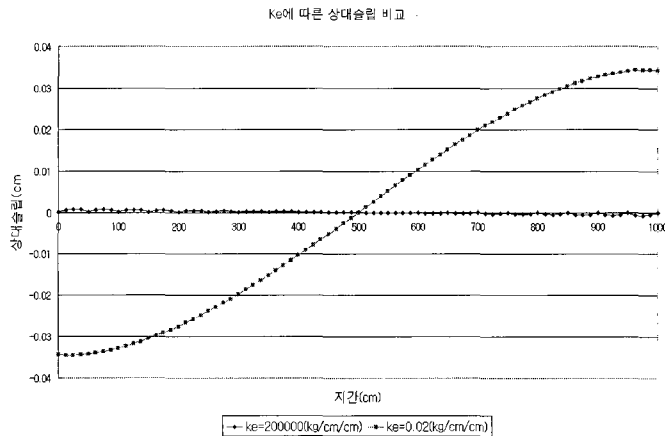
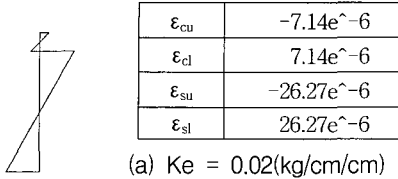


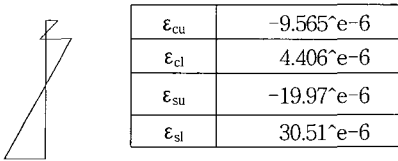
그림 10. 모든 지간의 K_e 에 따른 상대슬립 비교 (1경간 단순지지)

cm)을 단위길이당강성으로 환산하면 1m당 2개의 전단연결재가 있으므로 Ke는 1160.96(kg/cm/cm)로서 비합성 쪽에 가깝게 나타났다.

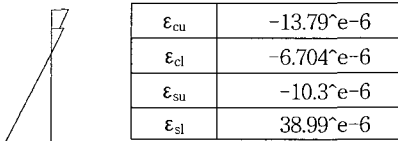
그러나 이 값은 단위길이당강성(Ke)이므로 단위길이에 더 많은 전단연결재를 사용한다면 단위길이당강성(Ke)은 증가하여 합성거동을 보일 수도 있을 것이다.



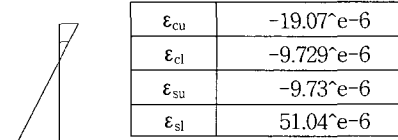
(a) Ke = 0.02(kg/cm/cm)



(b) Ke = 1160.96(kg/cm/cm)



(c) Ke = 20000(kg/cm/cm)



(d) Ke = 200000(kg/cm/cm)

그림 11. 단위길이당강성(Ke)에 따른 변형률 분포(1경간 단순지지)

그림 11.은 그림 9.의 (a), (b), (c), (d) 지점의 판형 및 콘크리트 슬래브의 상하연 변형률 분포를 잘 보여주고 있다.

그림 9.을 토대로 완전합성과 비합성의 약 20% off-set을 기준으로 하여 합성형의 구분을 표 2.와 같이 제시 하고자 한다. Oehler식(1)으로 구한 일반 스테드의 초기강성은 100000(kg/cm)이고(1)(4) 위의 모델에 적용을 시키면 1m당 2개의 전단연결재가 있으므로 Oehler식(4)에 의한 Ke는 20000(kg/cm/cm)이고 거의 합성에 가까운 것을 알 수 있다. 또한 일반적인 설계

에서는 전단연결재의 간격이 일반적으로 20cm 꼴인 것을 감안한다면 1m당 4개의 전단연결재가 배치되므로 Ke는 40000(kg/cm/cm)이므로 표 2.의 구분이 합리적이라는 것을 알 수 있다.

$$K_{si} = \frac{D_{max}}{d_{sh}(0.16 - 0.0017 f'_c)} \quad (1)$$

여기서, D_{max} 는 전단연결재의 최대강도이고, d_{sh} 는 스테드의 지름이고 f'_c '는 콘크리트의 압축강도이다.

표 2. 단위길이당강성에 따른 합성형의 구분

합성형	단위길이당강성(Ke) kg/cm/cm
비합성	$Ke \leq 4000$
부분합성	$4000 < Ke < 40000$
완전합성	$Ke \geq 40000$

3. 2 2경간 연속교 모델링 (span=20m, 앵커개수=2개/m)

2경간 연속교 모델에서는 조인트 요소요소의 교축방향 강성값을 변화시켜 단위길이당강성(Ke)의 변화에 따른 합성정도의 변화를 살펴보고 또한 실험에서 얻은 슬래브앵커의 강성값을 내부지점부에서부터 양쪽 끝단으로 점차적으로 적용하여 상부 슬래브의 응력의 변화추이, Ke의 변화에 따른 처짐 특성과 슬립량의 차이를 알아보았다. 2경간 연속교 모델에 사용된 제원과 지지조건은 그림 12. 13.과 같고, 모델에 사용된 요소는 1경간 단순지지모델과 동일하다.

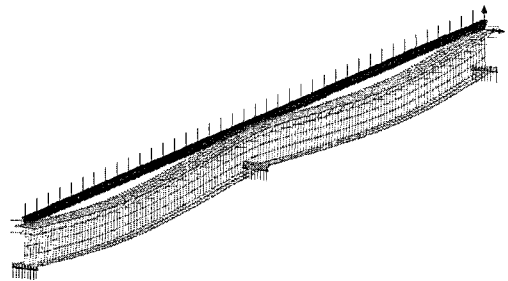


그림 12. 하중 및 지지조건

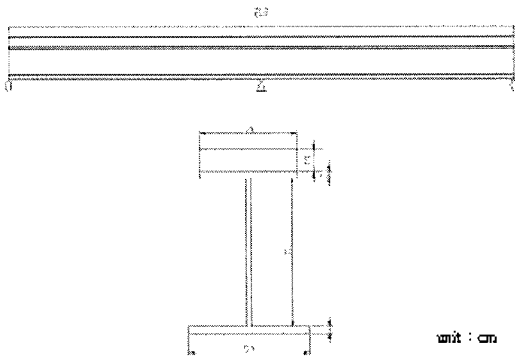


그림 13. 단면제원

그림 14.에서는 일정한 지점에서 K_e 의 값의 변화에 따른 상대 슬립량을 체크하여 그래프로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 1경간의 경우와

그래프가 똑같고 정량적으로도 같음을 알 수 있다. 또한 그림 15.은 K_e 의 값의 변화에 따른 처짐의 양상을 보여주고 있는데, 합성정도가 큼에 따라 처짐이 작아짐을 알 수 있다.

Push-Out실험을 통하여 얻은 슬랩앵커의 강성값을 F.E.M. 모델의 조인트 요소에 적용하여 내부지점으로부터 양쪽으로 슬랩앵커의 적용범위(K_a)를 넓혀가면서 슬래브에 생기는 인장응력의 변화양상을 그림 17.에 나타내었는데, 내부지점에서의 인장응력이 슬랩앵커의 적용길이를 늘려감에 따라 줄어드는 것을 볼 수 있다. 참고로 내부지점부의 슬래브응력이 콘크리트의 인장강도를 초과하였으나 본 연구에서는 응력의 변화양상만을 보여주기 위한 것이므로 절대적인 값은 무의미하다. 그림 16.에는 해석모델을 알기 쉽게 나타냈다.

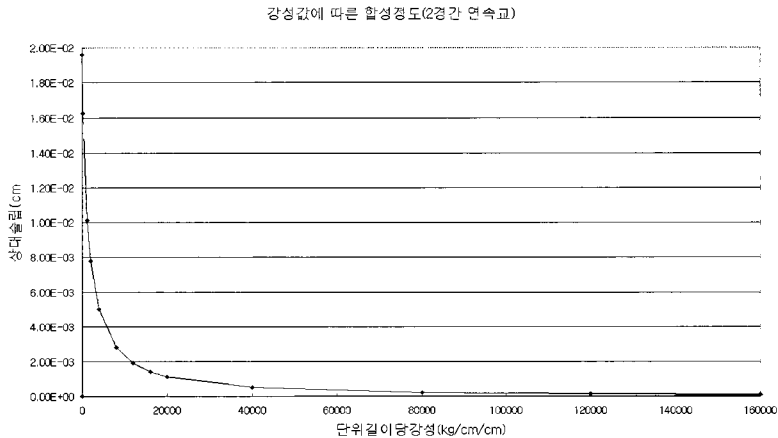


그림 14. K_e 에 따른 상대슬립량 비교 (2경간 연속교)

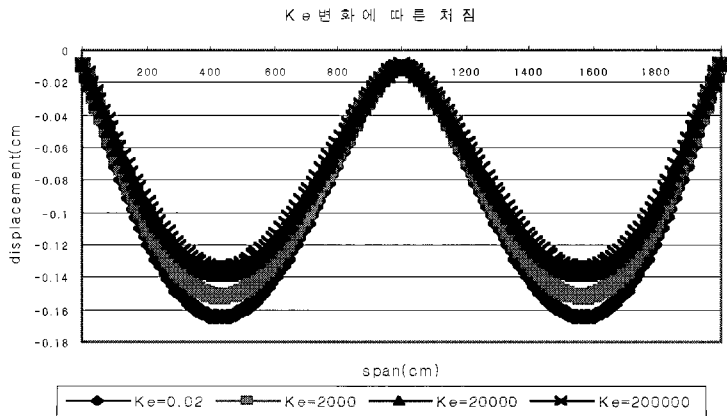


그림 15. K_e 에 따른 처짐(2경간 연속교)

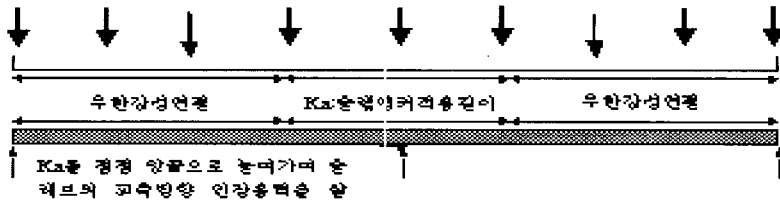


그림 16. Ka(슬래브앵커의 적용길이)의 모양

2경간연속교의 교축방향 슬래브 응력(앵커강성값적용)

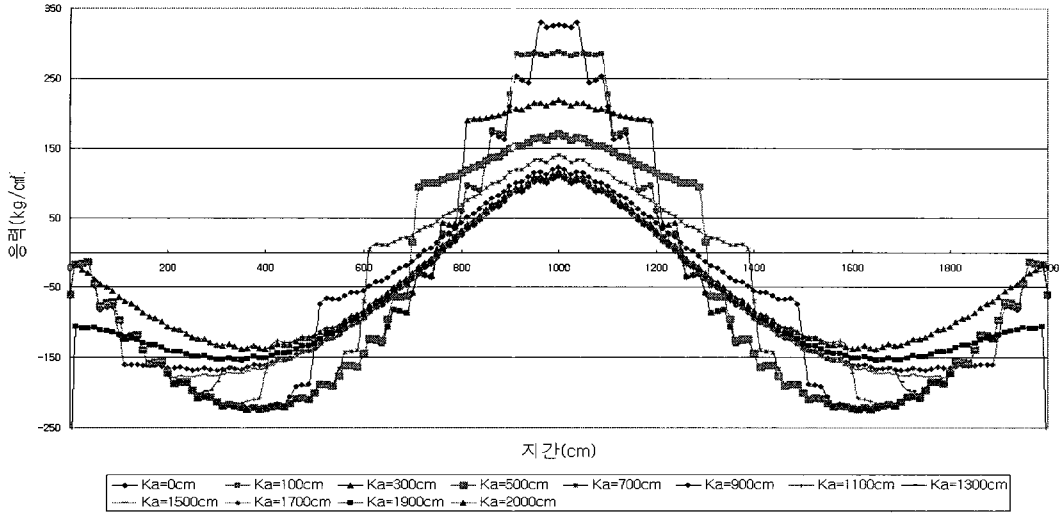


그림 17. Ka의 변화에 따른 슬래브의 교축방향응력

4. 결 론

본 연구에서는 슬랩앵커의 강성값을 산출하기 위하여 Push-Out 실험을 하였고 F.E.M. 해석을 하였는데, 1경간 단순지지 모델에서는 조인트 요소에 강성값의 변화를 주어서 합성정도를 알아보았고 2경간 연속합성교에 대하여는 슬랩앵커의 강성값을 적용하여 해석하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1. 그림 5.에서 용접부위가 절단된 두 개의 그래프(SA 1-1, 1-2)는 최대 강도에서 앵커가 절단된 SA 2-1, 2-2보다 최대강도가 떨어짐을 알 수 있고, 또한 슬랩앵커의 용접하는 방법이 수작업이고 용접부위가 훨씬 많기 때문에 용접에 의해서 생기는 심한 열로 인하여 앵커가 취성적으로 변했다.
2. 이번 실험에서 산출하려는 탄성구간에서의 강성은 SA1-1의 경우 탄성구간에서의 Load-Slip Curve가 선형적이지 않으므로 앵커의 강성 산

출에서 제외하고 나머지 3개의 시편의 탄성구간에서의 강성을 평균하여 산출하였고 그 값은 58048kg/cm이다.

3. 1경간 단순지지의 경우 단위길이당강성(Ke)값의 변화에 따른 합성정도를 알아본 결과 표 2와 같이 합성정도를 구분할 수 있었다.
4. 2경간 연속합성교의 경우, 단위길이당강성(Ke)값의 변화에 따른 합성정도는 1경간의 경우와 비슷하게 나왔으며 내부지점부에 슬랩앵커 적용길이(Ka)를 변화시켜서 슬래브의 교축방향 응력을 해석을 통하여 알아본 결과 Ka=900cm일 때까지가 가장 현저하게 내부지점부의 인장응력이 줄어들었다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1998) 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 개발 및 실용화, 96연구개발사업 연차보고서

2. 용환선 외 2인(1997) 불완전 합성률을 고려한 단순합성형의 합성거동에 관한연구, 한국강구조학회논문집, pp.543~555.
3. 장승필 외 2인(1997) 연속합성형 교량의 전단 연결재 설계에 관한 연구, 한국강구조학회논문집, pp.351~362.
4. D. J. Oehers and C. G. Coughlan(1986) "The Shear Stiffness of Shear Connections in Composite Beams", J. Constructional Steel Research . Vol. 6.
5. Jorgen G. Ollgaard, Roger G. Slutter and John W. Fisher(1971) "Shear Strength of Connectors in Lightweight and Normal-Weight Concrete", AISC Engineering Journal, pp.55~64.
6. Y.C. Wang(1998) "Deflection of Steel-Concrete Composite Beams with Partial Shear Interaction", Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.1159~1165.
7. Deric John Oehlers, George Sved(1995) "Composite Beams with Limited-Slip-Capacity Shear Connectors", Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.932~938.