

강판 거푸집 합성보의 개발

Development of Composite Beam System with Steel Formed



김 성 배
Kim. Sung-Bac
(주)신구조연구소 연구개발팀장, 공학박사



김 상 모
Kim. Sang-Mo
(주)신구조연구소 부장, 구조기술사



이 창 남
Lee. Chang-Nam
(주)세구조연구소 대표이사, 구조기술사



김 상 설
Kim. Sang-Seup
한국기술교육대학교 교수, 공학박사

1. 서론

건축물의 구조는 철골조와 철근콘크리트조가 가장 일반적으로 적용되고 있다. 오랜 기간 많은 연구자들의 연구 성과를 중심으로 시공성, 적용성 등이 우수한 구조 시스템이다. 그러나 상기의 두 시스템은 각각의 장·단점을 갖고 있어 상호 보완적인 관계를 유지하고 있다.

상기 시스템은 일부 단점을 갖고 있으나, 두 시스템

이 갖는 장점을 추출 적용하고자 하는 노력으로 합성 구조 또는 복합구조에 대한 개발과 연구가 진행되고 있다. 최근 복합구조에 대한 우수한 연구결과가 국내외에 발표되고 있고, 당사에서도 강판 거푸집을 활용한 복합구조인 T형 합성보(이하 TSC라 칭함 ; T type Steel Composite beam)를 연구 개발 중에 있다. 본 고에서는 지금까지 연구 결과를 중심으로 TSC의 특성에 대해 설명하고자 한다.

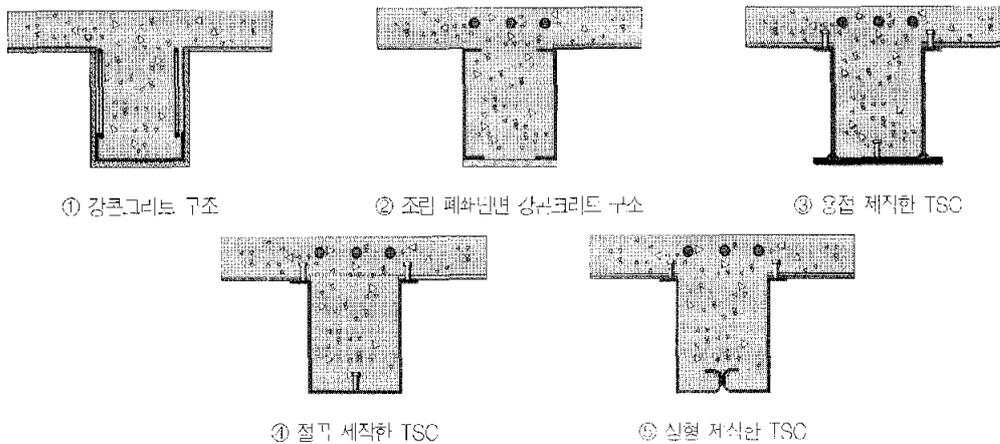


그림 1. TSC 합성보의 종류와 특징

TSC 합성보의 종류와 특징은 그림 1과 같다. 최초의 TSC 합성보는 기둥이나 보의 외곽에 U형강이나 H형강을 배치하고, 철근 레티스로 조립 후 영구거푸집을 설치하여 콘크리트를 부어 넣는 강콘크리트 구조에서 출발하였다. 그러나 국내에 아직 내화제로 지정을 받은 영구거푸집이 없으므로 강판을 내구재로 이용하여 설계하는 방법을 적용하게 되었다. 영구거푸집은 기성 제품이 아니므로 각 부분을 절단 제작 후 용접하여 제작비 상승이 초래된다. 그러므로 절곡 또는 성형 등으로 일체화된 반제품의 제작이 필요하다.

TSC 보의 형상과 구성 요소는 그림 2와 같다. TSC 보는 철골 보와 동일하게 상·하부와 웹 플레이트, 쉬어 코넥터와 쉬어키, 폭 고정용 앵글 등으로 구성된다. 각 플레이트는 용접 등으로 일체화 되어 적절한 설계내력을 갖고, TSC와 상부 콘크리트 슬래브는 합성보로 거동하기 위해 상부 플레이트에 쉬어 코넥터가 설치된다. 하부 플레이트는 콘크리트의 인장균열로 인한 조기 파괴를 방지하기 위해 스테드나 철근 등을 이

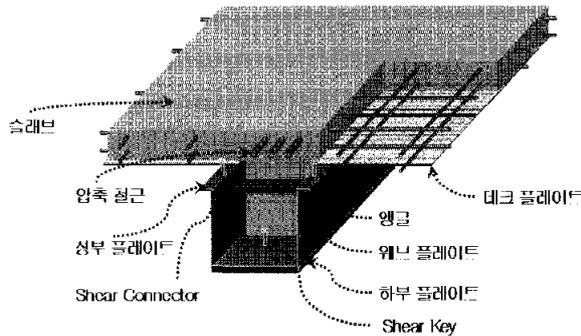


그림 2. TSC 합성보 개념도

용한 쉬어키가 부착된다. TSC 보의 상단에는 콘크리트 타설 시 웹의 벌어짐을 방지하고, 상부 슬래브 작업의 용이성 등을 위해 폭 고정용으로 형강을 부착한다.

TSC 합성보의 성능평가는 1, 2차 실험이 2001년과 2003년 한국기술교육대학교에서 실시되었고, 3차 실험이 준비 중이다. 실험은 각 구성요소와 보 부재의 성능평가, 설계내력 확인, 제작성 평가 등을 위해 실시되었고 각 실험별 실험체의 형상은 제작 방법에 따라 다소 차이가 있다. 1차 실험은 각 플레이트를 용접 제작하였고, 2차 실험은 플레이트를 절곡, 제작하였으며, 3차 실험은 성형 제작한 형상이다. 각 실험별 변수와 실험체 형상, 목적 등은 그림 3의 연구개발 진행도와 같다. 또한 지금까지의 연구 성과를 중심으로 일부 논문으로 발표하였으며 계속 연구 진행 중이다.

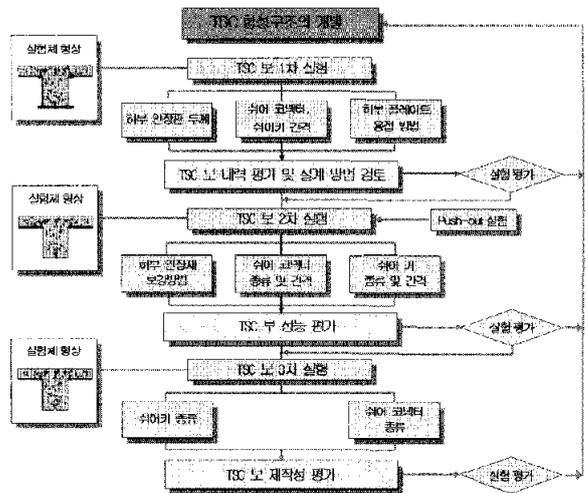


그림 3. TSC 합성보 개발 연구 진행도

표 1. 1차 실험 실험체 일람표

실험체	실험변수	인장부재 두께(mm)	쉬어 코넥터 간격 및 종류	쉬어키 간격	인장부재와 웹의 용접	합성율(%)
ISC12C-R20S20-1,2		12	HD10@200 (h=100)	D19@200 (h=100)	연속	49.3
TSC06C-R20S20		6	HD10@200 (h=100)	D19@200 (h=100)	연속	68.2
ISC18C-R20S20		18	HD10@200 (h=100)	D19@200 (h=100)	연속	47.4
ISC12C-R00S20		12	-	D19@200 (h=100)	연속	0.0
ISC12C-R20S00		12	HD10@200 (h=100)	-	연속	49.3
ISC12C-B40S20		12	M14@400	D19@200 (h=100)	연속	-
ISC12P-R20S20		12	HD10@200 (h=100)	D19@200 (h=100)	단속(100 @100)	49.3
H 형강 합성보		-	D19@200	-	-	100.0
RC T형 보		-	-	-	-	100.0

2. 1차 실험 - 용접 제작한 TSC 합성보

2.1 실험 계획

표 1은 1차 실험의 실험체 일람표이다. 1차 실험은 10개의 실험체에 대해 각 부위를 용집제작하여 합성보의 휨 특성을 평가하였다. 실험변수는 하부 인장 플레이트의 두께와 상부 쉬어 코넥터의 종류와 배치방식, 하부 쉬어키의 유·무, 측면과 하부 플레이트의 용집 방법 등이다. 또한 철근콘크리트 보와 H형강 합성보 실험체도 제작하여 비교 검토하였다.

1차 실험의 경우 TSC 합성보의 합성효과를 검토하기 위해 불완전합성으로 설계하였다. 기준 실험체의 단면형상은 그림 4와 같고, 실험체 설치 상황은 그림 5, 사진 1과 같다. 실험체의 지점 간 길이는 4,000mm 이고 폭은 700mm이며, 실험체의 형상과 가력방법 등은 2·3차 실험 모두 동일하다.

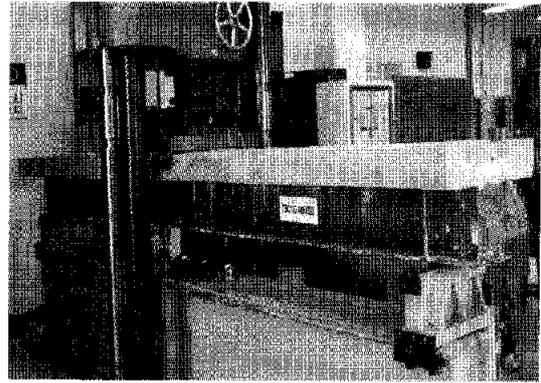


사진 1. 1차 실험 셋팅 상황

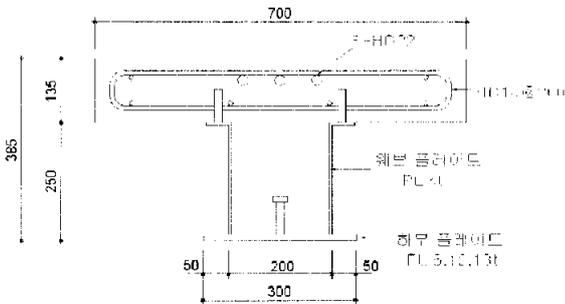


그림 4. 1차 실험 - 기준 실험체 형상

2.2 실험 결과

각각의 플레이트를 용집 제작한 TSC 합성보의 1차 실험결과 하부 플레이트의 두께와 쉬어 코넥터, 쉬어키의 영향 등이 확인되었다.

하부 플레이트는 두께가 두꺼울수록 내력 및 강성이 증가하나, 변형능력은 현격히 감소하는 현상을 보인다. 이것은 상부 쉬어 코넥터의 내력부족(부분 합성거동)과 일부 용집불량 등으로 충분한 내력 및 변형능력을 확보하지 못하고 조기에 내력이 저하되었기 때문이다.

상부 쉬어 코넥터와 하부 쉬어키의 영향은 상부 쉬어 코넥터가 없거나 전산볼트를 사용한 경우 내력 및 변형능력이 기준 실험체에 비해 크게 저감하였고, 하부에 쉬어키가 없는 실험체는 최대내력 이후 급격히 파단 되어 연성적인 거동을 하지 못했다. 이 때의 하중 변위곡선은 그림 6과 같다.

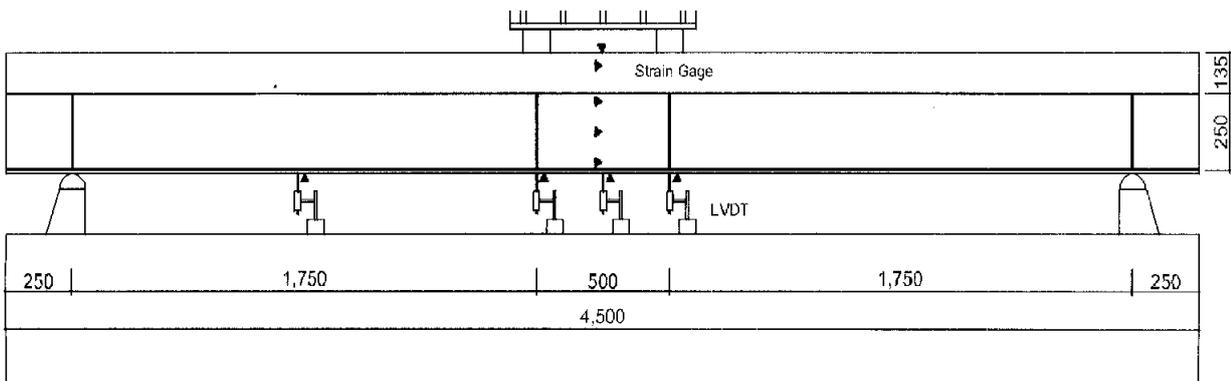


그림 5. 실험체 가력 상황

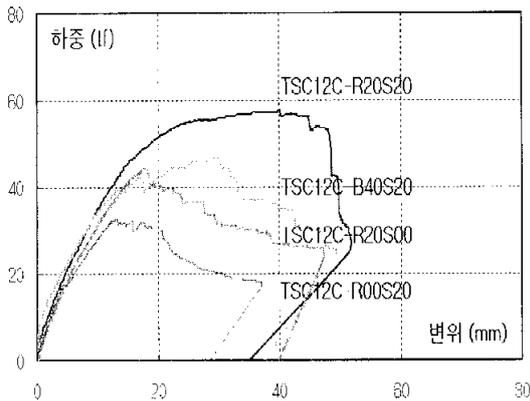


그림 6. 쉬어 코넥터와 쉬어키 영향

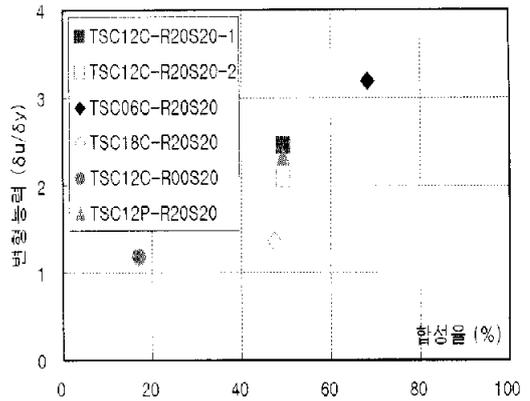


그림 8. 합성율과 변형능력

2.3 고찰 및 소결

그림 7은 최대내력 시 하부 플레이트의 두께 변화에 의한 변형도 변화이다. 종축은 하부 플레이트에서부터 상부 콘크리트 슬래브 까지 부착한 스트레인 게이지이고, 횡축은 최대내력 시 변형도이다. 하부 플레이트가 인장내력을 받으므로 판 두께 감소에 따른 변형도의 변화가 크게 나타나고 있다. 그러므로 하부 플레이트가 두꺼운 경우 변형이 충분히 발생하기 전에 파괴되었음을 알 수 있고, 이것은 불완전합성으로 충분한 변형능력이 확보 되지 않았기 때문으로 판단된다.

그림 8은 TSC 보의 합성율과 변형능력 관계이다. TSC 보의 변형능력은 합성율과 밀접한 관계를 보이고 있으므로 쉬어 코넥터를 완전합성으로 설계하면, TSC 보의 변형능력은 확보될 것으로 판단된다. 또한 하부 쉬어키는 초기강성에 큰 영향을 미치지 않으나 보 하

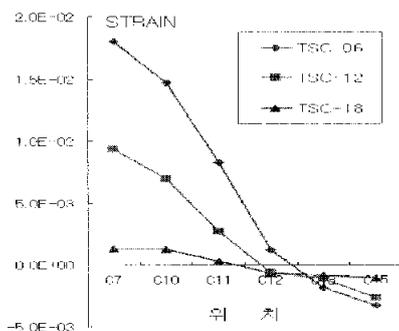


그림 7. 최대내력 시 변형도

부의 콘크리트 휨 균열을 분산시켜 조기 파단을 방지하고, 구조물의 변형능력을 확보하는데 필요한 것으로 확인되었다.

용접 제작한 TSC 합성보의 1차 실험 결과, 복합구조로 연구개발 중인 강판 거푸집 합성보는 완전합성으로 설계하면 기존의 H형강을 적용한 합성보와 동등한 내력 및 변형능력을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

3. 2차 실험 - 절곡 제작한 TSC 합성보

3.1 2차 실험 개요

1차 실험 결과 TSC 합성보는 변형능력 확보를 위해 완전합성으로 설계해야 하고, 쉬어키의 중요성이 확인되었다. 그러나 쉬어 코넥터와 폭 고정용 앵글, 쉬어키가 현장 적용성을 저하시킬 수 있으므로 현장 적용성이 우수한 쉬어 코넥터의 개발과 하부 쉬어키의 적정 간격 등에 대한 검토가 필요하다. 또한 완전 합성으로 설계 시 충분한 변형능력 확보가 가능한지 확인하기 위해 2차 보 실험이 진행되었다.

3.2 Push-out 실험

쉬어 코넥터로 사용되고 있는 스티드는 이미 폭 넓게 적용되고 있으나 그 밖의 철근과 형강 등을 이용한 쉬어 코넥터의 적용은 내력평가가 필요하므로 보 휨 실험 전에 Push-out 실험을 하였다.

Push-out 실험에 적용된 쉬어 코넥터는 철근과 ㄷ형강으로 하였고, 철근은 HD16, ㄷ형강은 150×75×6.5×10이다. Push-out 실험체의 형상은 표 2와 같다. 실험체는 각 형상에 대해 3개씩 15개를 제작하였다.

실험체는 철근을 이용하여 TSC 보에 적용되는 경우 쉬어 코넥터의 형상은 P-RI 시리즈와 동일한 형상이나, 비교 대상으로 P-RO 시리즈 시험체도 제작하였다. ㄷ형강을 이용하는 경우 H형강의 보 내부에 용접하는 P-CI 시리즈와 ㄷ형강을 H형강 상부에 U 타입으로 얹혀 용접하는 P-CO 시리즈도 검토하였다. 이 형상은 TSC 보에 적용 시 용접이 단순하고 폭 고정용으로 동시 사용이 가능한 잇점이 있다. 사진 2는 실험체 설치전경이다.

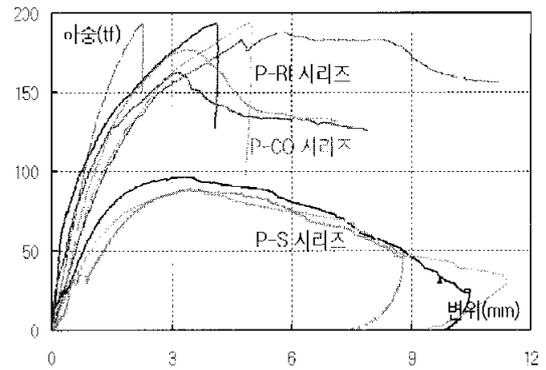


그림 9. Push-out 실험 결과

그림 9는 Push-out 실험 결과 중 스티드와 ㄷ형강을 상부에 U 타입으로 얹혀 용접한 경우, 철근을 내부에 용접한 것 등에 대해 나타낸 하중 변위곡선이다.

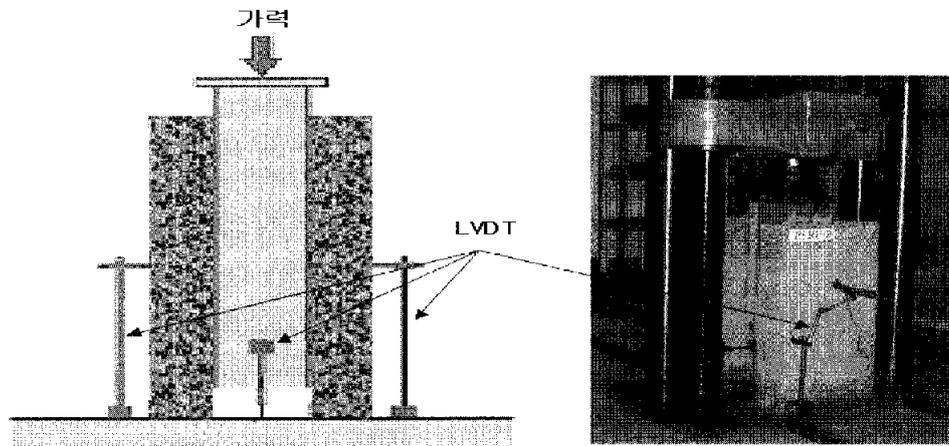


사진 2. Push-out 실험체 설치전경

표 2. Push-out 실험체 형상

	P-S	P-RI	P-RO	P-CI	P-CO
500					
100					

표 3. 2차 실험 실험체 일람표

실험체	판 두께(mm)	인장보강 방법	쉬어키	쉬어 코넥터
T4-N-K20R20-1, 2	4		HD25@200	D'6@200
T3.2 N K20R20	3.2	-	HD25@200	D'6@200
T6 N K20R20	6	-	HD25@200	D'6@200
T4 3 NR20	4	3-HD22	-	D'6@200
T4 4 K20R20	4	4-φ' 5.2	HD25@200	D'6@200
T4 6 K20R20	4	6-HD22	HD25@200	D'6@200
T4-P6-K20R20	4	Plate 6t	HD25@200	D'6@200
T6-N-K40R20	6		HD25@400	D'6@200
T6-N-K60R20	6	-	HD25@600	D'6@200
I6-N-S20R20	6	-	Sud D'6@200	D'6@200
I6-N-S40R20	6	-	Sud D'6@400	D'6@200
T4-N-K20C30	4	-	HD25@200	C@300
T4-N-K20C40	4	-	HD25@200	C@400
T4-N-K20C40	4	-	HD25@200	U@400

실험결과 철근을 내부에 쉬어 코넥터로 이용하거나 L형강을 사용하는 경우 기존의 스티드와 비교 시 충분한 내력확보가 가능하다.

3.3 보 힘 실험계획

2차 실험은 설계 시 변경이 필요하다고 판단된 쉬어 코넥터와 쉬어키의 대체 공법 및 배치 간격, 향후 TSC 보 제작방법의 단순화 등에 대해서 검토하였다. 보 제작방법은 벤딩기를 이용하여 한 장의 플레이트로 절곡하였고, 하부 플레이트를 보강하는 방법도 보강 판을 용접하는 방법에서 철근 등을 이용하는 방법이 적극적으로 검토되었다. 또한 상부 쉬어 코넥터도 스티드를

기본으로 철근을 절곡하여 용접하는 방법과 L형강을 이용하여 제작성을 개선하는 방법 등을 연구하였다.

표 3은 2차 실험 실험체 일람표이다. 실험체는 판 두께와, 인장 보강방법, 쉬어키와 쉬어 코넥터의 종류와 간격 등을 변수로 15개를 제작하였다. 쉬어 코넥터의 간격은 완전합성으로 설계하였다. 기존 실험체의 형상은 그림 10과 같다.

3.4 보 힘 실험결과

절곡 제작한 TSC 합성보의 2차 실험은 인장 보강방법과 쉬어 코넥터, 쉬어키 종류와 간격의 영향 등이 확인되었다.

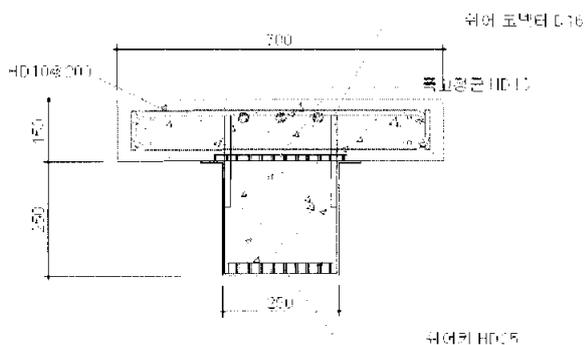


그림 10. 2차 실험 - 기준 실험체 형상

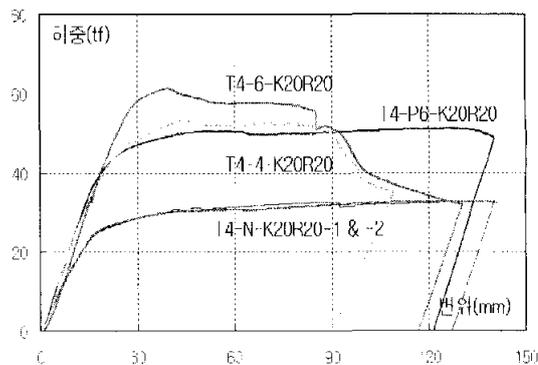


그림 11. 인장부 보강방법의 영향

그림 11은 하부 인장부 보강방법에 의한 하중 변위 곡선이다. 하부 인장부 보강은 플레이트와 철근 또는 포스트텐션 등으로 보강하는 경우 모두 내력 보강 효과가 크며, 내력보강과 함께 우수한 변형능력 확보가 가능하다.

그림 12는 쉬어키의 종류와 간격에 의한 영향이다. 쉬어키는 스티드와 철근을 이용하였고, 간격은 스티드의 경우 200, 400(mm) 철근의 경우 200, 400, 600(mm)이다.

하부 쉬어키를 철근과 스티드로 사용한 경우 대부분 동일한 하중과 변형능력을 보이고 있어 본 실험에서 적용한 쉬어키의 종류와 배치간격에 의한 영향은 적은 것으로 판단된다.

사진 3은 기준 실험체의 파괴양상이다.

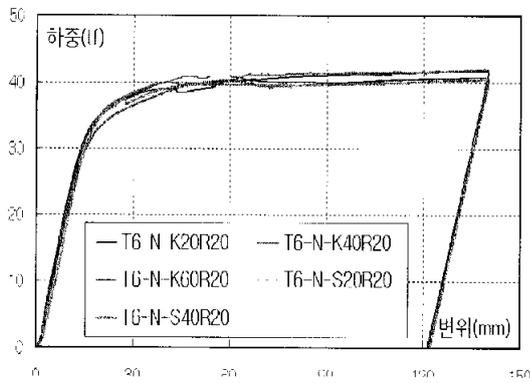


그림 12. 쉬어키 간격과 종류의 영향



사진 3. 2차 실험 - 파괴양상

3.5 소결

절곡 제작한 TSC 합성보의 2차 실험은 완전합성으로 설계 시 충분한 변형능력 확보가 가능하고, 하부 인장부는 플레이트, 철근, 포스트텐션 등으로 보강하여도 동일한 내력확보가 가능하여 적용성이 우수한 것으로 판단된다.

쉬어키는 스티드의 경우 400mm, 철근은 600mm 까지 내력 및 변형능력의 변화가 없고, 쉬어 코넥터는 스티드와 철근, C형강 모두 적용이 가능하다. 또한 쉬어 코넥터로 C형강을 사용하여 U자형으로 설치하는 경우 폭 고정용 기능을 겸하므로 작업성이 상당히 우수하다.

4. 3차 실험 - 성형 제작한 TSC 합성보

4.1 3차 실험 개요

2차 실험의 실험체 제작은 벤딩기를 이용하여 절곡 제작하였다. 그러나 벤딩기를 통한 절곡은 생산 가능한 길이가 한정되므로, 길이에 제한을 받지 않고 실구조물에 적용 가능하도록 성형 제작하는 방법을 검토하였다.

3차 실험은 성형 제작한 강관 거푸집 합성보의 제작 방법에 대해 검토하였고, 성형 제작 시 하부 쉬어키를 대체할 수 있는 디테일도 함께 연구 되었다. 또한 2차 실험결과 우수한 성능을 보였던 C형강을 이용한 쉬어 코넥터도 더욱 개선하여 단중이 적은 앵글을 적용하였다.

표 4. 3차 실험 실험체 일람표

실험체	단 두께(mm)	쉬어키	쉬어 코넥터
T6-N-S20	6	-	D16@200
T6-N-A(75)20	6	-	L-75×75×6@200
T6-N-A(65)20	6	-	-65×65×6@200
T6-N-A(50)20	6	-	L-50×50×6@200
T6-S40-A(75)20	6	D16@400	L-75×75×6@200

표 4는 3차 실험 실험체 일람표이다. 실험 변수는 쉬이키와 쉬이 코넥터의 종류와 간격 등을 변수로 5개의 실험체를 제작하였다. 기존 실험체의 형상은 그림 13과 같다. 실험체는 제작 중이며 그 결과도 정리하여 발표할 예정이다.

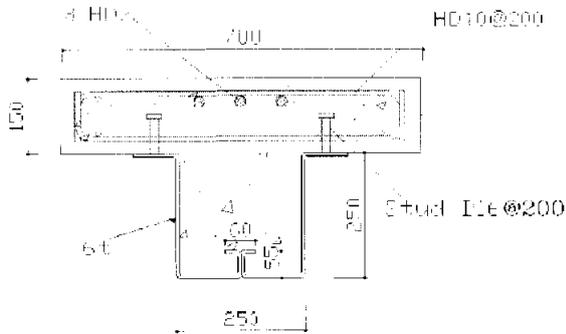


그림 13. 3차 실험 - 기존 실험체 형상

5. 맺으며

TSC 강판 거푸집 합성보는 철근콘크리트와 철골 보의 장점을 조합하여 거푸집과 구조 내력재로 적용하고자 하는 복합구조로 지금까지 연구개발 성과를 중심으로 TSC 보의 특성에 대해 설명하였다. 또한 상기 내용은 일부 논문에 발표되었거나 현재 분석중인 것으로 본 고에 포함되지 않았으나 사용성 평가와 접합부 특성 등도 실험을 통해 검증하고 있다.

지금까지의 연구결과를 토대로 TSC 합성보의 성능 평가와 경제성, 시공성 확보 등에 대해서도 계속 연구 자료를 확보하여 더욱 발전된 합성구조가 되도록 할 것이다. ▲