

스터드 커넥터로 연결된 H형강보의 모멘트 하중의 전달성능

Moment Transmission Capacity of H-shaped Beam by Stud Connectors

이 명 재¹⁾ · 최 완 철²⁾ · 이 상 구³⁾ · 김 재 희⁴⁾ · 김 희 동⁵⁾
Lee, Myung Jae Choi, Wan Chol Lee, Sang Gu Kim, Jae Hee Kim, Hee Dong

요 약 : 연구의 목적은 H형강보에 작용하는 매달림 하중 중 면내 및 면외 모멘트를 그 대상으로 구조설계시 적용되는 설계하중에 대하여 면내 및 면외 모멘트가 스투드 커넥터를 통하여 슬래브에 전달되는 하중전달 경로와 그 성능을 파악하는데 있다. 이를 위하여 면내 및 면외 모멘트를 받는 경우에 대하여 각각 2개의 실험체를 대상으로 가력실험 및 수치해석을 수행하였다. 실험의 변수로는 H형강보의 크기가 적용되었다. 면내 및 면외 모멘트 가력실험결과 현행 강구조계산기준을 따라 설계하면 스투드 커넥터에 의한 H형강보의 모멘트 전달성능은 설계하중을 만족하고 있음을 확인하였다.

ABSTRACT : The objective of this study is to evaluate in-plane and out-of-plane moment transmission capacity of H-shaped beams about design load by stud connector. Four specimens were tested under monotonic moment loading condition in each case to evaluate those. The parameter of tests is the size of the H-shaped beams. The results show that moment transmission capacity of H-shape beams in the serviceability limit state by stud connectors is excellent observing to the design code of steel structures of Architectural Institute of Korea.

핵심용어 : 스투드 커넥터, H형강보, 설계하중, 모멘트, 실험

KEYWORDS : Stud connector, H-shaped beam, Serviceability limit state, Moment, Experimental study

1. 서론

스터드 커넥터는 콘크리트 슬래브와 H형강보가 일체적으로 거동하기 위해 필요한 전단연결재로서 합성보에 사용되는 것이 일반적이다. 그런데 매우 두꺼운 두께의 콘크리트 슬래브를 가진 구조물이 상당히 큰 모멘트를 부담할 때 H형강보와 스투드 커넥터를 사용하여 콘크리트 슬래브에 고정시키고 H형강보가 간접적으로 모멘트를 부담하는 방법을 생각할 수 있다. 이와 같이 모멘트를 받는 경우에 대하여 H형강보가 보조적 수단(sub-beam)으로 사용될 수 있다. 이러한 경우 H형강보는 구조체의 주요 구조재가 아니라 기둥, 기둥 등을 주

요구조체에 매달기 위한 2차 구조부재이다. 이 경우에도 H형강보의 안전성은 확보되어야 하는데 여기서 안전성이란 종국한계상태라기 보다는 사용한계상태의 안전성이라고 볼 수 있다. 사용한계상태라면 처짐, 진동, 변위 등에 관한 한계를 말하는 것이 일반적이다. 그런데 이 경우 사용한계상태의 건축물의 강구조설계기준이 정량적으로 명시되어 있지 않은 실정이다.

본 연구의 목적은 이러한 경우 H형강보에 작용하는 매달림 하중 중 연직하중을 그 대상으로 면내 및 면외모멘트가 스투드 커넥터를 통하여 슬래브에 전달되는 하중전달 경로와 그 성능을 파악하여 설계하중에 대한 하중전달성능의 적절함을

- 1) 정회원, 중앙대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(Tel:031-670-3345, Fax:675-1776, E-mail:mjlee@cau.ac.kr)
- 2) 정회원, 숭실대학교 건축공학과 교수, 공학박사(occhoi@saint.ssu.ac.kr)
- 3) 정회원, 한국수력원자력(주) 토건부, 건축부장
- 4) 정회원, KOPEC 토목기술처, 구조기술사(lionkim@kopec.co.kr)
- 5) 정회원, 중앙대학교 건축공학과 강사, 공학박사(drkim@hanafos.com)

본 논문에 대한 토의를 2004년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

확인하는 것이다.

본 연구의 대상이 되는 대형 구조물은 이미 실시 설계가 완료된 상태로서 안전성을 확인, 검증하는 것으로 이 점이 또한 일반적인 실험연구와 다르다고 볼 수 있다.

2. 면내모멘트 전달성능실험

2.1 실험체

2.1.1 실험체의 종류

실험체는 콘크리트 슬래브에 연결된 H형강보의 크기에 따라서 SB-12MI(H-294×302×12×12), SB-16MI(H-386×299×9×14)의 2개이다.

실험체 SB-12MI는 H형강보로 H-294×302×12×12와 폭 3965mm, 두께 457mm의 콘크리트 슬래브를 스티드 커넥터를 이용한 합성보로서, 철근은 양방향 복배근이며 횡방향과 종방향의 배근 모두 D19 @230로 배근하였다.

실험체 SB-16MI는 SB-12MI와 다르게 H형강보로 H-386×299×9×14를 사용하였으며 SB-12MI와 동일한 콘크리트 슬래브에 동일한 스티드 커넥터를 이용하여 제작하였다. 철근의 배근도 SB-12MI와 동일하게 배근하였다. 그리고 SB-12MI와 SB-16MI 실험체는 실제 구조물에서 설계하중(설계시 요구하는 면내 모멘트)으로 양자 모두 1048tf·cm로 설정하고 있다.

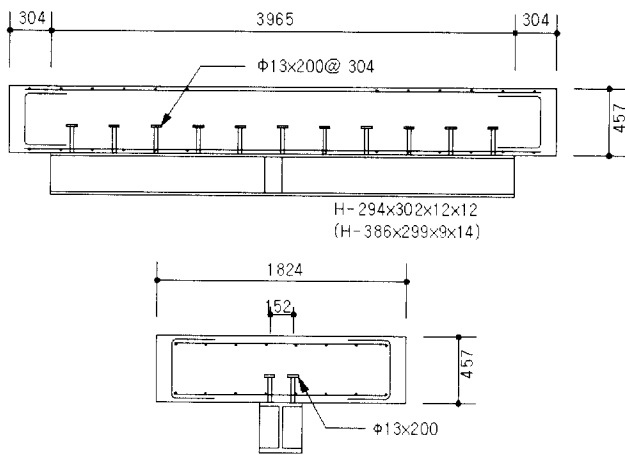


그림 1. 실험체의 형상 및 치수

2.1.2 실험체의 형태

SB-12MI, SB-16MI 실험체는 콘크리트 슬래브에 H형강보가 연결된 합성보 형태의 실험체로서 구체적인 형상은 그림 1과 같다. 또한 중앙부의 하중작용점에 기형강으로 스티

프너를 제작하여 보강하였다.

2.1.3 실험체의 재질

실험체 제작에 사용된 재료들의 재원들은 표 1과 같다. 콘크리트의 강도는 28일 강도를 기준으로 하였다. 표의 실험강도는 각 소재별 수행된 소재실험의 결과를 나타낸 것으로 강재의 경우 인장강도시험을 수행하였고, 콘크리트는 공시체 압축강도시험을 수행한 결과이다.

표 1. 구조재료의 재질

재료	종 류	공칭재료강도 (tf/cm ²)	실험값 (tf/cm ²)
강재	H-294×302×12×12 H-386×299×9×14	$F_y = 3.3$	$F_y = 3.4$
콘크리트	4주강도	$f'_c = 0.3$	$f'_c = 0.3$
스티드 커넥터	φ13 × 200	$F_y = 3.5$	$F_y = 3.97$

2.2 실험방법

2.2.1 가력방법

SB-12MI, SB-16MI는 보조 보(sub beam)인 H형강보에 면내모멘트가 작용할 경우 H형강보와 스티드 커넥터의 하중 전달 성능을 조사하기 위한 실험체로서 그림 2와 같이 실험체를 뒤집어 상부에서 H형강보에 연결된 가력보조장치를 통하여 50tf 성능의 오일잭 2대를 연결하여 각각 동일한 크기의 인장력과 압축력을 가력하였다. 이로써 H형강보에 우력의 모멘트(moment arm = 1200mm)가 H형강보의 면내로 작용할 수 있도록 하였다. 오일잭의 간격(moment arm)은 오일잭의 가력 능력과 요구되는 모멘트 성능을 고려하여 결정하였다.

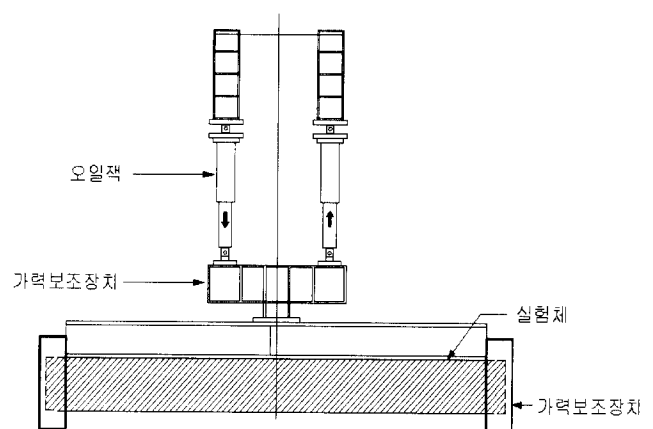


그림 2. 면내실험체 가력방법

가력시 2대의 오일잭에 작용하는 하중의 크기는 동일하도록 가력 단계마다 하중을 확인하여 오차의 범위가 ±0.2 tf 이하가 되도록 하였다. 실험체의 지지는 실험체 양 단부에 가력보조장치(supporting jig)를 이용하여 가력프레임과 연결하였으며 실험체 단부 200 mm 이상이 가력보조장치에 연결되도록 설치하여 하중이 충분히 지점으로 전달될 수 있도록 하였다.

2.2.2 계측방법

본 실험에서는 실험체 H형강보에 발생하는 중앙부 회전각을 측정하기 위해서 100mm의 변위계를 중심간 거리 300mm로 하여 실험체의 중앙부에 설치하였으며, 처짐을 측정하기 위해 100mm 변위계를 실험체 H형강보의 중앙부와 양단부에 각각 설치하였다(그림 3 참조). 그리고 내부에 매립된 스테드 커넥터에 전달되는 하중 및 그에 따른 변형도를 측정하기 위해 인장력의 영향을 받게되는 측에 설치된 전체 12개의 스테드 커넥터에 와이어 스트레인 게이지를 부착하였다(그림 3 참조). SB-12MI의 경우 면내모멘트를 받게 되므로 인발 및 항복의 영향을 명확하게 파악할 수 있는 인장 측에만 와이어 스트레인 게이지를 설치하였다. 이들을 통하여 실험체 H형강보의 처짐량과 스테드 커넥터의 변형량을 하중 가력단계 별로 측정하였다. 그리고 SB-16MI도 SB-12MI와 동일하게 측정하였다.

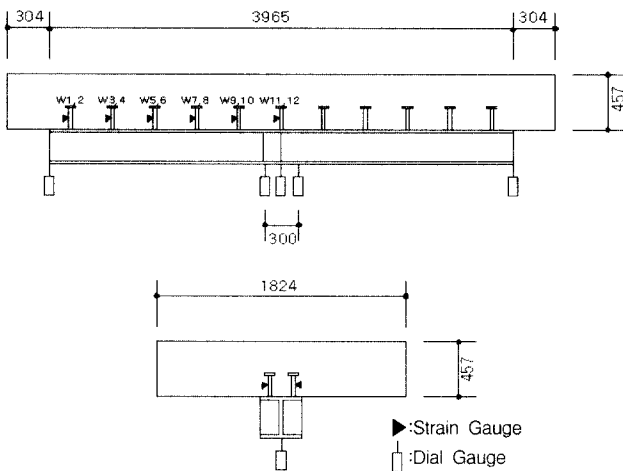


그림 3. 실험체의 계측 상황

2.3 실험결과

2.3.1 수치해석

1) 예상강도

실험체의 예상강도는 H형강보의 항복모멘트를 예상강도로

산정하였다. 그리고 예상강도는 사용된 강재의 공칭항복강도 (F_y)를 적용한 공칭항복모멘트와 소재실험결과 나타난 항복강도 (σ_y)를 적용한 실제 항복모멘트로 각각 구분하여 산정하였다.

① 공칭항복모멘트

$$\begin{aligned} \text{SB-12MI} : M_y &= F_y \cdot Z_x \\ &= 3.3 \times 1150 = 3795 \text{ tf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SB-16MI} : M_y &= F_y \cdot Z_x \\ &= 3.3 \times 1740 = 5742 \text{ tf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

② 실제 항복모멘트

$$\begin{aligned} \text{SB-12MI} : M_y &= \sigma_y \cdot Z_x \\ &= 3.4 \times 1150 = 3910 \text{ tf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SC-16MI} : M_y &= \sigma_y \cdot Z_x \\ &= 3.4 \times 1740 = 5916 \text{ tf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

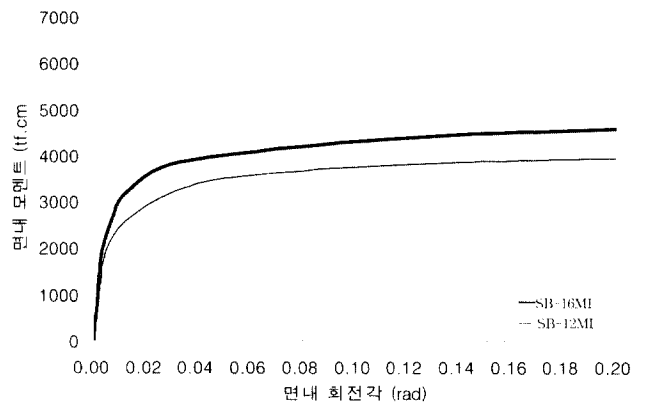


그림 4. 유한요소해석결과

2) 수치해석결과

가력하기 전에 개략적인 시험체의 거동을 예상하기 위하여 단순화시킨 모델로 비탄성 유한요소해석을 하였다.

SB-12MI, SB-16MI 실험체의 면내모멘트-회전각 관계의 비탄성 유한요소해석 결과를 그림 4에 나타내었고, SB-16MI의 변형성상을 그림 5에 나타내었다.

해석에는 비선형 비탄성해석이 가능한 FEM 프로그램인 ANSYS 5.3을 사용하였으며, 해석시의 형강의 응력-변형도 곡선으로는 선행된 소재실험결과를 이용한 bi-linear model을 사용하였으며, 콘크리트 슬래브는 사용성한계가 연구범위이므로 모델링하지 않고 스테드 커넥터만 탄소성 스프링으로 모델링하여 해석하였다.

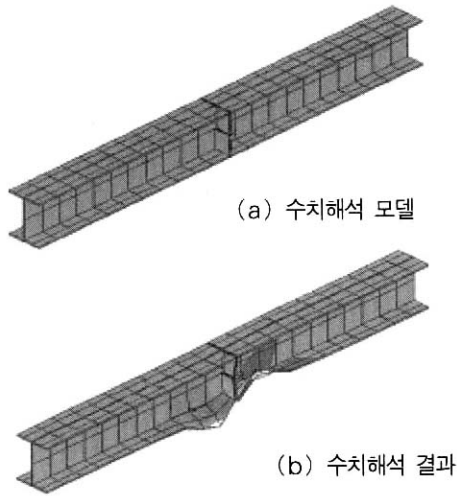


그림 5. SB-16MI 실험체의 변형성상

2.3.2 실험결과

SB-12MI, SB-16MI 실험체의 면내모멘트-회전각 관계 및 비탄성 유한요소해석 결과를 그림 6, 그림 7에 각각 나타내었으며 하중-보 단부처짐 관계를 그림 8 그림 9에 각각 나타내었다. 그리고 각 하중 단계별 스티드 커넥터의 변형도를 그림 11, 그림 12에 각각 나타내었다. SB-16MI 실험체의 가력종료시의 상황을 그림 10에 나타낸다.

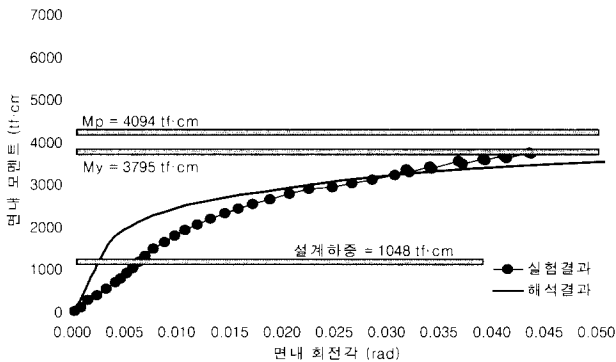


그림 6. SB-12MI 실험체의 면내모멘트-회전각 관계

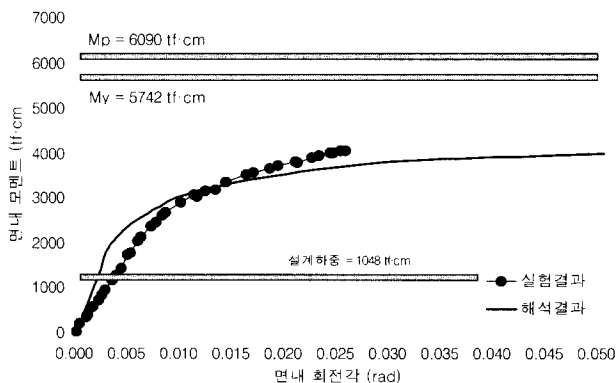


그림 7. SB-16MI 실험체의 면내모멘트-회전각 관계

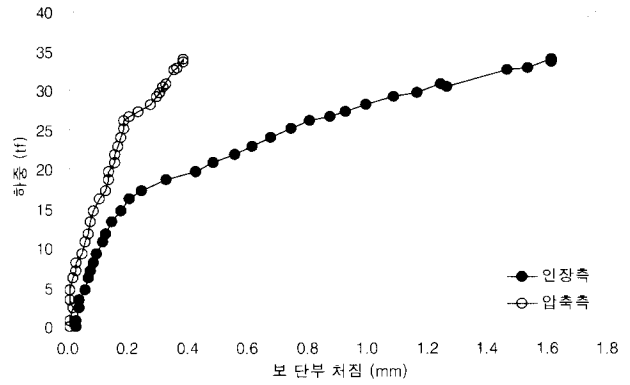


그림 8. SB-12MI 실험체의 하중-보단부처짐과의 관계

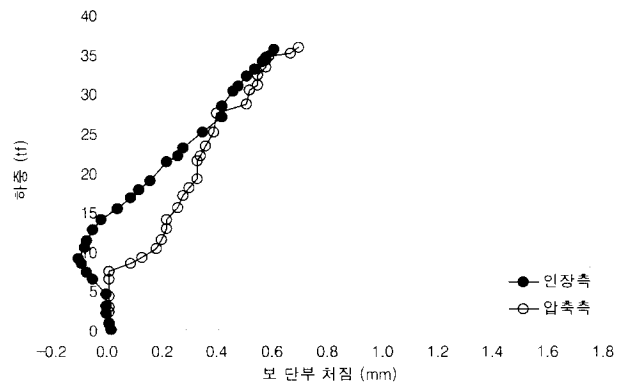


그림 9. SB-16MI 실험체의 하중-보단부처짐과의 관계

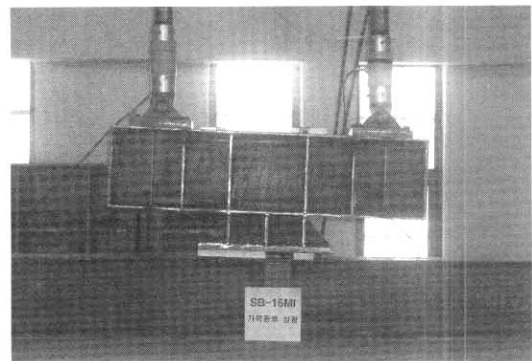


그림 10. SB-16MI 실험체의 가력종료시 상황

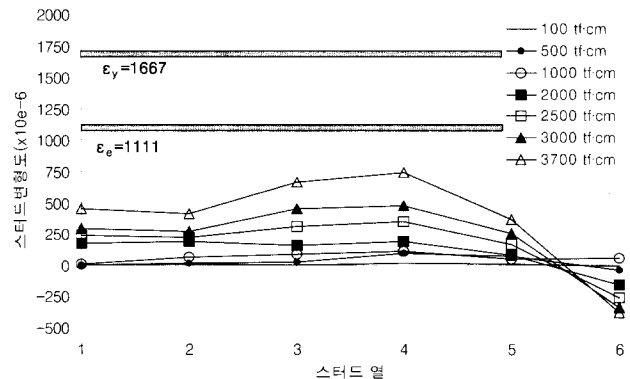


그림 11. 하중 단계별 각 스티드의 변형도 변화(SB-12MI)

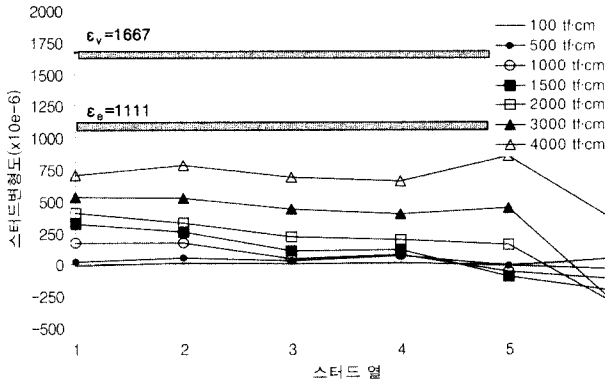


그림 12. 하중 단계별 각 스투드의 변형도 변화(SB-16MI)

3. 면외모멘트 전달성능실험

3.1 실험체

3.1.1 실험체의 종류

실험체는 콘크리트 슬래브에 연결된 H형강보의 크기에 따라서 SB-12MO (H-294×302×12×12), SB-16MI (H-386×299×9×14)의 2개이다.

실험체 SB-12MO, SB-16MO는 SB-12MI, SB-16MI와 같이 강재보 H-294×302×12×12, H-386×299×9×14을 사용하였으며 SB-12MI와 동일한 콘크리트 슬래브에 동일한 스투드 커넥터를 이용하여 제작하였다. 철근의 배근도 SB-12MI와 동일하게 배근하였다. 그리고 SB-12MO와 SB-16MO 실험체는 실제 구조물에서 설계 하중(설계시 요구하는 면외모멘트)으로 288tf·cm 동일하게 설정하고 있다.

3.1.2 실험체의 형태

SB-12MO, SB-16MO 실험체는 콘크리트 슬래브에 보조보인 H형강보가 연결된 형태의 실험체로서 구체적인 형상은 SB-12MI 실험체와 동일하다(그림 1 참조).

3.1.3 실험체의 재질

실험체 제작에 사용된 재료들의 재원은 SB-12MI, SB-16MI 실험체와 동일하다(표 1 참조).

3.2 실험방법

3.2.1 가력방법

SB-12MO, SB-16MO는 보조 보(sub beam)인 H형강보에 면외모멘트가 작용할 경우에 H형강보와 스투드 커

넥터의 하중 전달성능을 고찰하기 위한 실험체로서 그림 13와 같이 실험체를 뒤집어 상부에서 H형강보에 연결된 가력 보조장치를 통하여 50tf 성능의 오일잭 2대를 연결하여 각각 동일한 크기의 인장력과 압축력을 가력하였다. 이를 통하여 H형강보에 우력의 모멘트(moment arm = 1200 mm)가 면외로 작용할 수 있도록 하였다. 가력시 2대의 오일잭에 작용하는 하중의 크기는 동일하도록 하중 가력단계마다 하중을 확인하여 오차의 범위가 ±0.2tf 이하가 될 수 있도록 하였다. 여기서, 오일잭의 간격(moment arm)은 오일잭의 가력 능력과 요구되는 모멘트 성능을 고려하여 결정하였다. 실험체의 지지는 실험체 양 단부에 가력보조장치(supporting jig)를 이용하여 가력 프레임과 연결하였으며 실험체 단부 200mm 이상이 가력보조장치에 정착될 수 있도록 설치하여 하중이 충분히 지점으로 전달될 수 있도록 하였다. 실험체에 가력된 하중은 각각의 오일잭(oil jack) 상부에 부착된 로드셀(load cell)에 의해서 측정되었으며, 양 쪽 로드셀(load cell)의 값을 이용하여 실험체에 가력된 면외모멘트를 산정하였다.

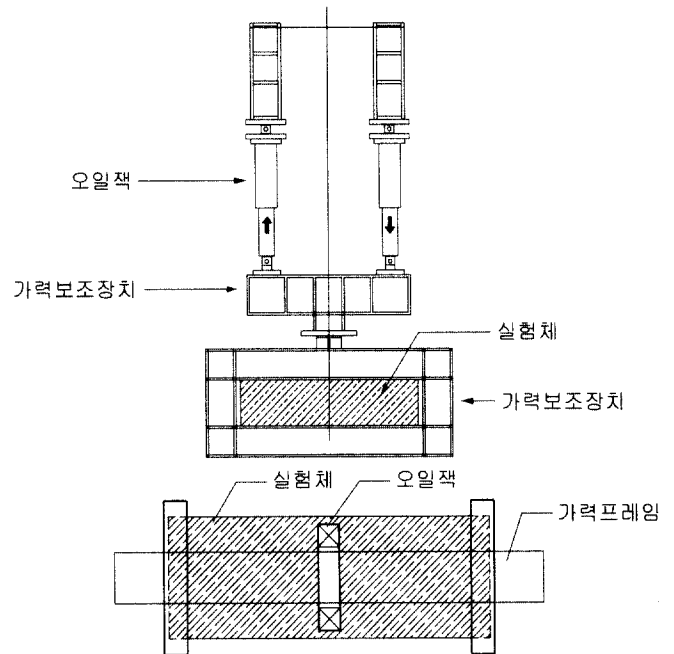


그림 13. 면외실험체 가력방법

3.2.2 계측방법

본 실험에서는 실험체 H형강보에 발생하는 중앙부 면외 회전각을 측정하기 위해서 100mm의 변위계를 중심간 거리 300mm로 하여 실험체의 중앙부에 설치하였으며, 처짐을 측정하기 위해 100mm 변위계를 실험체 보조보의 중앙부에 설치하였다. 그리고 보조보의 양단부에 도 회전각을 측정하기 위하여 중심간 거리 260mm로 하여 100mm의 변위계

를 각각 설치하였다(그림 14 참조). 그리고 내부에 매립된 스티드 커넥터에 전달되는 하중 및 그에 따른 변형도를 측정하기 위해 실험체에 매립된 22개의 모든 스티드 커넥터에 와이어 스트레인 게이지를 부착하였다. 이러한 방법으로 실험체 H형강보의 처짐량과 스티드 커넥터의 변형량을 가력단계별로 측정하였다.

3.3 실험결과

3.3.1 수치해석

1) 예상강도

SBMO 시리즈는 H형강보의 항복비틀림모멘트를 예상강도로 산정하였다. 그리고 예상강도는 사용된 강재의 공칭항복강도(F_y)를 적용한 항복비틀림모멘트와 소재실험결과 나타난 항복강도(σ_y)를 적용한 실제 항복비틀림모멘트로 각각 구분하여 산정하였다.

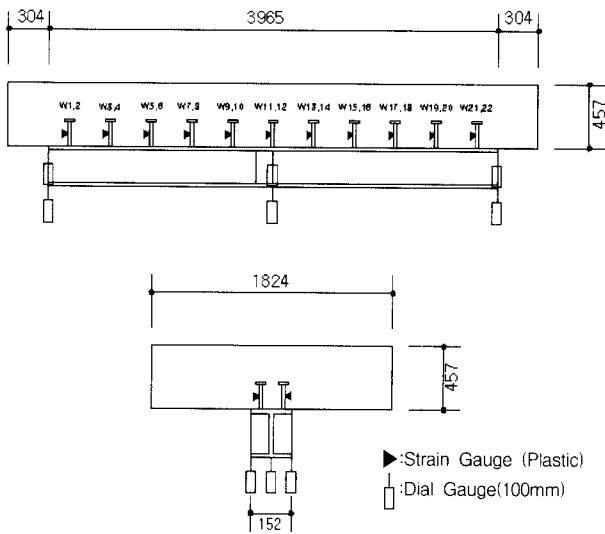


그림 14. 실험체 계측상황

① 공칭항복비틀림모멘트

$$\begin{aligned} \text{SB-12MO} : M_t &= (F_y/\sqrt{3}) \cdot J/r \\ &= (3.3/\sqrt{3}) \cdot 49/1.2 = 78 \text{ tf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SB-16MO} : M_t &= (F_y/\sqrt{3}) \cdot J/r \\ &= (3.3/\sqrt{3}) \cdot 61/1.4 = 84 \text{ tf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

② 실제 항복비틀림모멘트

$$\begin{aligned} \text{SB-12MO} : M_t &= (\sigma_y/\sqrt{3}) \cdot J/r \\ &= (3.4/\sqrt{3}) \cdot 49/1.2 = 80 \text{ tf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

$$\text{SB-16MO} : M_t = (\sigma_y/\sqrt{3}) \cdot J/r$$

$$= (3.4/\sqrt{3}) \cdot 61/1.4 = 86 \text{ tf} \cdot \text{cm}$$

다만, 이 경우는 H형강이 무구속상태에서의 비틀림모멘트 값으로 실제로는 H형강의 상플랜지가 스티드 커넥터에 의해서 회전이 구속되어 있으므로 상기값보다 훨씬 높은 내력이 예상된다.

2) 수치해석결과

SB-12MO, SB-16MO 실험체의 면외모멘트-회전각 관계 및 비탄성 유한요소해석 결과를 그림 15에 나타내었으며, 변형성상을 그림 16에 나타내었다. 해석에는 비탄성해석이 가능한 FEM 프로그램인 ANSYS 5.3을 사용하였으며, 해석시 형강의 응력-변형도 곡선으로 선행된 소재 실험결과를 이용한 bi-linear model을 사용하였으며, 콘크리트 슬래브는 사용성한계가 연구범위이므로 모델링하지 않고 스티드 커넥터만 탄소성 스프링으로 모델링하여 해석하였다.

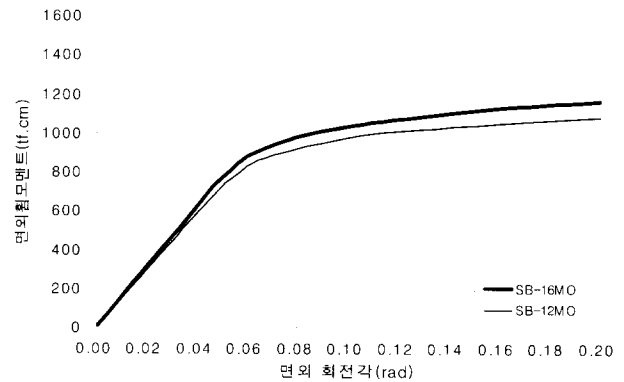
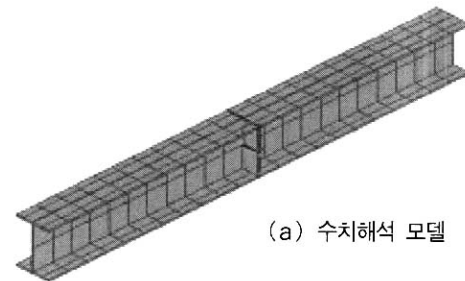
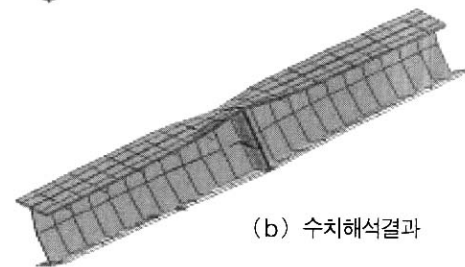


그림 15. 유한요소해석결과



(a) 수치해석 모델



(b) 수치해석결과

그림 16. SB-16MO 실험체의 변형성상

3.3.2 실험결과

SB-12MO, SB-16MO 실험체의 면외모멘트-회전각관계 및 비탄성 유한요소해석결과를 그림 17, 그림 18에 나타내었으며,

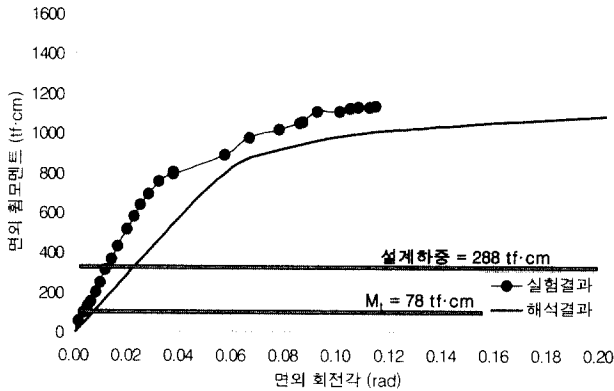


그림 17. SB-12MO 실험체의 면외모멘트-회전각 관계

면외모멘트-보 단부 회전각 관계를 그림 19, 그림 20에 나타내었다. 그리고 각 하중 단계별 스텝 커넥터의 변형도를 그림 21, 그림 22에 나타내었다. SB-16MO 실험체의 가력종료 상황을 그림 23, 24에 나타낸다.

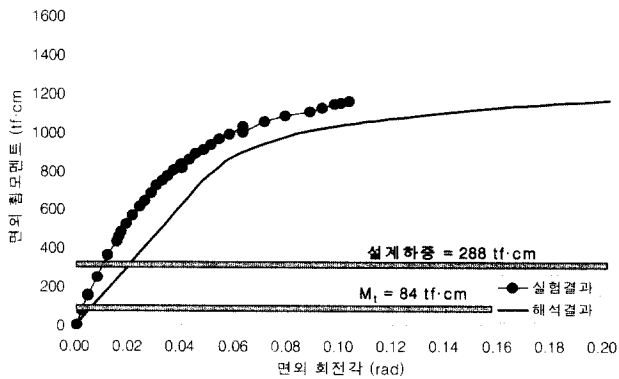


그림 18. SB-16MO 실험체의 면외모멘트-회전각 관계

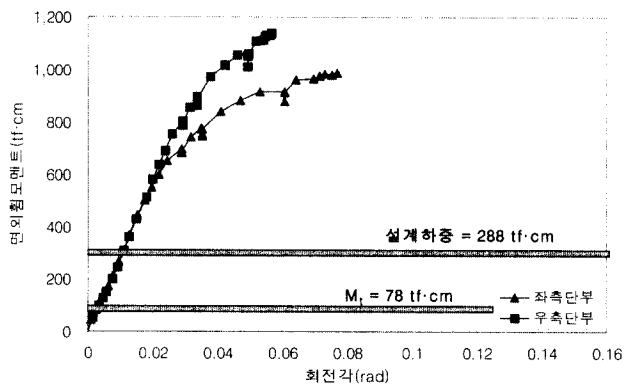


그림 19. 보조보 단부 면외모멘트-회전각 관계(SB-12MO)

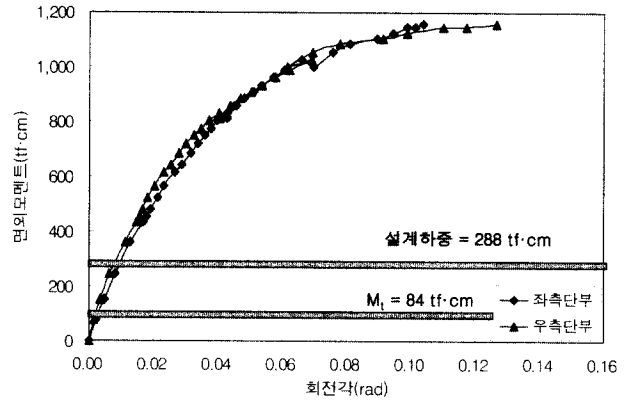


그림 20. 보조보 단부 면외모멘트-회전각 관계(SB-16MO)

4. 고찰

4.1 면내모멘트의 경우

4.1.1 SB-12MI 실험체

SB-12MI 실험체의 경우 가력종료시까지 스텝 커넥터의

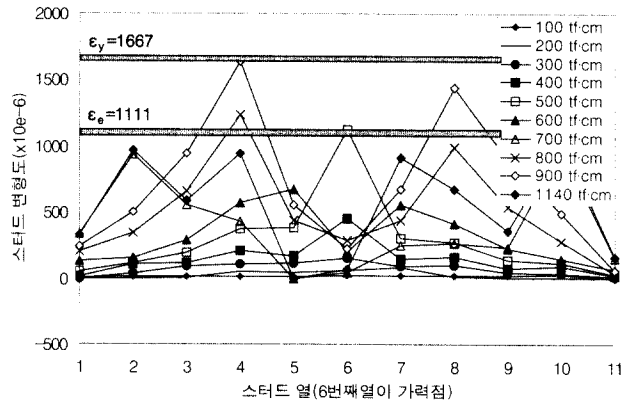


그림 21. 하중 단계별 각 스텝의 변형도 변화(SB-12MO)

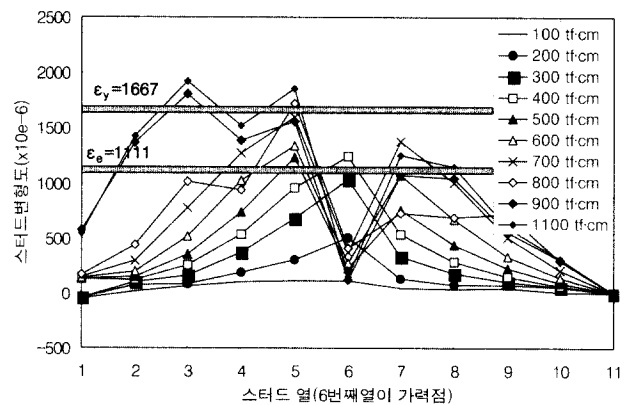


그림 22. 하중 단계별 각 스텝의 변형도 변화(SB-16MO)

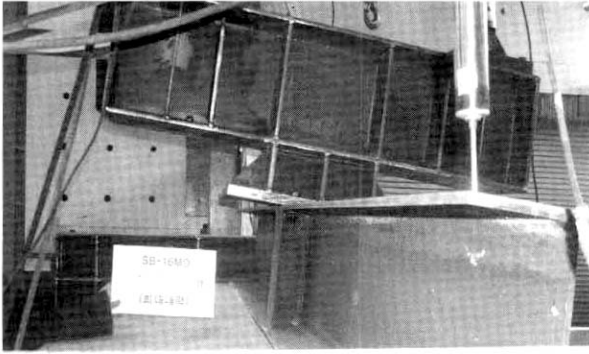


그림 23. SB-16MO 실험체의 가력종료시 상황



그림 24. SB-16MO 실험체의 가력종료시 상황(인장부)

인발 및 파단 등에 의한 급격한 내력저하는 나타나지 않았다. 본 실험에서는 가력종료시까지 스티드 커넥터의 변형도가 모두 항복변형도 이하의 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다(그림 11 참조). 따라서 스티드 커넥터의 거동이 H형강보의 최대내력 결정에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 사료된다.

SB-12MI 실험체의 경우 모멘트 가력지점의 H형강보의 인장측 상 플랜지의 국부적인 변형이 발생하고 난후 가력을 중단하였다. 그리고 본 실험체의 경우 모멘트에 의해 압축력의 영향을 받는 지점에 비해 상대적으로 인장력을 받는 부분의 H형강보의 거동이 실험체의 내력 및 강성에 미치는 영향이 크게 나타난 것으로 판단된다.

이러한 현상은 하중이 모멘트일 경우에는 우력으로 작용된 하중의 작용점이 스티드 커넥터의 위치와 일치하지 않으므로 스티드 커넥터의 거동보다는 H형강보의 플랜지 부분의 국부적인 변형의 영향을 받는 것으로 판단된다. 하지만 실험결과 는 H형강보의 공칭항복모멘트에 가까운 모멘트 저항능력을

나타내었다.

4.1.2 SM-16MI 실험체

SB-16MI 실험체의 경우도 가력종료시까지 스티드 커넥터의 인발 및 파단 등에 의한 급격한 내력저하는 나타나지 않았다. 본 실험에서도 SB-12MI의 실험결과와 유사하게 스티드 커넥터의 변형도가 모두 항복변형도 이하의 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다(그림 12 참조). 따라서 스티드 커넥터의 거동이 H형강보의 최대내력 결정에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 사료된다.

또한 SB-16MI 실험체의 경우에도 SB-12MI와 유사하게 모멘트 가력지점의 H형강보에 인장측 상플랜지의 국부적인 변형에 의해서 H형강보의 공칭항복모멘트 이하의 값에서 최대내력이 결정되었다.

그리고 본 실험체 역시 모멘트에 의해 압축력의 영향을 받는 지점에 비해 상대적으로 인장력을 받는 부분의 H형강보의 거동이 실험체의 내력 및 강성에 미치는 영향이 크게 나타난 것으로 판단된다. 이 현상은 SB-12MI 실험체에서도 동일하게 나타났던 현상이다.

그런데 H형강보로 H-294×302×12×12이 적용된 SB-12MI 실험체에 비하여 H-386×299×9×14이 적용된 SB-16MI 실험체에서는 비교적 모멘트-회전각 관계에서 나타난 회전강성이 높게 나타나고 있으며, 스티드 커넥터의 변형도 역시 SB-12MI 실험체에 비하여 형강의 단부까지 하중의 영향이 미치고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 H형강보의 휨강성 차이에 의해서 나타나는 현상으로 파악된다. 따라서 면내모멘트를 받는 경우에 있어서도 H형강보의 형강 치수 및 단면성능의 차이에 따라서 스티드 커넥터에 전달되는 하중의 정도 및 그 분포가 달라지는 것으로 사료된다.

4.2 면외모멘트의 경우

4.2.1 SB-12MO 실험체

SB-12MO 실험체의 경우 가력종료시까지 스티드 커넥터의 인발 및 파단 등에 의한 급격한 내력저하는 나타나지 않았다. 그러나 면내모멘트를 받는 실험체들과는 달리 면외모멘트를 받는 중앙부 하단의 인장부에서는 콘크리트 슬래브와 H형강보의 이격이 현격하게 나타났으며, 스티드 커넥터의 변형도도 중앙부 가력지점 부근에 경우 항복 변형도를 초과한 상태를 나타내었다. 또한 H형강보의 단부에서도 중앙부의 67%에 비교적 큰 면외회전각이 발생하여(그림 17 참조) H형강보가 전체적으로 면외모멘트로 인한 비틀림을 받고 있는 것으로 나타났다.

중앙부의 스테드 커넥터의 경우 200tf·cm 모멘트를 초과하면서부터 항복현상이 급격하게 진행이 된 것을 볼 수 있으며, 가력종료 시점에서는 H형강보 양단부의 2개열 정도를 제외한 나머지 스테드 커넥터가 모두 항복변형도를 초과하고 있는 것으로 나타났다.

따라서 H형강보가 면외모멘트를 받을 경우에는 면내모멘트를 받는 경우와 비교하여 스테드 커넥터에 전달되는 하중의 분포가 넓게 나타나는 것으로 사료되며, 비교적 낮은 모멘트에서도 스테드 커넥터의 항복현상이 발생하는 것으로 판단된다. 하지만 H형강보의 공칭항복비틀림모멘트 이내에서 스테드 커넥터의 변형도는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.

4.2.2 SB-16MO 실험체

SB-16MO의 경우 SB-12MO 실험체와 같이 면외모멘트를 받는 중앙부 하단의 인장부에서는 콘크리트 슬래브와 보조보(sub beam)의 이격이 현격하게 나타났으며, 스테드 커넥터의 변형도도 중앙부 가력지점의 경우 항복 변형도를 초과한 상태를 나타내었다. 또한 H형강보의 단부에서도 비교적 큰 회전각이 발생하여(그림 20 참조) H형강보가 전체적으로 면외모멘트로 인한 비틀림을 받고 있는 것으로 나타났다.

중앙부의 스테드 커넥터의 경우 300tf·cm 모멘트를 초과하면서부터 항복현상이 급격하게 진행이 된 것을 볼 수 있으며, 가력종료 시점에서는 H형강보 양단부의 1개 열정도를 제외한 나머지 스테드 커넥터가 모두 항복변형도를 초과하고 있는 것으로 나타났다.

SB-12MO 실험결과와 비교하여 SB-16MO 실험체의 경우에는 단부의 회전각이 크게 나타나고 있으며(1153 tf·cm일 때 1.6배 정도), 스테드 커넥터의 변형도 분포도 비교적 넓게 나타나고 있다. 이것은 형강의 치수 증가로 인하여 비틀림 강성이 증가하고, 이로 인하여 비교적 가력 지점에 집중되어 비틀림이 발생한 SB-12MO 실험체와는 달리 H형강보 전체적으로 비틀림의 영향이 전달된 것으로 사료되며, 이로 인하여 단부의 회전각 증가 및 스테드 커넥터의 변형도 분포 변화가 발생한 것으로 판단된다.

H형강보가 면외모멘트를 받을 경우에는 면내모멘트를 받는 경우와 비교하여 스테드 커넥터에 전달되는 하중의 분포가 넓게 나타나는 것으로 사료되며, 비교적 낮은 모멘트에서도 스테드 커넥터의 항복현상이 발생하는 것으로 판단된다. 하지만 H형강보의 공칭항복비틀림모멘트 이내에서 스테드 커넥터의 변형도는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.

5. 결 론

스터드 커넥터가 연속 배열되어 H형강보에 면내 및 면외 모멘트가 작용하는 경우에 대해서 실험적으로 하중전달성능을 조사하였다. 그 결과 다음과 같이 요약될 수 있다.

- (1) SB-12MI 실험체의 면내항복모멘트는 3795tf·cm이고, 설계하중은 1048tf·cm로 설정되어 있다. 실제 가력실험은 3741tf·cm까지 진행하였다. 이것은 항복모멘트에는 못미치지만, 설계하중의 257%를 상회하는 결과로서 만족스러운 내력을 보여주고 있음이 확인되었다. 또한 설계하중 1048tf·cm에 상응하는 스테드 커넥터의 최대변형도는 108×10^{-6} 으로서 아직 비례한계영역에 머물고 있음이 확인되었다.
- (2) SB-16MI 실험체의 면내항복모멘트는 5742tf·cm이고, 설계하중은 1048tf·cm로 설정되어 있다. 실제 가력실험은 4045tf·cm까지 진행하였다. 이것은 항복모멘트에는 못미치지만, 설계하중의 286%를 상회하는 결과로서 만족스러운 내력을 보여주고 있음이 확인되었다. 또한 설계하중 1048tf·cm에 상응하는 스테드 커넥터의 최대변형도는 192×10^{-6} 으로서 아직 비례한계영역에 머물고 있음이 확인되었다.
- (3) SB-12MO 실험체의 설계하중은 288tf·cm로 설정되었다. 실제 가력실험은 1142tf·cm까지 진행하였다. 이것은 설계하중의 297% 상회하는 결과로서 만족스러운 내력을 보여주고 있음이 확인되었다. 또한 설계하중 288tf·cm에 상응하는 스테드 커넥터의 최대변형도는 1106×10^{-6} 으로서 아직 비례한계영역에 머물고 있음이 확인되었다.
- (4) SB-16MO 실험체의 설계하중은 288tf·cm로 설정되었다. 실제 가력실험은 1156tf·cm까지 진행하였다. 이것은 설계하중의 301% 상회하는 결과로서 만족스러운 내력을 보여주고 있음이 확인되었다. 또한 설계하중 288tf·cm에 상응하는 스테드 커넥터의 최대변형도는 986×10^{-6} 으로서 아직 비례한계영역에 머물고 있음이 확인되었다.
- (5) 이상의 실험결과로부터 면내 및 면외 모멘트에 대한 설계하중에 대하여 H-294×302×12×12와 H-386×299×9×14를 보조보(sub beam)로 사용하는 경우 하중전달에 이상이 없음이 확인되었다.

참고문헌

한국강구조학회, 한국수력원자력(주), 한국전력기술(주), 신고리 1, 2호기 합성구조 적용을 위한 실험적 연구보고서, 2002년 4월

Fuchs, Werner, et. al., Concrete Capacity Design Approach for Fastening to Concrete, *ACI Structural Journal*, Nov.-Dec. 1995, pp.787-802.

Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements, ASTM E4

88-96, 1996.

Primavera, Eric J., et. al., Tensile Behavior of Cast-in-Place and Undercut Anchors in High-Strength Concrete, *ACI Structural Journal*, Sep.-Oct. 1997, pp.583-594.

Test Report No. 1960-16 of Nelson Division of TKW INC.

(접수일자 : 2003. 9. 17 / 심사일 2003. 9. 24 /
심사완료일 2003. 11. 26)