

철근콘크리트 유공보에 관한 연구

A Study on Reinforced Concrete Beams with Perforation

박 경 호*

Park, Kyong-Ho

Abstract

In building structure, the story height can be minimized by providing openings in beams which serves for the utility equipments passing through.

The dead space in false ceiling thus put to economical use in the form of a substantial reduction in materials and construction cost.

In the case of steel structure, there is no critical risk in the structural strength because of reinforcing methods of stiffness and steel plate but in the case of reinforced concrete structure, proper provision should be made in designing these openings, otherwise there is a risk that these opening will possibly weaken the structural strength of the building frame to a critical degree.

In this paper, for the numerical analysis of the reinforced concrete beams with circular opening in the web, expecting stress concentration of the circular opening, reinforcing methods were studied.

Twenty test pieces with each different reinforcing methods were tested and their resisting forces were defined.

From the numerical analysis and test results, the followings were founded:① high shear stress distributed around the openings reduce the shearing strength, ② from the numerical analysis, the maximum tensile stress occurred at opening nodes 1,7, these phenomena were agreed with the test results, ③reinforcing method around openings have to carried out for stopping diagonal cracks, and ④both, by steel plate, and wire mesh, are effective reinforcing methods.

키워드 : 보강방법, 관통구멍, 전단내력

Keywords : *reinforcing method, perforation, shear strength*

1. 서 론

1. 연구목적 및 배경

유공 보는 건축구조물에 있어서 설비관계 배관인 서비스덕트와 파이프 등이 통과 할 수 있도록 보의 재축에 수직으로 구멍을 만드는 것으로 건물의 층고를 낮출 수 있어 경제적인 구조가 된다.

그러나 유공 보를 설계함에 있어서 보의 단면은 구멍크기 만큼의 제외된 결손단면으로 인하여 응력 집중현상과 이에 따른 보의 내력과 강성이 저하되어 구조상 문제시된다.

철골구조의 경우 유공 보는 스티프너나 강판등의 유효한 보강방법이 있어서 구조내력상 문제가 적지만 철근콘크리트구조물에 관통구멍이 그 보의 구조성능에 미치는 영향은 크다.

유공 보에 관한 연구로는 1951년 Heller의 유공 보 연구³⁾가 초기이고, H형강의 유공 보는 1966년 Bower의 연구⁴⁾를 비롯하여 그 동안 많은 연구가 진행되어 왔으며 1971년 ASCE위원회에서 유공 보의 설계안이 제안되었다.

철근콘크리트 유공 보에 관한 연구는 철골 유공 보의 연구보다 활발치 못하였으나, 1962년 Lorentsen 의 유공 보에 관한 연구⁷⁾ 이후 Karim⁶⁾, Abdus¹⁾, Daniel²⁾ 등의 많은 연구가 있었고, 일본에서는 1959년부터 일본건축학회의 유공 보 연구 위원회가 “철근콘크리트 유공 보에 관한 연구”¹¹⁾를 발표한 이후 유공 보의 위치, 크기, 형태, 보강법 등 수많은 연구가 행해지고 있다.¹²⁾¹³⁾⁵

국내의 철근콘크리트 유공 보의 연구는 김용부 교수 등의 연구¹⁴⁾¹⁵⁾ 외에 다수가 있으나 아직 신뢰성 있는 설계식이 제정되어 있지 않다.

본 연구는 철근콘크리트 유공 보에서 구멍주위의 보강방법에 따른 구조적인 특성을 이론과 실험으로 연구하여 유공 보의 구조설계 지침이나 기준 제정에 자료 제공을 목적으로 한다.

2. 연구범위 및 방법

철근콘크리트구조 건물에서 관통구멍이 보의 구조성능에 미치는 영향은 콘크리트 재료 특성 관계로 크다고 할 수 있다

현재까지 유공 보에 관해서 구멍의 위치, 형태, 크기, 보강법 등이 연구되어 오고 있으나 신뢰성 있게 널리 사용되는 설계식은 아직 확립되어 있지 않은 실정이므로, 본 연구에서는 유공 보의 내력상 여러 가지 문제 중 시공성을 고려한 구멍 주위의 보강방법 만을 연구한다.

유공 보의 구멍크기, 위치, 형상 등의 문제는 기존 연구들을 검토하여 권장값을 사용하고, 시험체의 크기는 반실대형(半實大形) 크기의 연속보로 한다.

연구방법은 유공 보를 이론적으로 수치해석하여 응력의 분포 및 응력집중 상황을 분석 검토하고, 이 결과를 시험체의 보강방법에 고려하여 시험체를 제작 실험하고 실험결과에 따라 구멍주위의 보강방법이 보에 미치는 영향 즉 내력, 강성, 균열 등을 분석 연구한다.

II. 수치해석

1. 해석방법

본 연구의 수치해석법은 유한요소법(F.E.M)을 이용하며, 수치해석 결과 구멍 주위의 응력의 형태와 응력집중 현상에 대하여 분석하고 실험값과 비교하여 보강법의 기초 자료로 이용한다.

유한요소법을 콘크리트 유공보가 등질(等質), 등방성체(等方性體)로 가정하여 2차원탄성문제(2차원탄성문제)로 해석하고⁷⁸⁾ 구멍의 경계절점(境界節點)에서의 응력집중현상을 비교하기 위하여 Consistant Element Resultant 이론⁸⁾으로 각 절점에서의 응력을 구한다.

그림 1은 유한요소법에 응력해석 프로그램의 순서도(Flow chart)를 나타낸 것이다.

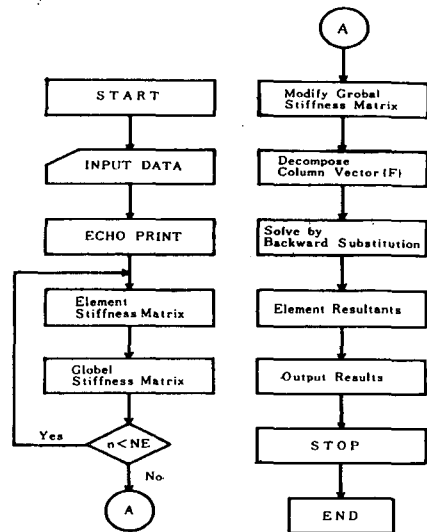


그림 1. 응력해석 프로그램의 순서도

2. 모델링

해석모델은 실험결과와의 비교를 위하여 그림 2와 같이 정하였다. 여기서 구멍의 위치는 휨모멘트가 0이 되는 지점 중간에 위치하여 전단에 대한 효과를 최대로 하였으며, 원형 구멍의 크기는 보폭(D)의 1/3로 하였다.

*강원대학교 건축공학과 교수,공학박사

그림 2의 모델은 20개의 삼각형요소로 분할하여 해석하였으며, 구멍 경계상의 절점 분포와 그 위치는 그림 3과 같다.

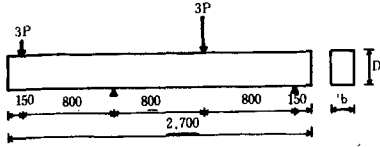


그림 2. 해석모델

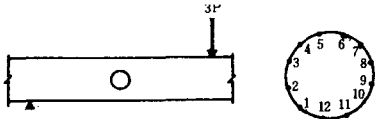


그림 3. 웨브구멍의 노드와위치

3. 해석결과

그림 4는 구멍경계의 각 절점에서 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_1, \sigma_2$ 의 분포를 나타낸 것으로 (a)는 σ_x, σ_y (b)는 주응력 σ_1, σ_2 의 분포를 나타낸 그래프이다.

이 그래프에서 각 절점응력은 균등하게 분포되어 있지 않고 심한 기복을 나타내고 각 절점에서의 응력집중현상을 볼 수 있다.

압축응력은 절점 3, 4, 5와 9, 10, 11에서 발생되고 인장응력은 절점1과 7에서 집중되고 있음을 알 수 있고 이 절점에서의 압축응력은 최소로 나타내고 있다. 따라서 절점 1과 7 부근에서 효과적인 인장보강이 필요함을 알 수 있다.

최대인장응력을 나타내고 있는 절점1, 7과 최소인장응력이 발생한 절점4, 10 사이의 응력분포는 약 60%의 차이를 보이고 있다. 따라서 절점 1과 지점을

연결한 선과 절점7과 가력점을 이은 선에 따라서 인장균열이 발생하리라 고려된다.

그림 5는 구멍경계의 각 절점에서 전단응력(τ)의 분포를 나타낸 것이다.

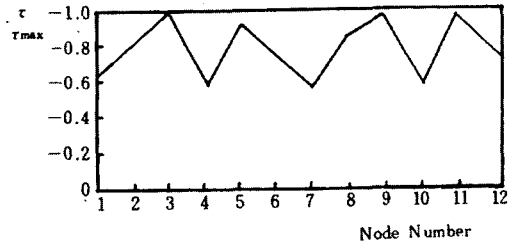
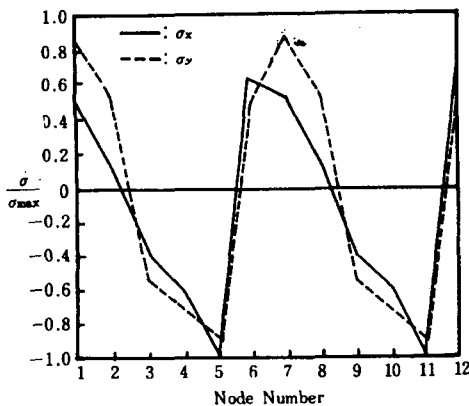


그림 5. τ/τ_{max} - 웨브 구멍에서의 노드수

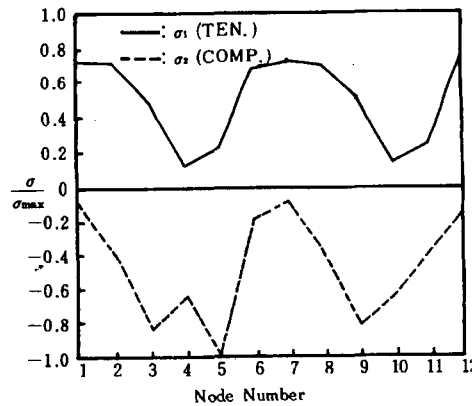
전단응력의 분포는 σ 응력의 분포와 달리 큰폭의 차이를 나타내고 있지 않다. 최대전단응력과 최소전단응력의 차이는 약40%정도를 나타내고 있어 구멍경계에 고루 전단응력이 분포되고 있다.

이 결과는 구멍경계 전반에 걸쳐서 큰 전단응력이 분포되어 있음을 의미하며, 이것은 결손단면에 의한 전단강도의 저하와 일치하는 결과로 볼 수 있다. 따라서 구멍주위의 전반에 걸친 전단보강의 필요성을 나타내고 있는 결과라 할 수 있다.

그리고 최대주인장응력이 콘크리트인장능력을 초과하면 균열은 주응력 방향에 수직한 평면을 따라 발생하기 때문에⁹⁾ 절점 1과 7주변의 사인장균열에 대한 보강과 구멍주변 전반에 걸친 전단보강이 요구된다.



(a) σ_x, σ_y



(b) σ_1, σ_2

그림 4. σ_{max}/σ -웨브구멍에 있는 노드의 수

표 1. 시험체

시험체	구멍보강	주근(P _t)	능근(P _w)	구멍보강방법	시험체	구멍보강	주근(P _t)	능근(P _w)	구멍보강방법
S-1	무공보	복근으로 상하 각각 4 - D19(2.2%)	D10@12cm (0.6%)		SHS-1	횡근과 능근	복근으로 상하 각각 4 - D19(2.2%)	(0.6%)	
S-2					SHS-2				
SN-1	무보강	"	"		SW-1	와이어 매쉬	"	"	
SN-2					SW-2				
SH-1	횡근	"	"		SP-1	철판	"	"	
SH-2					SP-2				
SS-1	능근	"	"		SC-1	사근 및 부대근	"	"	
SS-2					SC-2				
SD-1	사근	"	"		SR-1	원형	"	"	
SD-2					SR-2				

III. 실험

1. 시험체 계획

본 실험은 철근콘크리트 유공 보의 전단성능에 관한 연구이므로 휨에 대해서는 충분히 안전하게 하며 전단파괴가 일어나도록 계획하였다.

시험보의 설계는 설정한 단면의 전단내력을 계산하고 그 전단파괴하중으로부터 최대 휨모멘트를 산정하여 이 최대 휨모멘트에 안전하도록 철근을 배근한다.

시험체의 구멍 형태는 응력집중현상을 피하기 위하여 원형을 채택하였고, 구멍의 직경은 보춤의 1/3로 하였는데 이는 기존 연구 결과를 고려하였다.

또한 구멍 위치는 단면 상하 방향중심에서 정하였고 길이 방향으로는 휨모멘트가 0이 되는 곳에 정하였다. (그림 6 참조)

2. 시험체

시험체의 크기는 반실대(半實大)형으로 모두 $b \times D \times \ell = 20\text{cm} \times 30\text{cm} \times 270\text{cm}$ 이다.

시험체의 종류는 구멍주위의 보강방법을 달리하는 10종류로 각 종류마다 2개씩 모두 20개의 시험체를 제작하였다. (표 1. 사진 1. 참조)



사진 1. 시험체

시험체의 배근은 주근을 복근으로 하여 상하에 각각 4D19 사용하고, 능근을 시험체 길이에 12cm의 등간격으로 D10을 사용하였다.

시험체에 사용한 콘크리트는 보통포틀랜드 시멘트와 모래 1.2mm이하 자갈 20mm이하의 골재를 사용하여 $F_c = 210$ 이 되도록 배합설계 하였다. 또한 철근은 SD24로 구멍주위의 보강철근도 D10을 사용하였다. 각 재료의 재료실험 결과 재료의 기계적 성질은 표2와 같다.

표 2. 기계적 성질

재	료	항복강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)
철	D 10	3,880	5,573	1.855×10^6
근	D 19	3,157	4,993	1.840×10^6
콘크리트	-	-	205*	1.99×10^6

* : 압축강도(F_c)

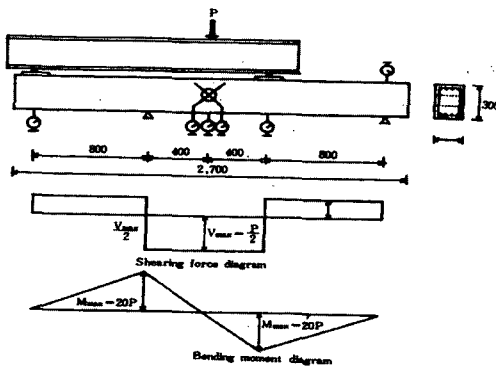


그림 6. 시험체와 응력도

3. 가력 및 측정방법

각 시험체는 가력장치를 사용하여 구멍의 위치에서 휨모멘트가 0이 되고, 전단력만이 작용하도록 시험체에 2점 집중하중을 가력하였다.

시험체의 변형은 그림6과 같이 5군데에 다이얼게이지를 설치하고, 구멍주위의 주근과 보강철근에 스트레인지게이지를 부착하여 변형도를 측정하였다.

재하방법은 하중속도를 일정하게 유지하면서 탄성범위에서는 하중을 0.5t씩 증가시켰고, 전단균열 및 극한이 예상되는 근방에서는 0.25t씩 증가 재하하였다.

각각의 재하하중 단계에서 처짐 및 변형도를 측정하고 균열발생을 육안으로 관찰하면서, 보면에 균열진전 관정을 매직으로 그리면서 균열 끝에 하중 값을 기록하였다.

4. 실험결과

각 시험체의 실험결과는 표3과 같으며 하중과 처짐관계는 그림 7, 8이다.

표 3. 실험결과

시험체	구멍보강	P_{max} (t)	P_{ic} (t)	P_{oc} (t)	$P_{max}/P_{max}(S)$	$P_{ic}/P_{max}(SN)$	P_{oc}/P_{max}
S-1	무공보	32.5	6.25	-	1.00	1.78	0.19
S-2	무공보	32.25	4.0	-	1.00	1.76	0.12
SN-1	수직	17.7	10.0	8.5	0.55	1.00	0.56
		19.3	9.5	9.5	0.60	1.00	0.49
SH-1	수직	20.2	10.5	10.0	0.62	1.10	0.50
		18.3	9.0	9.5	0.57	1.00	0.49
SS-1	수직	28.7	7.75	9.5	0.92	1.52	0.26
		27.25	8.5	10.0	0.84	1.49	0.31
SD-1	수직	30.2	8.5	11.5	0.93	1.65	0.28
		28.0	7.5	10.5	0.90	1.58	0.26
SHS-1	수직	30.25	6.0	9.5	0.93	1.65	0.20
		28.05	5.0	8.5	0.87	1.53	0.18
SW-1	수직	23.65	6.5	9.5	0.73	1.28	0.27
		23.65	6.0	8.0	0.73	1.29	0.25
SP-1	수직	21.2	2.25	10.5	0.65	1.15	0.11
		20.8	5.3	7.5	0.61	1.08	0.27
SC-1	수직	30.05	5.7	7.75	1.21	2.13	0.15
		30.2	7.0	9.75	1.21	2.14	0.18
SR-1	수직	25.35	6.6	10.1	0.78	1.38	0.26
		24.1	5.0	8.0	0.74	1.32	0.21

P_{max} : maximum Load
 P_{ic} : initial crack Load of tensile side
 P_{oc} : initial crack Load around opening

또 그림9는 실험결과 구멍주위 및 인장측의 균열도로서 동일 실험체중 1개만 나타났으며 점선은 최대하중 이후의 균열을 나타낸 것이다.

시험체의 초기 강성은 거의 동일하였으나 균열 발생 이후는 보강방법에 따라 각각 다르게 나타났으며, 변형능력도 보강방법에 따라 다르게 나타났다. 최대내력 값이 큰 시험체의 변형능력이 크게 나타나 있으나 무공 보에는 미치지 못하였다.

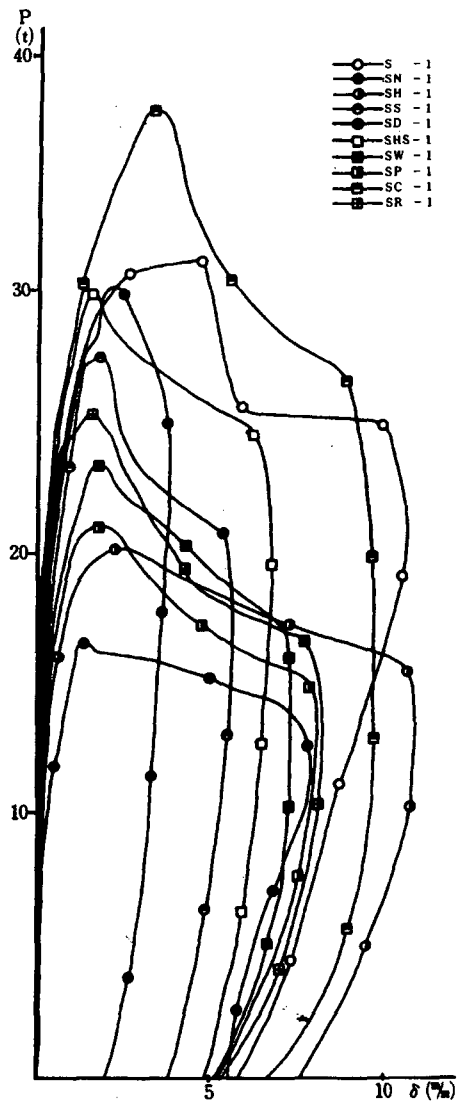


그림 7. P-δ 곡선

초기 균열은 인장측 균열이 구멍주위의 균열보다 먼저 발생되었으나 균열진전 상황은 하중이 증가함에 따라 구멍 주위의 균열이 인장측 균열보다 빨랐다.

인장측 균열은 최대휨모멘트가 생기는 하중점 하단, 지점 상단에서 처음으로 발생되고 하중이 증가함에 따라 하중 또는 지점방향으로 진전되었다.

구멍주위의 균열은 그림3의 1, 7절점 부근에서 초

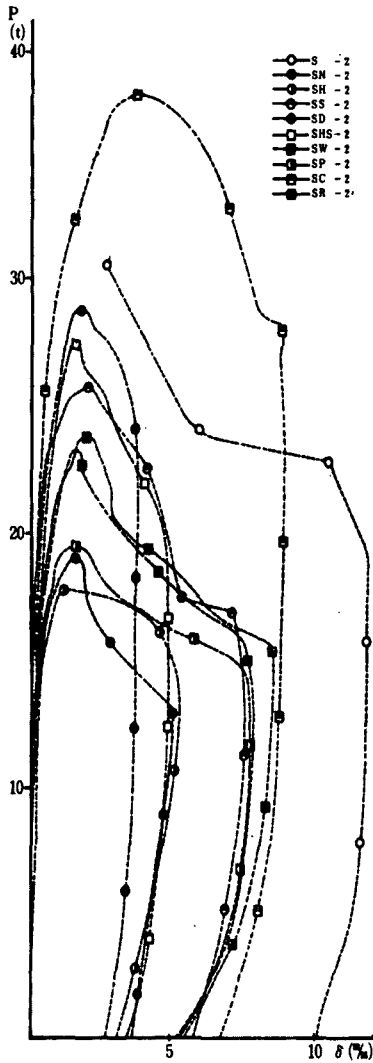


그림 8. P-δ 곡선



사진 2. 균열상황

기에 재축에 약 45°각도로 발생 이후 하중이 증가함에 따라서 하중점과 지점을 이은 선으로 진전되었다.

각 시험체의 파괴상태는 구멍주위 균열이 발달하여 보의 상·하단으로 연결된 후 균열폭이 커지면서 파괴되는 모든 시험체가 전단파괴 양상을 보였다.

IV. 고 찰

유공 보는 구멍크기 만큼의 단면 결손에 의하여 전단강도의 저하와 구멍주위의 응력집중현상이 예상된다.

수채해석 결과 유공 보는 구멍주위에 전반적으로 큰 전단응력이 고르게 나타내고 있어 이에 대한 보강이 필요하게 되며, 실험결과에 있어서도 무보강 유공 보의 전단내력은 무공 보의 전단내력에 비하여 약 50%정도 떨어지고, 전단보강을 한 다른 시험체의 전단내력은 무보강 시험체에 비하여 높은 값이었다.

또한 구멍주위의 인장응력은 수치해석결과 그림3의 구멍 절점 1, 7에서 최대값을 나타내고 있어 사인장 균열의 발생이 예상되는데, 본 실험체의 경우에도 모든 시험체의 수치해석과 같은 부위에서 구멍주위를 초기 균열이 발생되어 지점과 하중점 방향으로 진전되는 파괴 양상을 보여 수치해석결과와 일치함을 알 수 있었다.

따라서 구멍주위의 보강방법은 균열발생을 억제하는, 즉 균열방향에 직각방향으로 하는 것이 유효하다고 판단되며 실험결과에서도 같은 현상을 나타냈다.

시험체의 내력값은 구멍주위의 균열을 억제하는데 가장 효과적이라고 고려되는 사근으로 보강한 SD시험체가 무공 보 내력의 90%이상을 나타내고, 다음으로 늑근에 의해서 보강된 SS시험체가 90%정도로 시험체 중에서 유효한 보강 방법으로 판단되며, 이 두 보강법을 조합한 사근과 늑근으로 보강된 SS 시험체의 내력은 무공 보의 내력 이상(120%)을 나타냈다.

그러므로 구멍주위에 적당한 보강을 한다면 유공 보에서도 충분한 내력을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

그러나 철판, 와이어메쉬, 황근으로 보강한 시험체의 내력은 무공 보의 내력의 60~70% 정도로 보이고 있는데, 이것은 콘크리트와의 부착성 문제와 보강 방향에 기인된 것으로 생각된다.

초기 균열은 보강방법에 관계없이 최대 하중의 약30% 정도에서 인장균열이, 40%에서 구멍주위의 균열이 발생되었다.

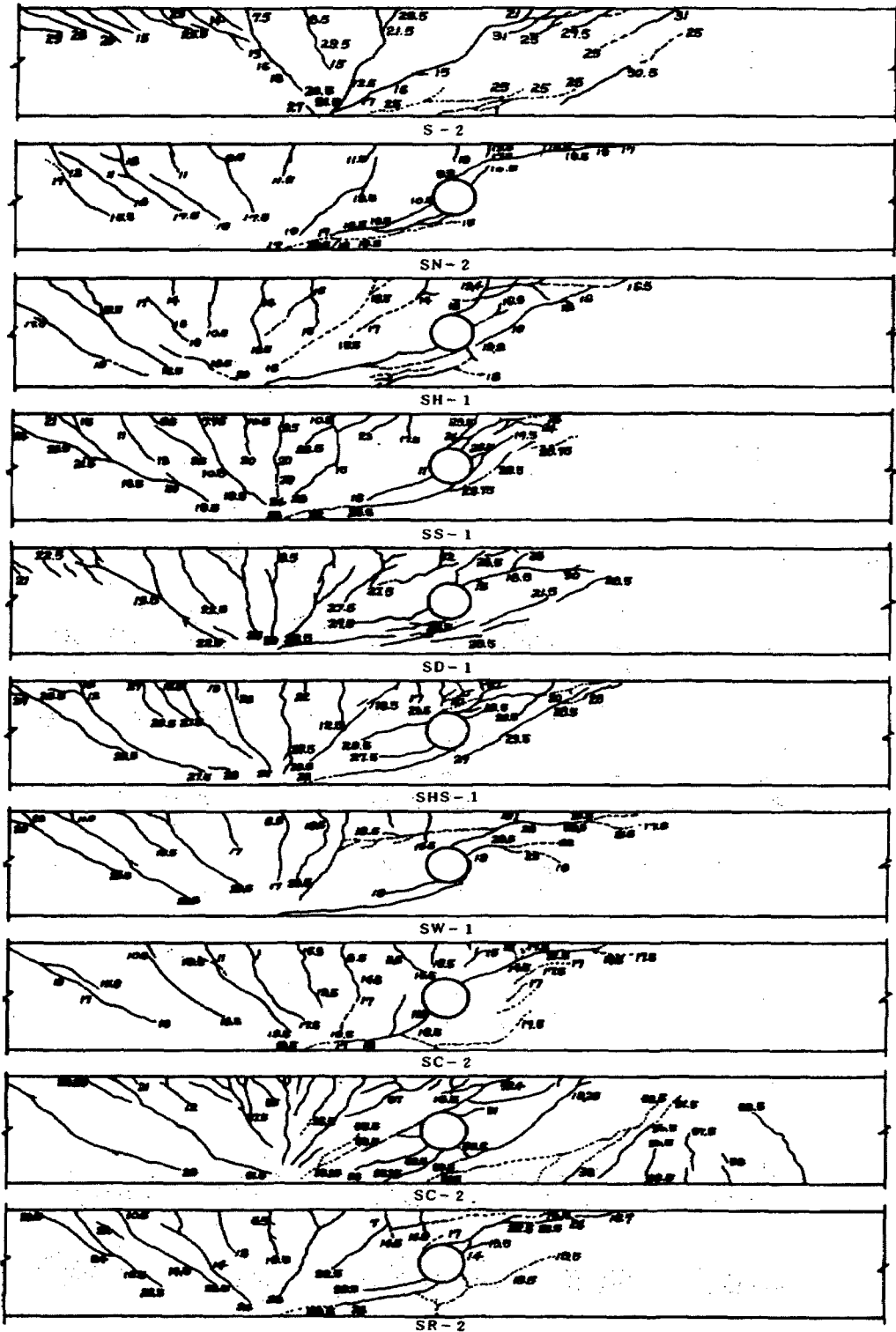


그림 9. 균열진전 상황

V. 결 론

철근콘크리트의 유공 보에 관해서 수치해석과 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유공 보의 구멍주위에서는 수치해 석결과 그림 5와 같이 구멍절점 전반에 높은 전단응력이 분포되고 있는데 이는 유공 보의 전단내력을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 구멍주위에 전단보강이 필요하며 실험결과도 일치하였다.

2. 수치해석 결과 그림 7의 구멍절점 1, 7에서 인장응력이 최대값으로 사인장 균열이 예상되는데 본 실험에서도 같은 현상을 나타내고 있다.

3. 구멍주위의 보강방법은 사인장균열을 억제하는 즉 균열방향에 직각방향으로 하는 것이 유효하며 본 실험에서 이와 같은 형식인 사근, 또는 늑근으로 보강한 시험체가 무공 보 내력의 90%이상을 나타내어 유효한 보강법이라 고려된다.

4. 사근과 늑근을 조합하여 보강한 SC 시험체는 무공 보의 내력보다도 더 높은 값을 나타내고 있어 유공 보에서도 적당한 보강법을 사용하면 구조부재로서의 사용이 가능하다.

5. 철판, 와이어메쉬에 의한 구멍보강법은 유효한 보강법으로 생각되나 본 실험결과에서는 예상했던 내력을 발휘하지 못하였는데 이는 콘크리트와의 부착성에 기인된 것으로 생각된다.

끝으로 본 연구는 유공 보의 보강방법에 관해서만 연구한 것이나, 유공 보 내력에 관계되는 여러 가지 문제는 계속 연구하고자 한다.

參考文獻

- s1. Ablus Salam, SK., and Jack Harrop ; "Prestressed Concrete Beams with Transverse Circular holes", Journal of the Structural Division, ASCE, Mar.,1967
2. Daniel, H.R., and McMullellan, A.E.; "Torsion in Concrete beams containing and Opening," Journal of the structural Division, ASCE, Vol.41, July, 1962.
3. Heller, S.R.; "The Stress Around a small opening in a Beam Subjected to Bending With shear", Proc. of 1'st National congress of Applied Mechanics, p.239~245. 1951.
4. John E. Bower ; "Elastic Stress Around Holes in Wide-Flang Beams" Journal of the structural Division, ASCE, 1966.
5. John E. Bower ; "Ultimate Strength of Beams with Rectangular Holes," ASCE, Vol.94, p.131 5~1337, June, 1968.
6. Karim, W. Nasser, A. Acavalos; "Behavior and Design of Large Openings Reinforced Concrete Beams", ACI Journal Janu., 1967.
7. Lorensten, M; "Holes in Reinforced Concrete Girders," Byggma-steven, Vol.41, No.41, July, 1962.
8. Nam, C.H. and Salmon, C.G; "Finite Element Analysis of Beam,"proc. of ASCE, ST12, Dec. 1974.
9. Segerlind, L.S. ; "Applied Finite Element Analysis", Jone Wiley, London, 1973.
10. Swidan, M. and Schobich, W.C. ; "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete", Proc. of ASCE, Vol.99, St.10, Oct.1973.
11. 有功ぱり委員會：“鐵筋コンワリート 有孔ぱりに關する研究(そのイ~その10)”, 日本建築學會論文報告集, 第63號~第69號, 1959~1961.
12. 黒正, 林靜, 本田：“鐵筋コンワリート造 有孔ぱりの實驗的 研究(そのイ~そのフ)”, 日本建築學會 學術講演梗概集, 1980~1982.
13. 清水泰：“鐵筋コンワリート造 有孔梁의 セン斷耐力に關する實驗的 研究”, 第五回 콘ワリート工學年次 講演會講演論文集, 1982.
14. 金容孚외 5人：“鐵筋콘크리트有孔보에 관한 研究(I-V)：大韓建築學會, 學術發表論文集, 第5卷, 第2號, 1985.
15. 金容孚：“鐵筋콘크리트圓形有孔보의 構造的 特性에 관한 研究”, 고려대학교 博士學位論文, 1985.