

사각을 갖는 R.C 라멘교의 해석적 분석

Analysis of Skew R.C Rahmen Bridge by Analytic Method



김덕곤*
Duk-Gon Kim



양승록**
Seung-Lock Yang



우성균***
Sung-Kyun Woo

1. 서론

최근 입체교차, 좁은 도로, 소하천 횡단시 주로 채용되는 교량형식 중 하나로 R.C 라멘교의 적용이 빈번하게 이루어지고 있다. 또한 도로의 선형을 고려하고 미관 및 시거를 확보하기 위하여 사교로서 계획을 많이 하고 있으나, 대개가 경간이 짧고 구조형식도 단순하여 설계자들은 상대적으로 덜 관심을 갖는 경향이 있다. 그러나 라멘교의 특성상 차량하중의 직접재하와 아울러 측방토압이 동시에 작용하는 구조물로서 사각이 작은 경우에 기하학적 편심에 의한 국부적인 하중집중이 발생할 수도 있다. 이러한 국부적인 하중집중현상에 대해 현재의 설계 방식은 사각이 75° 이하가 될 경우에 3차원 입체해석을 실시하여 각 지점의 최대 부재력으로 단면을 설계한다. 그러나 이는 과다설계가 유발되며 사각이 작을수록 교량사각과 슬래브 중앙의 최대모멘트 발생부위가 불일치하여 철근 배근시에 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 문제점 및 라멘교의 기초설계의 합리성 등을 파악하여 라멘교의 합리적인 설계를 유도하고자 다음과 같은 사항을 분석하고자 한다.

첫째, 슬래브 지점부 단면력 집중에 따라 3차원 판해석에 의한 값과 일반적인 설계에 적용하는 2차원 보해석에 의한 값을 비교하여 경제적인 설계를 유도하고, 둘째, 우리가 일반적으로 생각하는 라멘교 기초 설계시 슬래브 둔각부의 최대반력이 슬래브의 하중양상에 따라 기초 설계시에도 적용되는지 여부를 분석하고, 셋째, 슬래브 중앙의 최대모멘트 분포에 따른 인장주철근 이음장 위치와 콘크리트 구조설계기준과의 부합여부 및 개선사항에 대하여 분석하고자 한다.

2. 해석 방법

* 정회원, 천일기술단 사장

dkhigh@hanmail.net

** 정회원, 천일기술단 도로부 상무이사

*** 정회원, 천일기술단 도로부 부장

일반적으로 R.C 라멘교의 상부구조 해석 방법에는 보요소를 이용하여 휨, 전단을 해석하는 보이론과 교량 전체를 판모델로 적용하여 실제거동에 가깝게 하는 판이론 등이 있다. 해석시 판이론에 의한 해석이 더 합리적이라 할 수 있으나 모델화가 복잡하고 이론적인 결과를 직접 적용하기가 어렵기 때문에 사각이 큰 경우(75° 이상)는 주로 보이론에 의한 해석 및 설계가 이루어지고 있다. 현 도로교설계기준에서는 "사각이 작은 사교 등 하중분배의 영향을 무시할 수 없다고 생각되는 경우에는 입체 구조로 보고 해석할 필요가 있다."고 제시되어 있다. 본고에서는 라멘교의 사각을 90°, 75°, 60°, 45°로 분류하여 3차원 판(shell)해석과 순수 경사거리를 지간으로 하는 보(frame)해

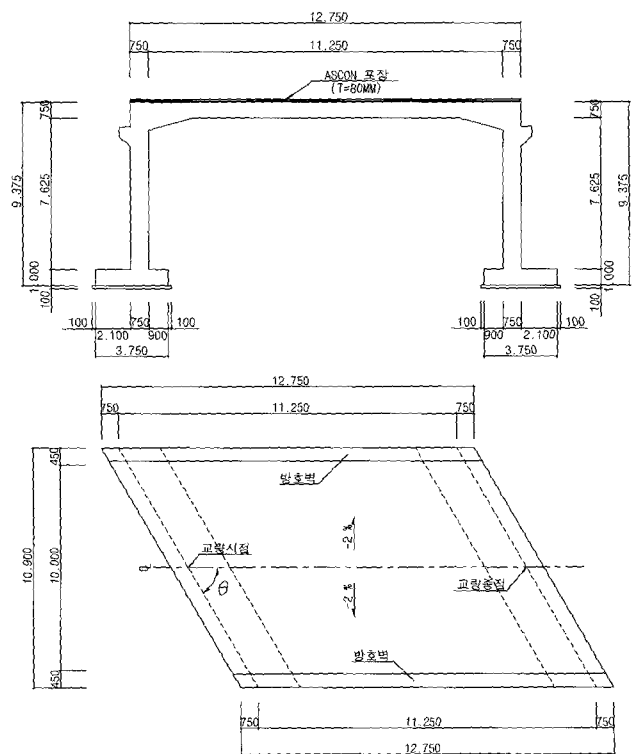


그림 1. 해석 교량 일반도

석을 실시하였고, 각 부위에 발생한 단면력을 산출하였다.

2.1 해석 모델링

라멘교의 설계지간을 경사지간 12.0 m로 고정하여 사각을 90°, 75°, 60°, 45°로 구분하였고, 폭원이 10.9 m인 표준차로 폭(3.6 m)을 적용한 2차로 교량으로 모델링하였다.

표 1. 해석 지간 길이

사각(θ)	2차원(frame)	3차원(shell)
90°	12.000 m	12.000 m
75°	12.000 m	11.591 m
60°	12.000 m	10.392 m
45°	12.000 m	8.485 m

표 2. Shell 모델링 지점 Spring 상수

	90°	75°	60°	45°
Kδx	4820.217	4930.602	5271.125	5729.624
Kθx	110530.928	120050.345	146847.176	243013.869
Kδy	4398.661	4484.335	4772.381	5178.605
Kθy	27657.483	28515.412	38447.732	46154.924
Kδz	4900.139	4995.093	5347.766	5917.750
Kθz	122649.331	132502.638	169596.379	243496.477

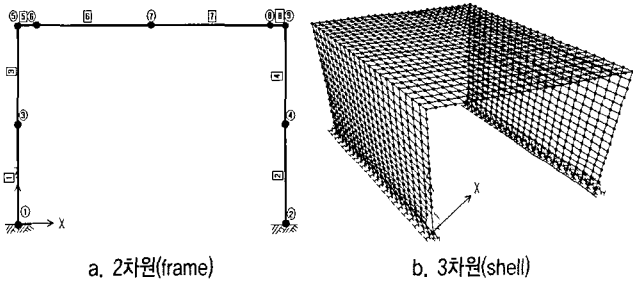


그림 2. 모델링

2.2 설계 조건

- 경간(사거리) = 12.0 m, 교폭(직거리) = 10.9 m, 벽체높이 = 8.0 m
- 콘크리트 : $f_{ck} = 270 \text{ kgf/cm}^2$, $E_c = 2.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$, $\gamma_c = 2.5 \text{ tonf/m}^3$
- 철근 : $f_y = 4,000 \text{ kgf/cm}^2$, $E_s = 2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
- 토사 : $\phi = 35^\circ$ (내부마찰각), $\gamma_s = 2.0 \text{ tonf/m}^2$
- 하중
 - Load 1(고정하중)
 - 자중은 프로그램에서 자동 고려
 - 포장 : $0.080 \times 2.3 = 0.184 \text{ tonf/m}^2$
 - 방호벽 : $0.361 \times 2.5/0.450 = 2.006 \text{ tonf/m}^2$
 - Load 2(토압)
 - 정지토압계수 ; $K_0 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 35^\circ = 0.426$
 - $q_0 = 0.426 \times (1.00 + 0.08 \times 2.3 + 0.375 \times 2.0) = 0.824 \text{ tonf/m}$
 - $q_1 = 0.824 + 0.426 \times 4.0 \times 2.0 = 4.232 \text{ tonf/m}$
 - $q_2 = 4.232 + 0.426 \times 4.0 \times 2.0 = 7.640 \text{ tonf/m}$
 - Load 3(활하중)
 - $P_f = 2.4 \times 1.3 = 3.120 \text{ tonf}$
 - $P_r = 9.6 \times 1.3 = 12.480 \text{ tonf}$
 - Load 4, 5(축방향 온도하중)
 - $\pm 10^\circ\text{C}$ (부재의 최소두께가 700 mm 이상인 경우)
 - Load 6, 7(상·하 온도차 하중)
 - $\pm 5^\circ\text{C}/0.75 = \pm 6.667^\circ\text{C}$
 - Load 8(건조수축)
 - -15°C (온도하중으로 환산 재하)
 - Load 9, 10(지점침하) : 10 mm(시·종점측)

표 3. 슬래브 지점부 단면력

사각	모멘트			전단력			
	frame	shell	비고	frame	shell	비고	
90°	(a)	-69.61	-68.38	0.982	42.82	40.05	0.935
	(b)	-69.61	-58.10	0.835	42.82	26.86	0.627
	(c)	-69.61	-54.86	0.788	42.82	29.01	0.677
75°	(a)	-69.61	-86.19	1.238	42.82	66.77	1.559
	(b)	-69.61	-55.28	0.794	42.82	25.12	0.587
	(c)	-69.61	-39.35	0.565	42.82	20.36	0.475
60°	(a)	-69.61	-98.68	1.418	42.82	88.96	2.078
	(b)	-69.61	-48.49	0.697	42.82	20.42	0.477
	(c)	-69.61	-23.58	0.339	42.82	14.78	0.345
45°	(a)	-69.61	-120.23	1.727	42.82	176.61	4.124
	(b)	-69.61	-38.00	0.546	42.82	33.45	0.781
	(c)	-69.61	13.46	-0.193	42.82	10.23	0.239

※ 비고 : shell/frame

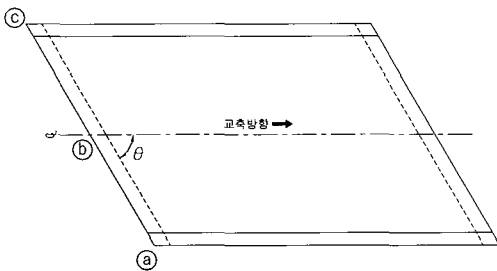
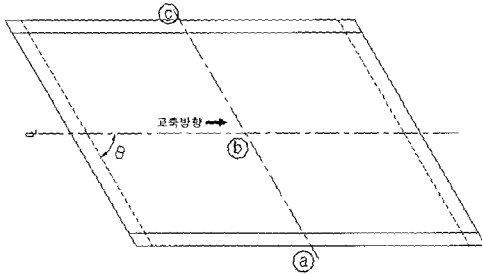


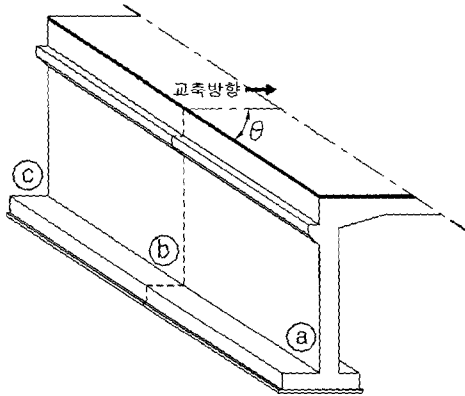
표 4. 슬래브 중앙부 단면력



사각	모멘트	비고	전단력	비고
90°	frame shell	비고	frame shell	비고
①	58.90 41.19	0.699	8.39 6.37	0.759
②	58.90 31.32	0.532	8.39 2.39	0.285
③	58.90 41.19	0.699	8.39 6.37	0.759
75°	frame shell	비고	frame shell	비고
①	58.90 39.25	0.666	8.39 2.88	0.343
②	58.90 30.18	0.512	8.39 2.64	0.315
③	58.90 39.25	0.666	8.39 2.88	0.343
60°	frame shell	비고	frame shell	비고
①	58.90 32.61	0.554	8.39 6.15	0.733
②	58.90 25.17	0.427	8.39 3.31	0.395
③	58.90 32.61	0.554	8.39 6.15	0.733
45°	frame shell	비고	frame shell	비고
①	58.90 24.91	0.423	8.39 5.19	0.619
②	58.90 13.59	0.231	8.39 11.24	1.340
③	58.90 24.91	0.423	8.39 5.19	0.619

※ 비고 : shell/frame

표 5. 기초부 단면력



사각	모멘트	비고	수직반력	비고	수평반력	비고
90°	frame shell	비고	frame shell	비고	frame shell	비고
①	-55.86 -24.94	0.446	61.58 48.10	0.781	40.25 32.52	0.808
②	-55.86 -30.02	0.537	61.58 42.64	0.692	40.25 33.06	0.821
③	-55.86 -24.96	0.447	61.58 36.12	0.587	40.25 32.88	0.817
75°	frame shell	비고	frame shell	비고	frame shell	비고
①	-55.86 -21.48	0.385	61.58 41.84	0.679	40.25 32.44	0.806
②	-55.86 -32.86	0.588	61.58 43.34	0.704	40.25 34.78	0.864
③	-55.86 -35.06	0.628	61.58 45.02	0.731	40.25 35.58	0.884
60°	frame shell	비고	frame shell	비고	frame shell	비고
①	-55.86 -19.26	0.345	61.58 39.74	0.645	40.25 36.30	0.902
②	-55.86 -44.76	0.801	61.58 46.12	0.749	40.25 40.70	1.011
③	-55.86 -53.38	0.956	61.58 55.10	0.895	40.25 42.92	1.066
45°	frame shell	비고	frame shell	비고	frame shell	비고
①	-55.86 -16.08	0.288	61.58 42.20	0.685	40.25 41.88	1.040
②	-55.86 -64.96	1.163	61.58 52.70	0.856	40.25 52.70	1.309
③	-55.86 -82.70	1.480	61.58 70.10	1.138	40.25 60.06	1.492

※ 비고 : shell/frame

2.3 설계 결과 및 분석

2.3.1 슬래브 지점부(〈표 3〉 참고)

- 90° : 중간지점 ②에서 shell해석시의 휨모멘트가 frame해석시보다 다소 크게 나오지만 이는 설계 안전도를 수용하는 수준인 것으로 나타났다. 전단력의 경우는 전체적으로 frame해석 산정값이 크게 나온다.
- 75° : shell해석시 둔각부 ①에서 휨모멘트 및 전단력 값이 frame해석 산정값에 비하여 1.238, 1.559배 정도로 크게 나오고 중간지점 ②와 예각부 ③에서는 frame해석 산정값이 상대적으로 크게 나왔다. 그리고 frame해석에 의한 단면설계시 둔각부 보강범위는 〈표 6〉에 보이듯이 0.27B' 구간 정도로 나타났다.
- 60° : shell해석시 둔각부 ①에서 휨모멘트 및 전단력 값이 frame해석 산정값에 비하여 1.418, 2.078배 정도

로 크게 나오고 중간지점 ②와 예각부 ③에서는 frame해석 산정값이 상대적으로 크게 나왔다. 그리고 frame해석에 의한 단면설계시 둔각부 보강범위는 〈표 6〉에 보이듯이 0.29B' 구간 정도로 나타났다.

- 45° : shell해석시 둔각부 ①에서 휨모멘트 및 전단력 값이 frame해석 산정값에 비하여 1.727, 4.124배 정도로 크게 나오고 중간지점 ②와 예각부 ③에서는 frame해석 산정값이 상대적으로 크게 나왔다. 그리고 frame해석에 의한 단면설계시 둔각부 보강범위는 〈표 6〉에 보이듯이 0.31B' 구간 정도로 나타났다.

2.3.2 슬래브 중앙부(〈표 4〉 참고)

슬래브 중앙부에서의 단면력값은 사각의 크기에 상관없이 frame해석 산정값이 크게 나오는데, 사각이 커질수록 shell해석 산정값이 줄어드는 양상을 보인다.

2.3.3 기초부(〈표 5〉 참고)

기초부에서는 토압이 단면력에 큰 영향을 끼친다. 토압 작용 시에는 교량의 사각이 작을수록 힘의 흐름이 예각부에 집중되어 지므로 수직반력의 경우 둔각부에서 부반력이 발생하고 예각부에서 정반력이 발생한다. 또한 수평반력도 예각부에 집중하는 경향을 보여 예각부에서의 수평반력이 더 크게 나타난다. 이로 인하여 전체 하중경우를 조합하였을 때 기초상면에서 모멘트나 수직반력, 수평반력이 예각부에서 크고 둔각부에서 작게 나오는 결과를 나타낸다.

2.3.4 슬래브 최대 정모멘트 발생과 라멘교 사각과의 상관관계
교량사각이 90°, 75°, 60°, 45°일 경우 최대모멘트가 나타나는 각도는 90°, 80°, 72°, 56°로, 교량의 사각보다 최대 모멘트 발생 각도가 약간 크게 발생하며, 이러한 최대모멘트 발

생 양상에 따라 교량의 시공도(Shop drawing) 작성시 이음장 위치가 최대 정모멘트 구역에 들지 않도록 세심한 배려가 필요하게 결과가 나타난다.

2.3.5 라멘교 둔각부 주철근 보강범위와 단순 경사 슬래브교 둔각부 보강범위의 상관관계

〈그림 5〉와 〈표 6〉에 보이듯이 본 해석의 라멘교 둔각부 보강범위와 단순 경사 슬래브교의 둔각부 보강범위(도로교설계기준, 2000, p.357)의 상관관계를 보면, 75°의 경우는 frame해석시 필요주철근량의 1.238배의 철근을 지점부 경사폭의 0.27배 정도의 구간에 보강해야 하는 것으로 나타나고, 60°의 경우는 frame해석시 필요주철근량의 1.418배의 철근을 지점부 경사폭의 0.29배 정도의 구간에 보강해야 하는 것으로 나타나고, 45°의 경우는 frame해석시 필요주철근량의 1.727배의 철근을 지점부 경

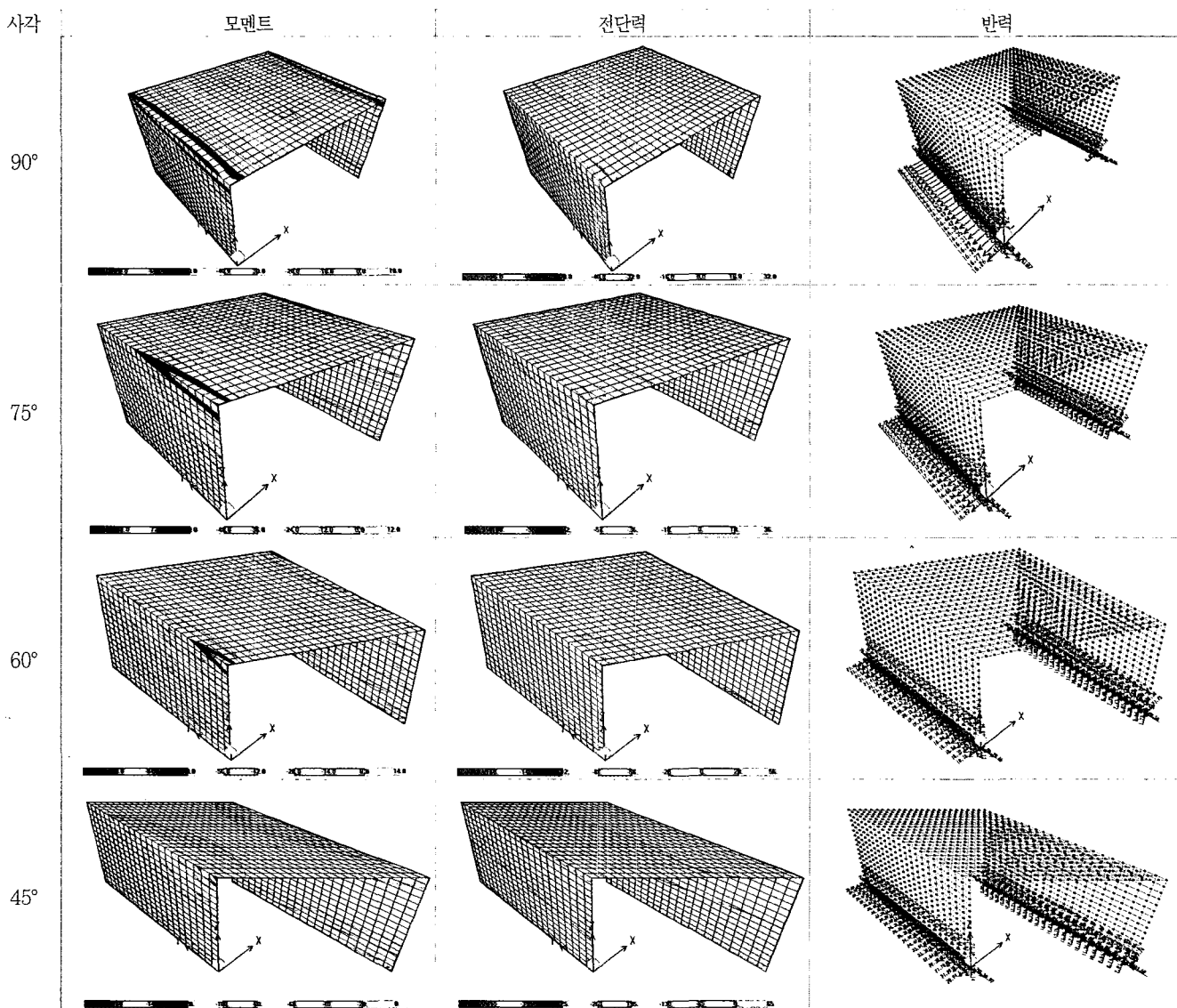


그림 3. 사각별 단면력도

사각의 0.31배 정도의 구간에 보강해야 하는 것으로 나타난다.

3. 결 론

사각을 갖는 R.C 라멘교에 대하여 해석적 방법을 사용하여 분석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 슬래브 지점부 단면력 집중에 따라 3차원 판해석에 의한 값과 일반적인 설계에 적용하는 2차원 보해석에 의한 값을 비교하면, 단면력이 둔각부에 집중하여 75°의 경우 shell해석시의 모멘트와 전단력 값이 frame해석 산정값의 1.238, 1.559배, 60°의 경우 1.418, 2.078배, 45°의 경우 1.727, 4.124배로 나타났다. 또한 보강범위는 지점부 경사폭에 대하여 각각 0.27B', 0.29B', 0.31B'로 나타났다.

둘째, 기초부에서는 단면력의 큰 영향 인자가 토압으로서, 사각이 작을수록 힘이 예각부에 집중하는 양상을 나타낸다. 수직반력의 경우 둔각부에서 부반력이 발생하고 예각부에서 정반력이 발생한다. 수평반력, 모멘트 값도 둔각부 보다 예각부에서 상대적으로 크게 발생한다. 이로 인하여 전체하중조합의 경우에서도 기초 상면에서의 단면력이 예각부에서 크고 둔각부에서 작게 나오는 결과를 나타낸다. 이러한 결과는 해석 모델이 일반적 교량에 국한된 것이므로 해석 교량의 벽체길이 대 폭비(H/B)를 다양화 함으로써 교량사각과의 상관관계 분석이 필요하겠다.

셋째, 슬래브 최대 정모멘트 발생과 라멘교 사각과의 상관관계를 보면 교량 사각이 90°, 75°, 60°, 45°일 경우 슬래브 중앙에 최대 정모멘트가 나타나는 각도는 90°, 80°, 72°, 56°로 교량의 사각보다 최대모멘트 발생각도가 약간 크게 발생한다. 이러한 최대모멘트 발생 양상에 따라 시공시 인장주철근 이음장 위치를 최대모멘트 발생축에 맞추고 또한 그 구역에 들지 않도록 세심한 배려가 필요하다. □

표 6. 보강범위 비교

사각	경사폭 (B')	Frame 모멘트 (t°nf·m)	Shell 모멘트 (t°nf·m)	보강범위(m)	
				라멘교	단순경사슬래브교
75°	11.285 m	①	-69.61	3.030 (0.27B')	3.000 (0.27B')
		②	-69.61		
		③	-69.61		
60°	12.586 m	①	-69.61	3.650 (0.29B')	3.000 (0.24B')
		②	-69.61		
		③	-69.61		
45°	15.415 m	①	-69.61	4.750 (0.31B')	3.000 (0.20B')
		②	-69.61		
		③	-69.61		

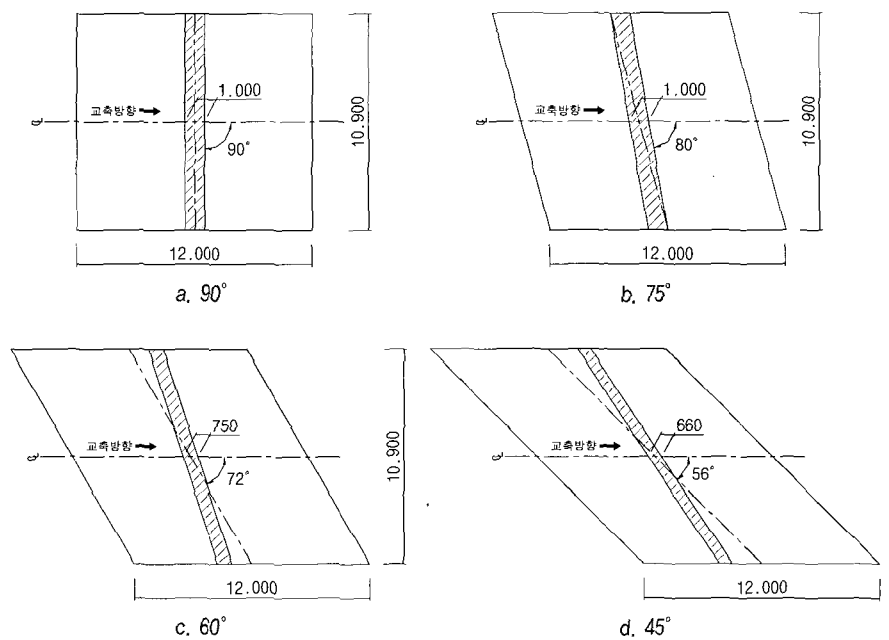


그림 4. 사각별 슬래브 힘의 흐름도

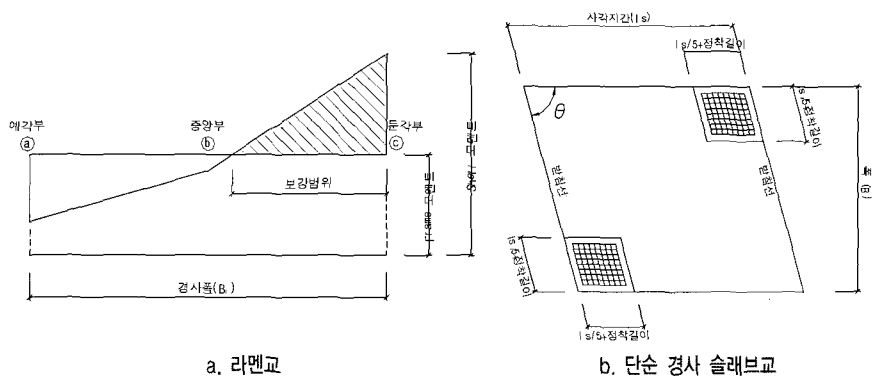


그림 5. 둔각부 보강범위

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준, 2000.
2. 건설교통부, 도로설계편람, 2001.