

# 교대벽체의 날개벽설치와 편경사영향의 해석적 분석

Analysis of the Effect to Various Cants in Abutment with Wing Wall



김덕곤\*  
Duk-Gon Kim



양승록\*\*  
Seung-Lock Yang



우성균\*\*\*  
Sung-Kyun Woo

## 1. 서론

일반적인 반중력식 옹벽이나 교대의 경우 일반적인 설계방법이 2차원적인 단면가정에 따른 해석에 의해 일반적인 토압과 지진토압을 적용하여 전도에 대한 안정, 활동에 대한 안정, 침하에 대한 안정을 검토하고 그 결과가 요구하는 안전율을 확보하였을 때 옹벽이나 교대의 벽체나 기초 단면에 대한 단면력을 구해 설계를 수행하게 된다.

그러나 보통의 경우 교대는 도로교량으로서 배수구배인 편경사 구조물의 형태가 되며, 이때 교대의 구조물의 높이 또한 편경사의 정도에 따라 좌·우가 다르게 되어 일반적인 설계기준 높이는 교대의 최대높이로 설계를 하고 있다. 그러나 토압의 작용도 삼각형 모양의 형태로 작용하고 교대의 높이 또한 편경사의 영향으로 높이가 달라 실제 교대 벽체하면에서 발생하는 휨모멘트의 경우 2차원적인 해석결과와 입체해석에 의한 결과가 다를 것으로 예상되며, 아울러 실제 교대의 경우 토사의 흘러내림을 억제하기 위해서 날개벽을 설치하고 있다.

이에 본 연구는 그 영향을 3차원 입체해석을 통해 다음과 같은 사항에 대해 분석하고자 한다.

첫째, 교대의 편경사를 달리했을 경우(2%, 3%, 4%, 5%, 6%), 일반적인 2차원 해석과 입체해석을 수행하여 최적설계의 방안을 찾고자 하며,

둘째, 교대의 날개벽의 경우, 전 폭에 대해 날개벽이 전혀 설치되지 않은 경우와 보통의 실제 교대에서와 같은 경우인 방호벽 측에 날개벽을 설치하는 경우 및 중앙분리대에 추가의 날개벽을 설치하는 3가지 방안에 대해 3차원 입체해석을 통해 그 영향을 분석하고 그 결과에 따라 최적설계를 유도함과 아울러 실제 교량의 날개벽의 효용성에 대해 분석하고자 한다.

\* 정회원, 천일기술단 사장

dkhigh@hanmail.net

\*\* 정회원, 천일기술단 도로부 상무이사

\*\*\* 정회원, 천일기술단 도로부 부장

## 2. 해석 방법

고속국도 및 국도 등 도로 설계시 일반적으로 적용되는 편경사의 범위는  $\pm 2\% \sim \pm 6\%$ 로써, 도로 중앙부(중분대측)의 벽체의 높이를 8.0m로 하고 편경사를 변화시킨 단면으로 중분대측, 교대중앙부 및 방호벽측의 높이에 대하여 해석을 시행한다. 해석방법으로 벽체와 날개벽을 고정된 기초위에 판(shell)으로 모델링 하여 입체 해석함과 동시에 현재 설계 실무에서 범용 되고 있는 평면 해석 프로그램을 이용하여 벽체 하부의 단면력을 산출한다.

### 2.1 해석 모델링

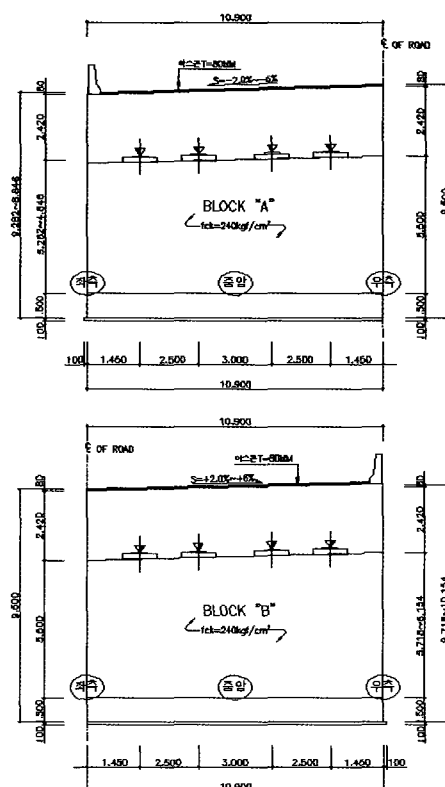
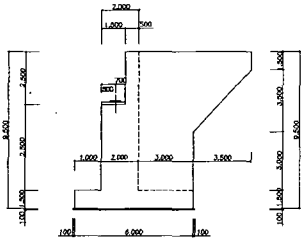


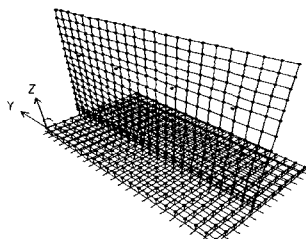
그림 1. 해석 교대 일반도

표 1. 해석 교대 높이 (벽체, 단위: m)

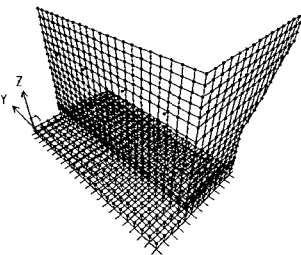
편경사	BLOCK "A"			BLOCK "B"			편경사
	최소높이 (좌측)	평균높이 (중앙)	도로중심 (우측)	도로중심 (좌측)	평균높이 (중앙)	최대높이 (우측)	
-2%	7.782	7.891	8.000	8.000	8.109	8.218	+2%
-3%	7.673	7.837	8.000	8.000	8.164	8.327	+3%
-4%	7.564	7.782	8.000	8.000	8.218	8.436	+4%
-5%	7.455	7.728	8.000	8.000	8.273	8.545	+5%
-6%	7.346	7.673	8.000	8.000	8.327	8.654	+6%



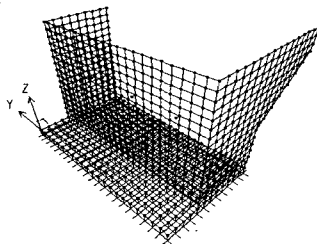
a. 2차원(Plane analysis)



b. 3차원(Shell analysis-날개벽미고려시)



c. 3차원(Shell-방호벽측날개벽 고려시) : 현형



d. 3차원(Shell-중분대측날개벽 고려시)

그림 2. 모델링

2.2 설계 조건(우측날개벽기준)

- 교폭(직거리) = 10.9 m
- 벽체높이 = 8.0 m
- 콘크리트 :  $f_{ck} = 24 \text{ MPa}$ ,  $E_c = 2.32 \times 10^4 \text{ MPa}$   
 $\gamma_c = 2.5 \text{ tonf/m}^3$
- 철근 :  $f_y = 300 \text{ MPa}$ ,  $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$
- 토사 :  $\phi = 35^\circ$  (내부마찰각),  $\gamma_s = 2.0 \text{ tonf/m}^3$
- 하중 :
  - Load 1(고정하중) : 자중은 Program에서 자동 고려
  - Load 2(수평토압) : RANKINE 토압계수  
 $K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = \tan^2(45 - 35.0/2) = 0.271$   
 $q_1 = 0.271 \times (1.0 + 0.0 \times 2.0) = 0.271 \text{ tonf/m}^2$   
 $q_2 = 0.271 \times (1.0 + 8.0 \times 2.0) = 4.607 \text{ tonf/m}^2$
  - Load 3(상부전달하중 - 고정하중)  
 $: 33.0275 \text{ tonf/m} \times 10.9/4ea = 90.0 \text{ tonf/ea}$

- Load 4(상부전달하중 - 활하중)

$: 9.9083 \text{ tonf/m} \times 10.9/4ea = 27.0 \text{ tonf/ea}$   
 노면활하중 :  $1 \text{ tonf/m}^2$

2.3 해석결과

2.3.1 날개벽을 설치하지 않은 경우(모멘트 : tonf·m)

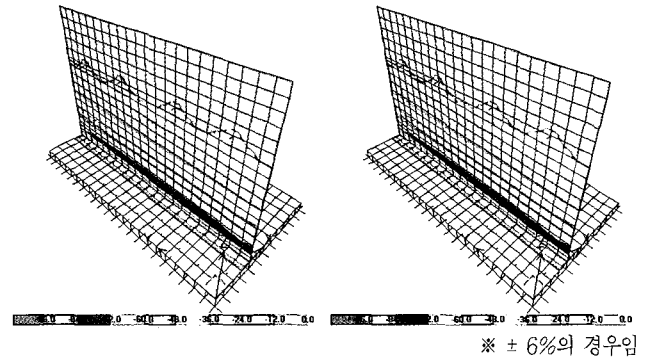


표 3. 날개벽을 설치하지 않은 경우 벽체 단면력

편경사	BLOCK "A"					
	좌측		중앙		우측	
	shell	plane	shell	plane	shell	plane
-2%	-93.99	-114.84	-105.24	-118.70	-96.92	-122.63
-3%	-91.69	-111.07	-103.44	-116.78	-96.06	-122.63
-4%	-89.40	-107.38	-101.66	-114.84	-95.20	-122.63
-5%	-87.18	-103.77	-99.94	-112.96	-94.38	-122.63
-6%	-85.00	-100.24	-98.25	-111.07	-93.58	-122.63

편경사	BLOCK "B"					
	좌측		중앙		우측	
	shell	plane	shell	plane	shell	plane
+2%	-100.55	-122.63	-112.67	-126.66	-103.55	-130.76
+3%	-101.51	-122.63	-114.59	-128.72	-106.04	-134.96
+4%	-102.50	-122.63	-116.59	-130.76	-108.62	-139.24
+5%	-103.50	-122.63	-118.59	-132.87	-111.19	-143.61
+6%	-104.52	-122.63	-120.62	-134.96	-113.80	-148.07

2.3.2 중앙분리대를 제외한 양측면만 날개벽을 설치한 경우 (모멘트 : tonf·m)

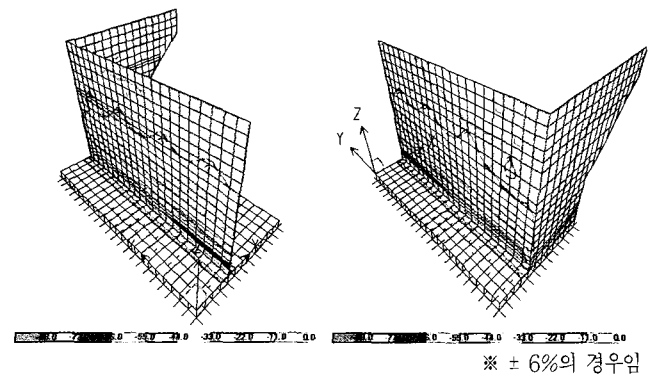
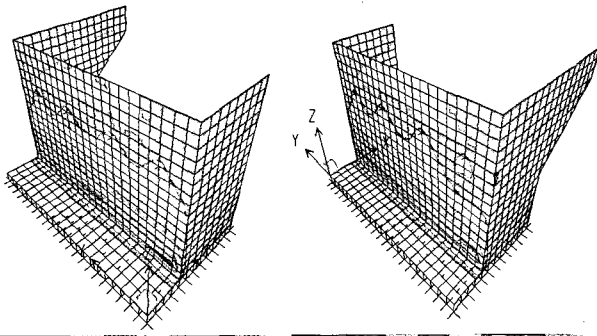


표 4. 중앙분리대를 제외한 양측면만 날개벽을 설치한 경우의 벽체 단면력

편경사	BLOCK "A"					
	좌측		중앙		우측	
	shell	plane	shell	plane	shell	plane
-2%	-70.04	-114.84	-77.44	-118.70	-89.65	-122.63
-3%	-66.56	-111.07	-77.61	-116.78	-89.55	-122.63
-4%	-66.87	-107.38	-75.70	-114.84	-88.77	-122.63
-5%	-64.94	-103.77	-74.98	-112.96	-88.35	-122.63
-6%	-63.02	-100.24	-74.28	-111.07	-87.94	-122.63

편경사	BLOCK "B"					
	좌측		중앙		우측	
	shell	plane	shell	plane	shell	plane
+2%	-91.28	-122.63	-80.32	-126.66	-78.59	-130.76
+3%	-91.81	-122.63	-81.24	-128.72	-80.73	-134.96
+4%	-92.01	-122.63	-81.59	-130.76	-84.39	-139.24
+5%	-92.40	-122.63	-82.32	-132.87	-86.80	-143.61
+6%	-92.77	-122.63	-83.04	-134.96	-89.27	-148.07

2.3.3 양측면 및 중앙분리대에 날개벽을 설치한 경우  
(모멘트 : tonf·m)



※ ± 6%의 경우임

표 5. 양측면 및 중앙분리대에 날개벽을 설치한 경우의 벽체 단면력

편경사	BLOCK "A"					
	좌측		중앙		우측	
	shell	plane	shell	plane	shell	plane
-2%	-70.26	-114.84	-60.65	-118.70	-75.61	-122.63
-3%	-67.42	-111.07	-60.36	-116.78	-75.53	-122.63
-4%	-66.24	-107.38	-59.39	-114.84	-75.37	-122.63
-5%	-64.28	-103.77	-58.79	-112.96	-75.26	-122.63
-6%	-62.34	-100.24	-58.20	-111.07	-75.14	-122.63

편경사	BLOCK "B"					
	좌측		중앙		우측	
	shell	plane	shell	plane	shell	plane
+2%	-76.03	-122.63	-63.43	-126.66	-78.43	-130.76
+3%	-76.13	-122.63	-64.17	-128.72	-80.52	-134.96
+4%	-76.23	-122.63	-64.93	-130.76	-82.68	-139.24
+5%	-76.33	-122.63	-65.70	-132.87	-84.80	-143.61
+6%	-76.42	-122.63	-66.50	-134.96	-86.95	-148.07

2.4 3차원 입체해석(Shell 해석)에 의한 결과 분석

2.4.1 날개벽을 설치하지 않은 경우 벽체 단면력

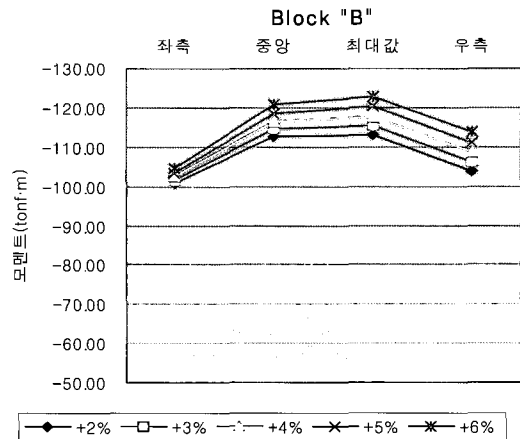
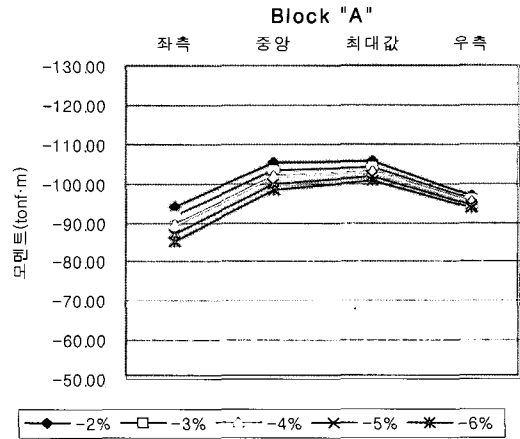


그림 3. 날개벽을 설치 하지 않은 경우의 단면력

입체해석을 통한 날개벽을 설치하지 않은 벽체를 해석해본 결과 Block-A의 경우 우측을 8m 높이로 고정하였을 때, 편경사의 영향(-2% ~ -6%)에 따른 단면력을 비교분석해 보면, 우측의 높이가 8m로 고정되었다 하더라도 편경사의 영향에 따라 단면력의 크기는 크지 않지만 편경사에 따른 단면력의 변화를 알 수 있으며, 횡방향으로 단면력을 보면 날개벽의 없으므로 해서 좌·우측 단부에서 자유단이 형성되어 구속력이 없으므로 좌우측 변위가 벽체에서 상대적으로 많이 발생하여 좌우측 단부가 단면력이 감소하고, 교대높이가 높은 우측으로 치우쳐서 중앙부에서 최대 휨모멘트가 발생함을 알 수 있다.

Block-B의 경우 좌측을 8m 높이로 고정하였을 때, 편경사의 영향(+2% ~ +6%)에 따른 단면력을 비교분석해 보면, 좌측의 높이가 8m로 고정되었다 하더라도 편경사의 영향에 따라 단면력의 크기는 크지 않지만 편경사에 따른 단면력의 변화를 알 수 있으며, 횡방향으로 단면력을 보면 날개벽이 없으므로

좌·우측 단부에서 자유단이 형성되어 구속력이 없으므로 좌우측 변위가 벽체에서 상대적으로 많이 발생하여 좌우측 단부가 단면력이 감소하고, 교대높이가 높은 우측으로 치우쳐서 중앙부에서 최대 휨모멘트가 발생함을 알 수 있다.

2.4.2 중앙분리대를 제외한 양측면만 날개벽을 설치한 경우 (보통 설계 적용)

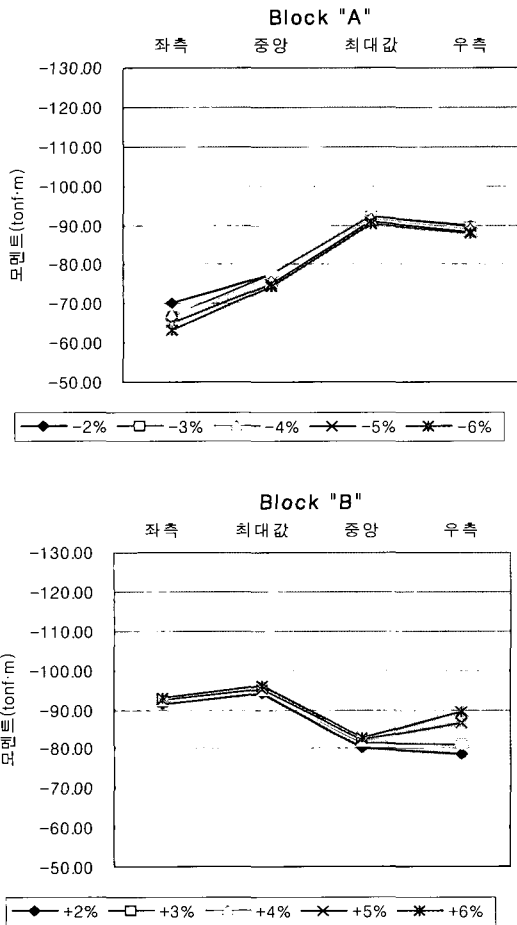


그림 4. 중앙분리대를 제외한 양측면만 날개벽을 설치한 경우(보통설계적용)의 단면력

3차원 입체해석을 통해 벽체를 해석해본 결과, Block-A의 경우 우측을 8m 높이로 고정하였을 때, 편경사의 영향(-2% ~ -6%)에 따른 단면력을 비교분석해 보면, 우측의 높이가 8m로 고정되었다 하더라도 편경사의 영향에 따라 단면력의 크기는 크지 않지만 편경사에 따른 단면력의 변화를 알 수 있으며, 횡방향으로 단면력을 보면 좌측의 날개벽이 있으므로 해서 벽체의 단면력의 현저한 감소현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 날개벽이 교대 측면토사의 흘러내림을 억제하기 위한 목적이지만 교대 벽체와 일체 시공되므로 인해 날개벽의 역할 뿐만 아니라 교대의 부벽의 역할도 동시에 수행함을 알 수 있다. 벽

체에 발생하는 최대 휨모멘트 발생부위는 날개벽이 설치되지 않는 부위에 치우쳐서 발생되었다.

Block-B의 경우 좌측을 8m 높이로 고정하였을 때, 편경사의 영향(+2% ~ +6%)에 따른 단면력을 비교분석해 보면, 좌측의 높이가 8m로 고정되었다 하더라도 편경사의 영향에 따라 단면력의 크기는 크지 않지만 편경사에 따른 단면력의 변화를 알 수 있으며, 횡방향으로 단면력을 보면 우측의 날개벽이 있으므로 해서 벽체의 단면력의 현저한 감소현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 날개벽이 교대 측면토사의 흘러내림을 억제하기 위한 목적이지만 교대 벽체와 일체 시공되므로 인해 날개벽의 역할 뿐만 아니라 교대의 부벽의 역할도 동시에 수행함을 알 수 있다. 벽체에 발생하는 최대 휨모멘트 발생부위는 날개벽이 설치되지 않는 부위에 치우쳐서 발생되었다.

또한 Block A와 Block B의 횡방향 단면력도를 비교해보면 편경사 영향에 따른 단면력의 양상을 알 수가 있다.

2.4.3 양측면 및 중앙분리대에 날개벽을 설치한 경우

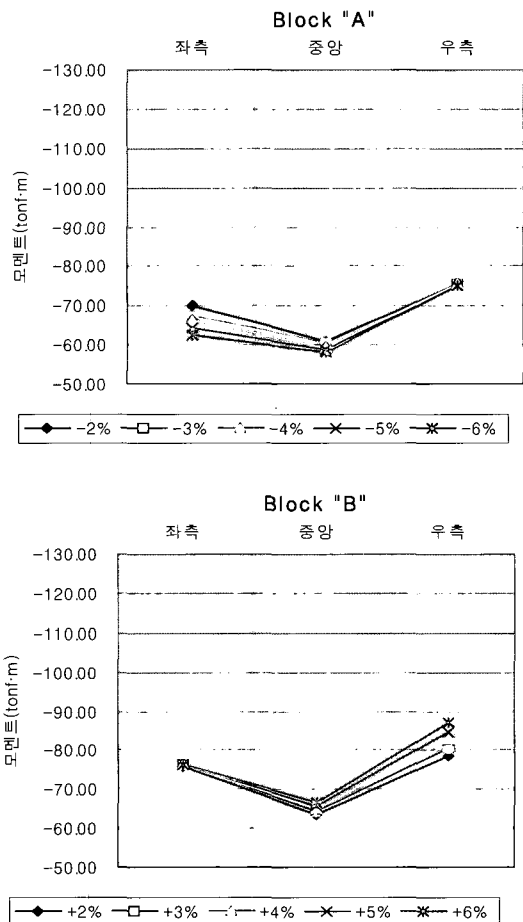


그림 5. 양측면 및 중앙분리대에 날개벽을 설치한 경우의 단면력

표 6. Plane 최대값과 shell 최대값의 비교 - 날개벽을 설치하지 않은 경우 검토 위치별 단면력

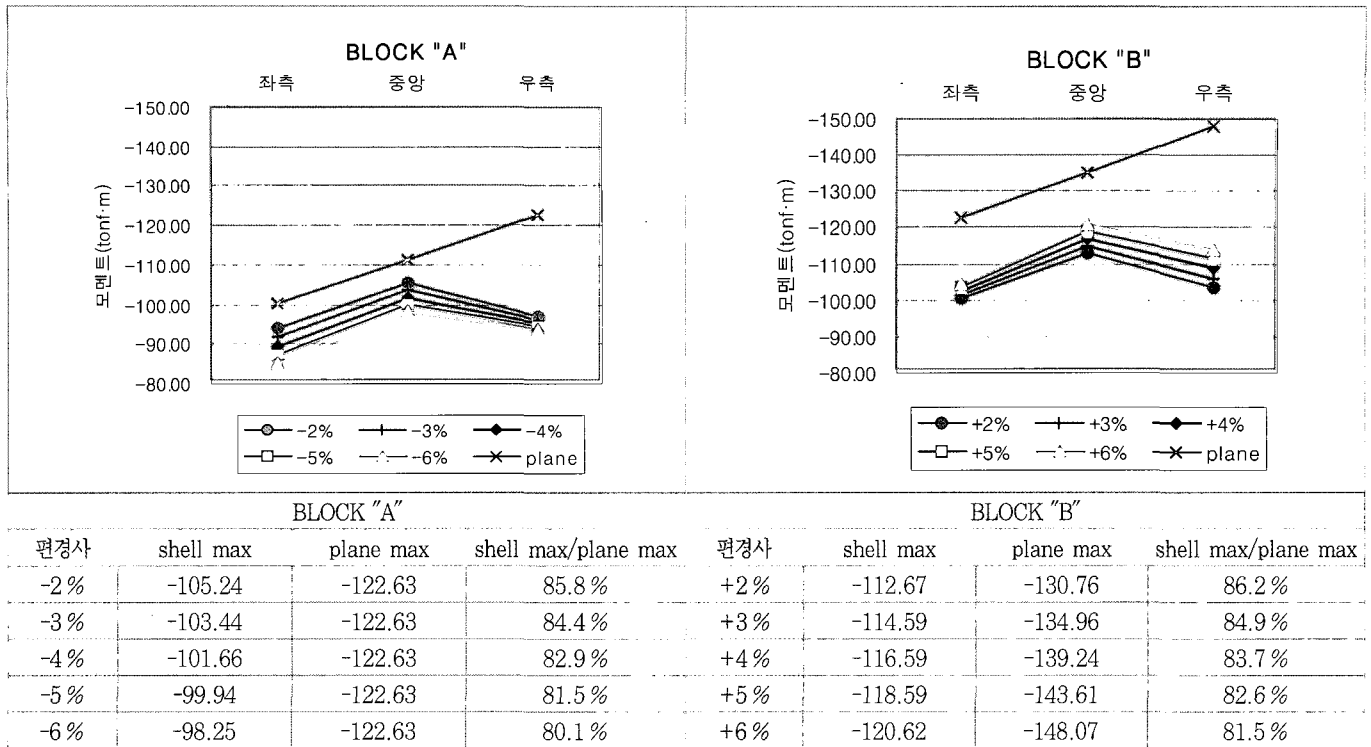
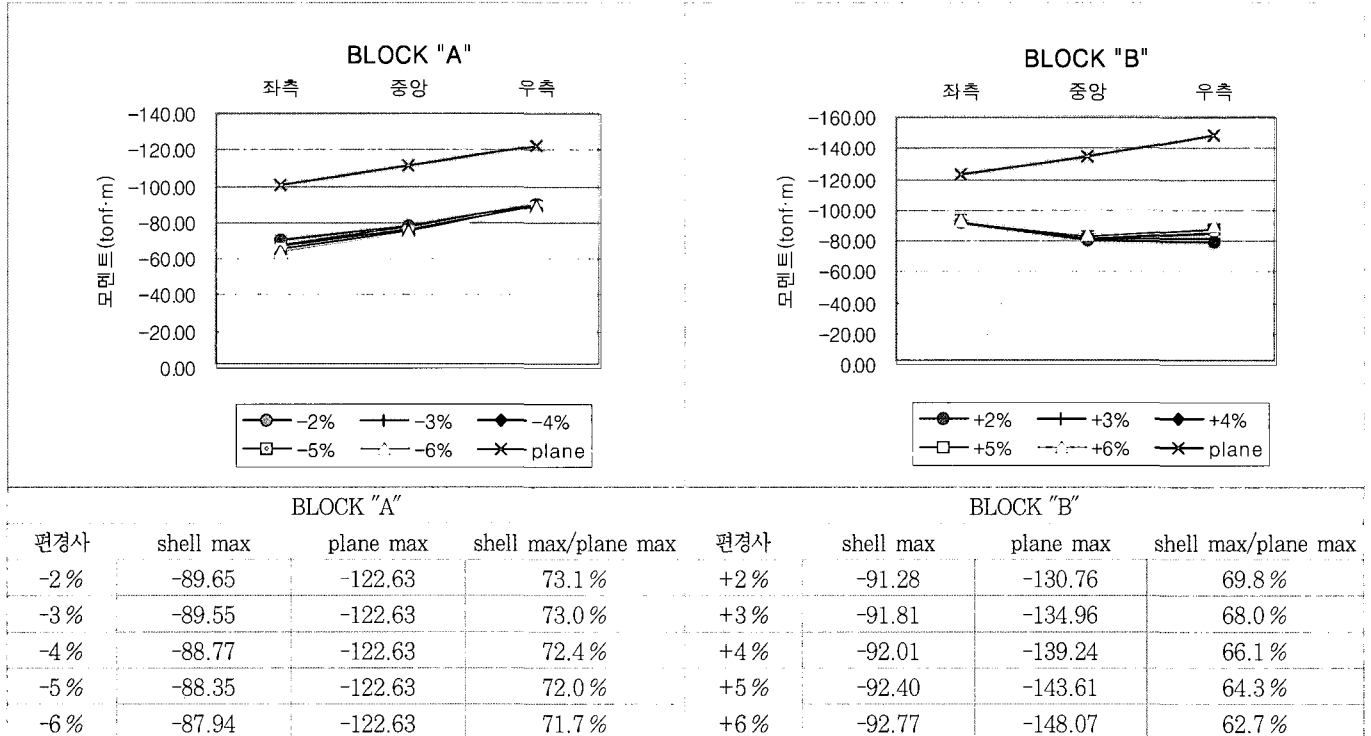


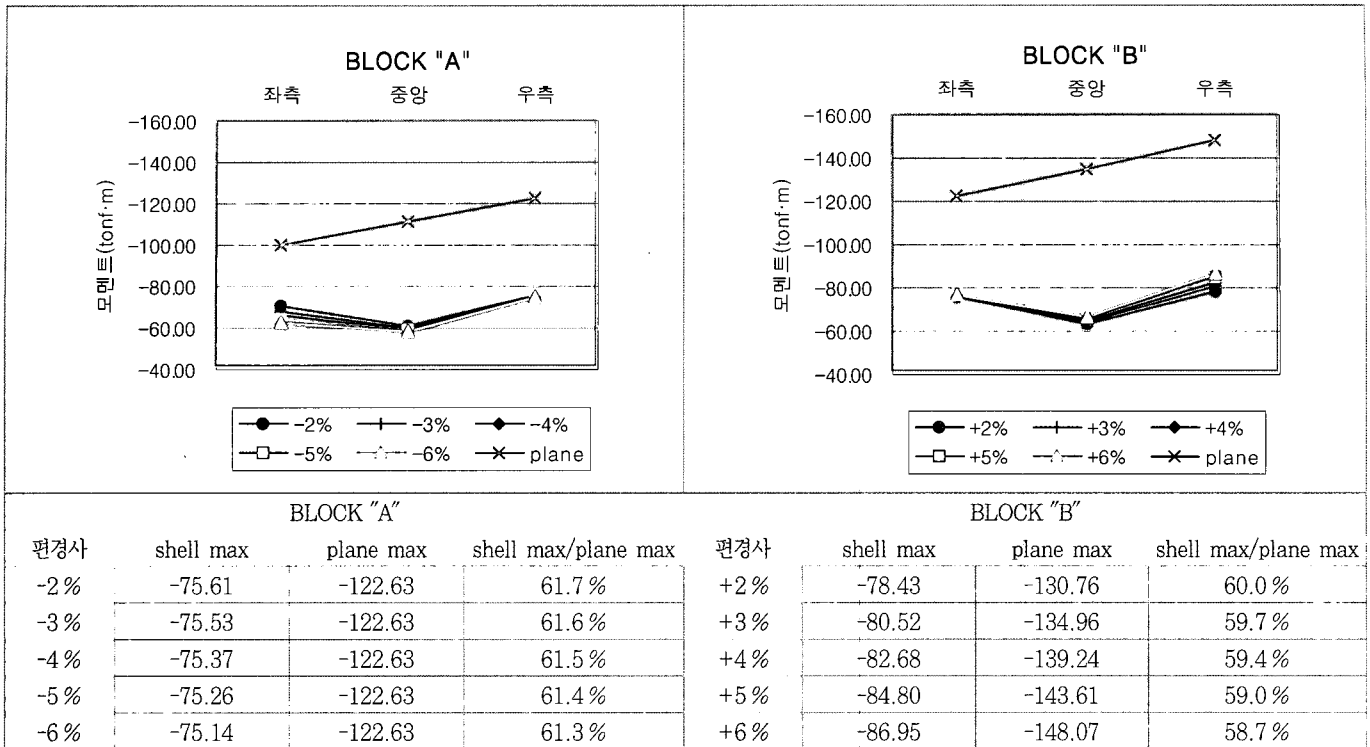
표 7. Plane 최대값과 shell 최대값의 비교 - 중앙분리대를 제외한 양측면에 날개벽을 설치한 경우 검토 위치별 단면력



3차원 입체해석을 통해 벽체를 해석해본 결과, Block-A의 경우 우측을 8m 높이로 고정하였을 때, 편경사의 영향(-2% ~ -6%)에 따른 단면력을 비교분석해 보면, 우측의 높이

가 8m로 고정되었다 하더라도 편경사의 영향에 따라 단면력의 크기는 크지 않지만 편경사에 따른 단면력의 변화를 알 수 있으며, 횡방향으로 단면력을 보면 좌·우측의 날개벽이 있으

표 8. Plane 최대값과 shell 최대값의 비교 - 양측면 및 중앙분리대에 날개벽을 설치한 경우 검토 위치별 단면력



므로 해서 벽체의 단면력의 현저한 감소현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 날개벽이 교대 Block A 양측면에 설치되므로 해서 강성집중현상이 발생하여 벽체 중앙부위에서 최소의 단면력이 발생함을 알 수 있다.

Block-B의 경우 좌측을 8m 높이로 고정하였을 때, 편경사의 영향(+2% ~ +6%)에 따른 단면력을 비교분석해 보면, 좌측의 높이가 8m로 고정되었다 하더라도 편경사의 영향에 따라 단면력의 크기는 크지 않지만 편경사에 따른 단면력의 변화를 알 수 있으며, 횡방향으로 단면력을 보면 좌·우측의 날개벽이 있으므로 해서 벽체의 단면력의 현저한 감소현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 날개벽이 교대 Block B 양측면에 설치되므로 해서 강성집중현상이 발생하여 벽체 중앙부위에서 최소의 단면력이 발생함을 알 수 있다.

보통 중앙분리대의 날개벽의 설치는 확장설계시 가시설 대신에 주로 설치되고 있으며 중앙분리대의 날개벽 역시 교대의 부벽으로서 단면력 감소에 큰 역할을 하는 것으로 나타났다.

#### 2.4.4 2차원 Plane 해석과 3차원 Shell 해석시의 결과 비교

- 1) 날개벽을 설치하지 않은 경우 검토 위치별 단면력<표 6>
- 2) 중앙분리대를 제외한 양측면에 날개벽을 설치한 경우 검토 위치별 단면력<표 7>
- 3) 양측면 및 중앙분리대에 날개벽을 설치한 경우 검토

위치별 단면력<표 8>

### 3. 결 론

일반적으로 교대의 설계는 2차원 평면해석에 의해 수행되고 있으며, 교대가 편경사가 있을 경우 최대 높이를 기준으로 해석을 수행하나, 3차원 입체해석을 통해 실제 교대에 근접하게 모델링을 하여 해석해본 결과(중앙분리대측의 교대높이를 8.0m를 기준) 다음과 같은 연구 결과를 얻을 수 있었다.

첫째, 교대의 편경사의 영향에 따라 교대높이가 변경되며, 편경사 구배가 일정하게 다를 경우 교대 벽체의 하단의 최대 휨모멘트도 미소하지만 일정한 변화를 알 수 있다.

둘째, 교대의 날개벽이 없는 경우(1)와 날개벽이 중앙분리대 측에는 없고 양측에만 있는 경우(2) 및 중앙분리대 및 양측에 모두 날개벽을 설치하였을 경우(3)를 3차원 Shell 해석에 의한 결과만으로 분석해 보면 다음과 같다. Block A(하향구배)의 경우 최대 휨모멘트 감소율을 보면, (1)경우 : (2)경우 : (3)경우 = 1 : 0.852 : 0.718이고, Block B(상향구배)의 경우 최대 휨모멘트 감소율을 보면, (1)경우 : (2)경우 : (3)경우 = 1 : 0.769 : 0.721으로 나타났다. 이는 날개벽의 영향에 따라 벽체 하단의 휨모멘트가 감소하였으며, 날개벽의 역할이 부벽(버팀대)의 역할도 하고 있음을 반증하는 것이다.

셋째, 실제 설계에 적용하고 있는 2차원 평면해석에 의한 경

우(1)와 3차원 해석을 통한 날개벽이 없는 경우(2)와 3차원 해석을 통한 날개벽이 중앙분리대측에는 없고 양측에만 있는 경우(3)와 양측 및 중앙분리대측에 모두 날개벽을 설치한 경우(4)에 대해 편구배의 영향에 따라 상호 휨모멘트감소율을 분석해 보면 다음과 같다. Block A(하향구배)의 경우 최대 휨모멘트 감소율을 보면, (1)경우: (2)경우: (3)경우: (4)경우 = 1 : 0.801 ~ 0.858 : 0.717 ~ 0.731 : 0.613 ~ 0.617의 비율이고, Block B(상향구배)의 경우 최대 휨모멘트 감소율을 보면, (1)경우: (2)경우: (3)경우: (4)경우 = 1 : 0.815 ~ 0.862 : 0.627 ~ 0.698 : 0.587 ~ 0.600의 비율로 나타났다. 이러한 연구 결과의 의미는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

- ① 현재 설계에 적용하고 있는 2차원 평면해석에 의한 교대의 설계는 날개벽이 없는 단순 벽체만 있을 경우라도 설계에 있어 13.8 ~ 19.9%의 안전율을 확보함
- ② 일반적인 설계계획에 적용하고 있는 날개벽이 중앙분리대측에는 없고 양측에만 있는 경우에 있어 실제 설계에 적용되고 있는 2차원 평면해석에 의한 결과치과 정밀해석을 통한 3차원해석에 의한 결과비교를 해보면 설계에 26.9% ~ 37.3%의 안전율을 확보함

③ 일반적으로 특수한 경우인 중앙분리대에 날개벽을 설치하는 경우(확장설계시 가시설대용)에 있어 날개벽이 날개벽의 영향 뿐 만아니라 부벽(버팀대)의 영향도 같이 수행되고 있으므로 본 연구에서는 벽체의 휨모멘트의 강력한 저감방안으로 중앙분리대에도 추가로 날개벽을 설치하였을 경우에 있어 2차원 평면해석에 의한 결과치과 정밀해석을 통한 3차원해석에 의한 결과비교를 해보면 설계에 38.3% ~ 41.3%의 안전율을 확보함

위의 연구 결과를 보면 우리가 일반적으로 교대설계를 2차원 평면해석에 의해 설계를 수행하고 있으나 실제에 있어 안전율 13.8% ~ 41.3%를 확보하므로 앞으로 설계에 있어 경제성 및 구조적 안정성을 확보한 최적설계를 수행하는 차원에서 교대에서도 3차원 입체해석의 필요성이 있다고 판단된다. □

### 참고문헌

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

## 신간소개

# 콘크리트 교량의 유지관리(Unterhaltung von Massivbrücken)

### ◆ 소개

: 이 책은 독일에서 25년간 콘크리트 구조물, 특히 RC교량과 PSC교량의 보수보강업무에 종사한 저자 G. Ruffert의 경험을 토대로 교량의 전적인 유지관리를 내용으로 하고 있다. 자연발생적으로 등장한 유지관리란 그 역사가 짧은 탓으로 국내에서는 아직 공학적인 이론체계가 미흡하다고 할 수 있는데 이 책은 독일에서 오랜 기간을 걸쳐 저자의 다양한 경험과 연구사례를 집대성한 것으로 설계와 시공 실무자는 물론 감독기관과 연구원에게 참고할 만한 자료가 될 것이다.

이 책에서 저자는 유지관리기술을 손상이 인지-분석-보수보강 기술로 구분하여 각각의 손상의 원인을 규명하고 이에 따라 처방-설계-시공을 소개하는 한편 사용재료의 선택과 사용기준을 제시하고 있으며 여러 가지 보수보강공법의 상세한 활용방법과 한계를 설명하고 있다. 특히 콘크리트 손상의 원인을 구조조건(설계, 시공), 환경조건(대기, 수질, 토양오염), 사용조건(하중, 교통, 관리)에 따라 다양하게 파악하고 손상과정을 상세히 실고 있다. 또한 이 책을 통하여 국내에는 상대적으로 덜 알려진 독일의 유지관리기법(행정, 법규, 운영체계 등)을 살펴볼 수 있는데 예컨대 유지관리업무의 종류와 긴급성의 시비나 예산배정의 순위기준 그리고 유지관리항목을 설계와 시공에의 반영여부 등에 대한 논의가 있다.

- 저 자: 귄터 루헤르트(Günter Ruffert)
- 출판일: 2005년 9월 1일

- 역 자: 황 학
- 쪽 수: 317쪽

- 출판사: 도서출판 동화기술
- 가 격: 15,000원

