

Cellular Cofferdam 설계와 시공

유 명 진
토목공학과

〈요 약〉

지난 50여년간 Cellular Cofferdam의 규모가 점점 커짐에 따라 하천및 항만구조물 시공도 크게 발전하였다. 1910—1930년대의 초기단계에는 30—40ft 높이이던 것이 최근에는 115ft높이까지 성공적으로 시공되었다. 모래층 위에 축조되기도 하나 대부분의 Cellular Cofferdam은 암반 위에 축조되고 주로 모래, 또는 모래와 자갈로 채워진다. 본고는 Cellular Cofferdam의 발전단계, 종류, 설계절차를 여러 시공예와 함께 기술하였다.

Cellular Cofferdam Design and Construction

Yu, Myong Jin
Dept. of Civil Engineering

〈Abstract〉

The construction of river and harbor structures has been developed largely in the last 50 years by cellular cofferdams of larger and larger dimensions and depths.

Beginning in 1910—1930 with head of 30 to 40 ft, a recent cofferdam has been constructed successfully to withstand a head of 115ft.

Most of cellular cofferdams were founded on rock with fill materials principally of sand, or sand and gravel, but several were founded on deep sand strata.

The types and design procedure are described with a presentation of construction examples and practical considerations.

I. 서 론

Cellular Cofferdam은 Sheet Pile을 막아 연속된 Cell을 만들고 흙으로 채워 넓은 공사지역을 물로부터 막는 공법이다. 1910년 하바나항에 침몰한 미국군함 Maine호를 인양하기 위하여 처음으로 시도되었는데 이 Cofferdam은 연약한 압축성 원지반에 축조되고 점토로 채워져 거의 실패하였으나 Cofferdam시공 가능성에 대한 가치있는 지식을 얻게 되었다. Cellular Cofferdam설계에 대한 개념이 1920년에 세워졌고 1928년에는 내부 Berm없이 지탱

할 수 있는 40ft높이의 Cellular Cofferdam으로 넓은 지역을 물로부터 막을수 있었다. 이때까지는 (a) Sheet pile연결부 재질, (b) Cell채움 배수및 전단 저항, (c) 전도에 대한 Block 이론, (d) 활동(滑動) 안전에 대한 Sheet pile과 암반과의 접촉에 대한 고려 등 Cellular Cofferdam설계에 대한 기본 문제의 대부분이 해결되었다. 1930년대에는 하천 수문 및 댐공사에서 Cellular Cofferdam은 유용한 수단이 되었으며 같은 설계개념이 안벽 방파제 같은 영구구조물에도 적용되었다.

우리나라에서는 팔당저낙차댐 축조를 위하여 프랑스 SOFRELEC의 설계와 시공감독에 의하여 처

음으로 성공적으로 수행되었으며 우리 기술진에 의하여는 진해에 Drydock 축조를 위하여 완성된 바 있다.

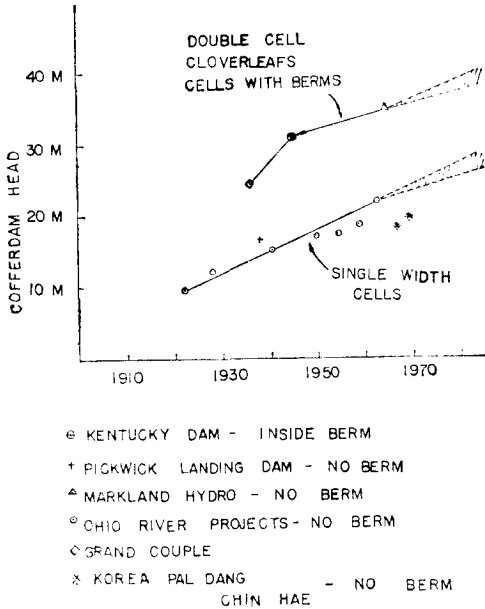


Fig. 1. Cellular Cofferdams Head Trends

Fig.1은 Cellular Cofferdam 설계 높이의 점차적 증가를 보여준다. 이들은 대부분 암반위에 축조되었으나 Arkansas River Navigation Program에서 두터운 모래층위에 Sheet Pile 근입장(根入長) 변화로 침투수를 조절함으로써 Cofferdam을 축조하였다. 이공사에서는 Vibratory hammer를 사용하여 Sheet Pile을 더 길게 박아 침투수를 조절할 수 있었다. Fig.1을 보면 Cellular Cofferdam 높이가 더 증가하리라 예측할수 있으며 특별히 규모가 큰 하천 또는 해안구조물 축조도 가능하리라 생각된다.

II. Cellular Cofferdam의 종류

Cofferdam에는 (a) 외접 Cofferdam (b) 토언제 (c) 두겹 Cofferdam (d) Cellular Cofferdam 등이 있다. (a)는 비교적 작은 Cofferdam에 적합하고 침투수량이 많으며 홍수의 피해를 받기 쉽다. (b)는 높이의 제한은 없으나 비교적 넓은 면적을 차지하게 된다. (c)는 현재 거의 쓰이지 않는다. (d)는 ①대구조물 공사시나 Cofferdam 높이가 큰

때는 두겹 Cofferdam보다 경제적이고 ②좁더 수밀(水密)하고 ③토언제보다 좁은 면적을 차지하여 물의 흐름에 지장을 적게 주고 항해로의 제한도 적다. ④공사후 Sheet Pile을 뽑아 재사용할 수 있고 ⑤비교적 공사방법이 간단하여 많이 사용되고 있다.

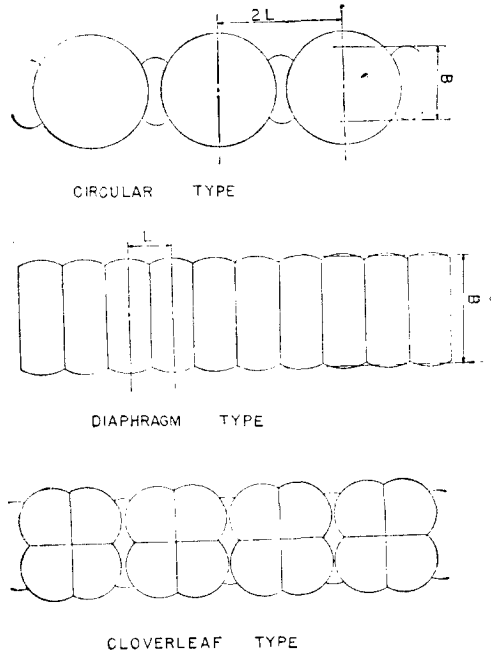


Fig. 2 Cofferdam types

Cellular Cofferdam에는 (가)Circular Type와 (나)Diaphragm Type와 (다)Cloverleaf Type가 있으며 (가)는 같은 간격의 중심을 가진 원형들을 양쪽에서 원호로 연결한 모양이고 (나)는 두 줄의 원호를 Cofferdam축에 수직한 칸막이로 막은 모양, (다)는 Circular Type의 변형으로 직경이 크기 때문에 연결부응력이 허용응력을 초과할 때 칸막이를 하여 응력을 작게한 것이다.

Cell형의 선택은 현장조건뿐 아니라 시공문제에 의하여 결정되기도 하며 Circular Type은 독립적으로 채울수 있어 순차적으로 완공할 수 있고 완성된 Cell위에서 작업면적을 얻을수 있다. 그러나 Diaphragm Type는 칸막이의 의곡을 방지하며 채워야 하기 때문에 채움이 인접 Cell과 5ft이상 차이가 나면 안된다. 따라서 Cell이 모두 완성된후에 채움을 시작하여야 한다. 깊은 물에서 안전하게 채우는 때

는 시간이 많이 소요되나 **Template**설치는 용이하고 **Sheet Pile**을 새우고 박는 것 또한 신속하다. **Diaphragm Type**은 **Clamshell** 또는 **Dragline**로 채우면 문제가 없으나 수압식으로 채우면 어렵다. 높이가 낮은 **Cofferdam**에서는 **Diaphragm Type**이 단위길이당 **Sheet Pile**의 증량의소요가 적으나 높아지면 **Circular Type**이 경제적이다.

그러므로 물이 빨리 흐르고 높은 **Cofferdam**이 요구되는 곳에서는 **Circular Type**이 많이 사용되며 **Diaphragm Type**은 물의 흐름과 평행으로는 사용할 수 있으나 하천을 횡단하여 시공함에는 적당치 못하다.

III. 설 계

실제는 다음과 같은 순서로 진행된다.

3-1 설계조건 결정 : 홍수위 기록에 의한 **Cofferdam**높이 결정과 **Boring**에 의한 지질조사와 **Cell** 채움 재료 결정 단계이다. **Cofferdam** 높이가 결정은 설계의 가장 중요한 조건으로 최고 홍수위를 취하는 경우는 드물고 공사기간 중 대개 한두번 넘치는 것을 허용하도록 설계한다. 이것은 홍수로 인한 파해액보다 **Cofferdam** 높이가 증가하면 공사비가 더 많이 소요되는 것이 보통이기 때문이다. **Cellular Cofferdam**은 주로 채움의 전단저항으로 안정을 얻게 되므로 그 지방에서 가장 적합한 채움재료를 택하는 것이 중요하다. **Cell** 채움재료는

- ① 잘 배수되는 세립이 적고 비교적 큰 알갱이로 된 모래와 자갈이고
- ② 높은 전단저항 즉 마찰각이 커야하고
- ③ 단위증량이 크고
- ④ 세굴(洗掘)이 잘 안되고 침투수가 적어야 한다. 즉 입도가 좋아야 한다.

3-2 외력의 계산 : 외력에는 수압, 토압, 채움으로 인한 토압등이 있다.

3-3 Cellular Cofferdam의 안정 계산 : 설계를 간편하게 하기 위하여는 실제 **Cofferdam**의 변화하는 폭을 사용하지 않고 환산단면폭을 사용하여 단위길이에 대하여 설계하게 된다. 이론적으로 환산단면폭은 실제 **Cofferdam**과 같은 단면계수를 가지는 구형단면(矩形斷面)의 폭이나 설계를 간단히 하기 위하여는 같은 면적을 가지는 구형단면의 폭으로도 하기도 한다.

- (1) 알반 위에 축조하는 경우, **Cellular Cofferdam**

은 활동(滑動), 미끄러짐, 전단변형의 세가지 파괴 가능성에 대하여 해석되어야 한다.

활동(滑動)—**Cofferdam**에는 최고수위와 토압에 의한 수평력이 작용된다. 이 수평력은 **Cofferdam** 저면의 마찰저항과 **Berm**이 있으면 이에 의한 수동토압으로 견디게 된다.

$$F.S. = \frac{W_1 \tan \phi + P_p}{P}$$

F.S. : 안전계수 최소한 1.25

W₁ : 침윤선 위의 채움의 건조증량과 침윤선 아래의 부력을 고려한 증량

φ : 채움의 내부 마찰각

P_p : **Berm**에 의한 수동토압

P : 수평력

미끄러짐(Slipping)—**Cell**이 지나친 횡력을 받으면 압력을 받는 바깥쪽 **Sheet Pile**이 **Cell**채움을 벗어나 윗쪽으로 미끄러진다. 그 결과 채움이 **Cell**아랫쪽으로부터 나오게 된다. 압력을 받는 바깥쪽 **Sheet Pile**이 전체적으로 윗쪽으로 미끄러짐과 동시에 안쪽 **Pile**은 연결부를 따라서 서로 미끄러지게 된다. 이 현상은 채움과 압력을 받는 바깥쪽 **Pile** 사이의 마찰저항이 연결부 마찰저항보다 적으면 발생한다. 이로 인한 파괴를 방지하려면 다음의 식을 만족하여야 한다

Pile의 윗쪽 움직임에 대한 마찰저항=안전계수×윗방향력(안전계수는 최소한 1.25)

$$Pb \tan \delta = 1.25 \frac{H}{3} P$$

b에 대하여 풀면

$$b = \frac{0.417H}{\tan \delta}$$

P : 횡력(橫力)

b : 환산단면폭

H : **Cofferdam**높이

δ : **Sheet Pile**과 채움 사이의 마찰각

전단변형—**Cellular Cofferdam**의 수직 전단은 1934년 **Pennoyer**에 의하여 제기되었고, 1944년 **Terzaghi**의 「**Stability and Stiffness of Cellular Cofferdam**」에서 공인되어 현재까지 설계 방법으로 많이 사용되고 있다.

그는 수직전단에 대하여 수직면 **gh**의 전단저항 및 연결부 마찰저항으로 견딘다고 설명하였다.

즉

$$S.F. = \frac{S}{Q}$$

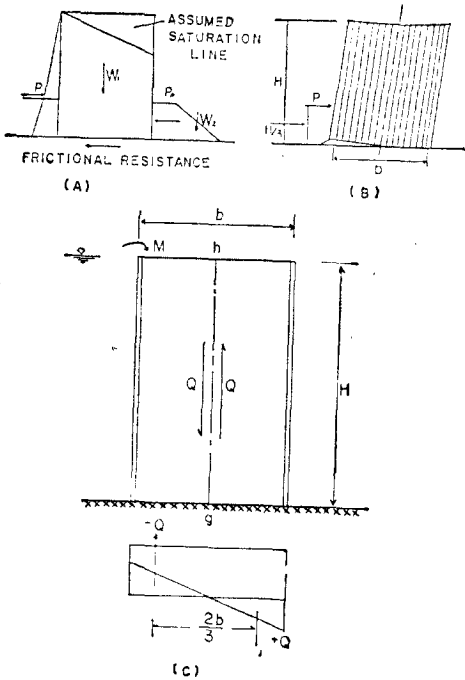


Fig. 3 Stability of Cellular Cofferdam on Rock: (A) Sliding (B) Slipping (C) Vertical Shear

S.F. : 안전계수

S : 전단저항

Q : Cofferdam 수직면에 대한 전단력

$$S = S_f + S_s$$

S_f : 채움의 전단저항

S_s : Sheet Pile 연결부 마찰저항

$$S_f = \frac{1}{2} \gamma K H^2 \tan \phi$$

$$S_s = \frac{1}{2} \gamma K H^2 f$$

γ : 채움의 단위중량

ϕ : 채움의 내부마찰각

f : Sheet Pile 연결부 마찰계수

K : 채움의 토압계수

$$Q = \frac{3}{2} \frac{M}{b}$$

M : 외력(外力) Moment

b : 환산단면폭

안전계수를 산정하는데는 K 의 값을 정하는데 문

제가 있다. Terzaghi는

$$K = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

인 Rankine 값을 택하였으나 이 값이 너무 작으므로 Krynine은

$$K = \frac{\cos^2 \phi}{2 - \cos^2 \phi}$$

로 수정하였다.

수직전단에 대하여는 Cummings, Hansen, Ovesen, Melvin에 의하여 이론(異論)이 제기되고, 완전하다고는 볼 수 없으나 현재까지 많이 사용되는 설계 방법으로 되어 있으며 Cell 폭과 높이를 같게 설계한 예가 많다.

전단파괴는 채움층의 전단저항과 연결부의 마찰저항에 의하여 저항되므로 내부마찰각이 큰 채움층을 택하여야 한다. 점토를 피하고 모래 및 자갈로 채우는 것이 좋고 Cell 내부의 배수를 잘하여야 한다. 보통 Cofferdam 내측에 Weep hole을 만들어 배수를 돕고, 필요한 높이에 수평 자갈 Lense를 설치하여 Cofferdam 내측 벽을 따라 배수하거나 Cell안에 Wellpoint나 Deep Well을 만들어 불량한 채움층의 배수를 돕기도 한다. Cell의 $\frac{6}{10}$ 높이까지는 잘 배수되어야 하며 뒷쪽 채움은 건조하게 안정될 수 있으면 입도가 불량해도 좋다.

(2) 땅 속에 Sheet Pile을 박아 Cofferdam을 축조하는 경우에는 암반 위의 Cofferdam의 안정조건 이외에 다음 요구조건으로 만족하여야 한다.

A. Sheet Pile은 수직분력을 지지할 수 있도록 충분히 깊이 박아야 한다. Sheet Pile의 지지력은 다음 식과 같다.

$$R = (P_1 + P_2) \mu + qA$$

R : Sheet Pile 지지력

P_1 : Cell 채움의 주동토압의 합력

P_2 : Cell 바깥쪽의 수저면하(水底面下) 수동 토압

μ : 채움과 Sheet Pile 사이의 마찰계수

q : Sheet Pile 하단의 흙의 극한 지지력

A : Sheet Pile의 단면적

B. 모래층에 박는 Cellular Cofferdam은 침투수에 의한 하단의 흠입자의 Boil 현상을 막아야 한다. 모래의 높은 투수성으로 인하여 Cofferdam으로 막은 물은 밑부분을 통하여 비교적 큰 속도로 Cofferdam 내부로 침투하게 된다.

Fig. 4의 화살표는 침투수의 유선을 표시한다.

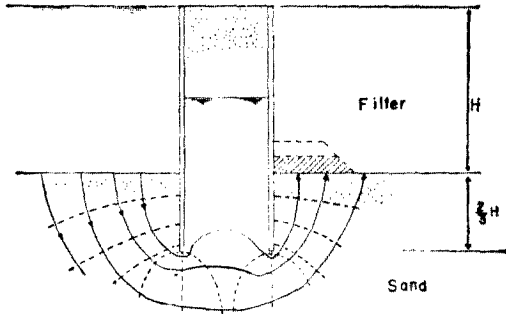


Fig. 4 Seepage in Cellular Cofferdam in sand

Cofferdam 안쪽 부분에서는 유선이 거의 수직이 되어 흡입자에 대하여 양수압(揚水壓)이 작용한다.

침투수압이 흙의 수중단위중량이 되면 흙의 전단 저항은 제로(0)가 되어 액체와 같은 상태가 된다. 이런 상태에서는 Cofferdam 밑부분에는 수압만이 작용하게 되고 Cofferdam을 지지할 수 없게 된다. 따라서 흙의 Boil상태를 막는 것은 절대적으로 중요하다. 수압의 크기는 유선상에 의하여 결정할 수 있고 유선상은 수위차(水位差)와 흙층의 간극율로부터 이론적으로 구하거나 모형실험에 의하여 구할 수 있다.

흙의 Boil위험은 Cofferdam안쪽에 Filter를 설치함으로 감소시킬 수 있다. Filter의 목적은 뒷방향 침투수압과 거의 같은 무게로 Boil을 방지하는 것이다.

Filter의 재료는

$$\frac{\text{Filter재료 } D_{15}}{\text{지반흡입자 } D_{85}} \leq 5$$

$$\frac{\text{Filter재료 } D_{85}}{\text{지반흡입자 } D_{60}} \leq 25$$

이어야 한다. 또한 Cofferdam 내외의 수위차는 일정하지만 유선을 연장할 수 있으면 Boil을 일으킬 수 있는 극한속도 이하로 유속을 감소시킬 수 있다. 유선을 연장하는 방법으로 Cofferdam 바깥쪽에 점토 Blaket를 설치하거나 안쪽에 Berm을 설치하기도 한다.

모래층에 박는 Sheet Pile은 Cofferdam 높이의 $\frac{2}{3}$ 또는 지지할 수 있는 단단한 층까지 이르도록 박는 것이 보통이다.

C. 점토층 위의 Cofferdam은 점토의 지지력과 Cofferdam 밑부분의 압축으로 인한 경사 가능성에 대하여 고려되어야 한다. 점토층의 극한지지력은

$$H = 5.7 \frac{c}{\gamma}$$

로 정해진다. 안전율을 1.5로 하면

$$H = 3.8 \frac{c}{\gamma}$$

가 된다.

H : 지면 위의 Cofferdam의 최대높이

c : 점토의 점착력

γ : Cell채움의 단위중량

(침윤선 아래는 수중단위중량)

3-4 Sheet Pile 장력: 반경 R 이 되는 Cellular Cofferdam의 Sheet Pile 장력은 다음 식과 같다.

$$T = PR$$

T : Sheet Pile 장력

P : Cell채움으로 인한 최대수평압력

R : Cell반경

침윤선이 높아지면 수평압력이 증가함으로 Cell 내의 배수에 주의하여야 한다.

IV. Cellular Cofferdam 시공 예(例)

1. Pike Island Locks

미국 West Virginia주 Ohio강에 Diaphragm Type으로 1961년에 축조되었다. 이 지역은 평균수면 아래 43ft에 거의 수평인 연철암층이 있고 이 위에 35ft높이로 모래 및 자갈층이 쌓여 있다. Clam Shell과 Dragline Derrick Boat로 모래 및 자갈층을 굴착한 다음 수면보다 19ft높게 62ft 높이로 Cofferdam을 축조 하였으며 한번 모래주머니를 사용하였을 뿐 넘친 적이 없다. 댐을 양의 토량 굴착이 소요되었으나 Sheet Pile 근입장이 증가하는 것보다는 경제적이었고, 나무줄기나 전석을 제거할수 있어서 Sheet Pile을 연결부의 일탈없이 박을 수 있었다. 강바닥 모래 및 자갈은 양질의 채움재료가 되었으며 Cofferdam 안쪽에 폭 60ft, 높이 25ft의 Berm 설치에도 사용되었다. Berm은 단면이 작더라도 Sheet Pile의 일탈을 막고 활동저항을 증대하고 연결부 응력을 감소시킬 수 있어 유용하다.

정부가 62ft 길이의 28psf Sheet Pile을 판급할 수 있고, 시공자가 56ft 길이의 23psf Sheet Pile을 가지고 있어 Fig.5와 같이 부동형 Cell로 설계하였다. 단위중량이 큰 Sheet Pile은 연결부 응력이 큰 것이 필요한 외면과 칸막이에, 단위중량이 작고 짧은 것은 내면에 사용하고 Cell 윗부분을 7ft낮게 한

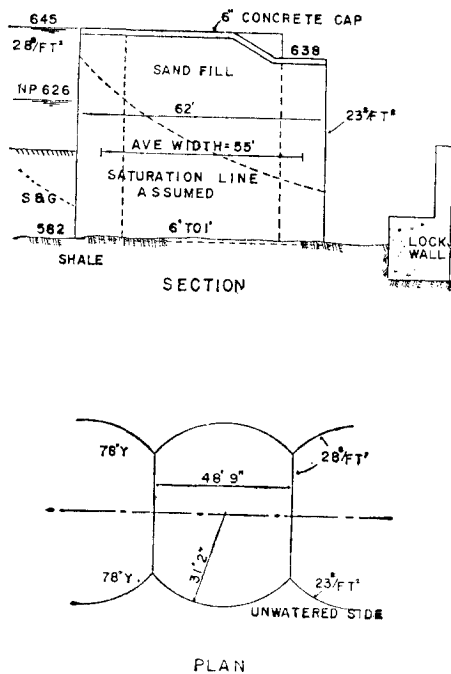


Fig. 5 Pike Island Locks

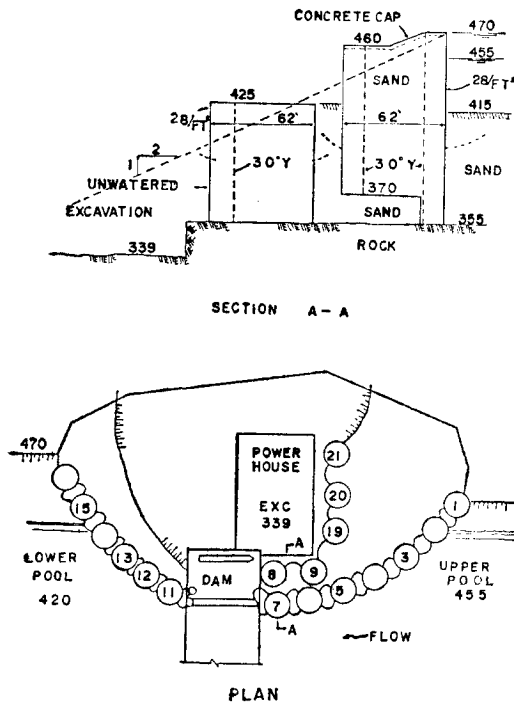


Fig. 6 Markland Powerhouse

다음 경사면을 두었다. 이런 형상으로 설계함으로 전도에 대한 안정도에는 영향이 없다. Cell 연결에는 78° Y형 Pile을 사용하고 Cofferdam 윗부분은 물이 넘칠 경우 세굴을 막기 위하여 6in 두께의 콘크리트 포장을 하였다.

2. Markland Powerhouse

미국 Ohio강의 Markland Powerhouse 건설을 위한 물막이로 Fig. 6과 같이 기존댐 상하 제방에 연결된 두개의 곡선으로 형성된다. 제방은 암반으로부터 115ft 높이로, 조립사(粗粒砂)로 되어 있고 댐 상류는 40ft의 조립사가 덮여 있으며 평균수심은 60ft이다. Cofferdam은 평균수위보다 15ft 높게 축조하였다. 댐 상류의 수위가 높아 115ft의 긴 Pile을 사용하여야 했으며 40ft 길이의 조립사층은 Vibratory Hammer를 사용하여 박을 수 있었다. 40ft는 Cellular Cofferdam 시공에 있어 Pile박기의 한계점으로 세우기 및 박기에 신중한 주의가 필요하다. Cell은 28psf Sheet Pile의 62ft의 직경, 72ft 중심간격의 원형으로 30° Y-Pile을 사용하여 원호로 연결하였다. 모래층에 깊이 박아야 하고 Pile이 길기 때문에 T-Pile대신에 Y-Pile을 사용하였다. T-Pile 연결원호는 주Cell에 여유없이 제한됨으로 시공이 불완전할 때 수정하기가 어려우나, 30° Y-Pile 연결원호는 더 많은 Sheet Pile이 필요하여 주Cell에서 잘못 배열된 것을 조정할에 융통성이 있고 용이하게 깊이 박을 수 있다.

Cofferdam 높이가 크기 때문에 큰 형상의 Cell이 필요하고, 홍수량 통과에 10개의 수문이 필요하므로 Cofferdam은 제2 Pier에 연결하지 않으면 안된다. 그렇게 되면 내부 Berm설치도 불가능하여 상류는 두줄의 Circular Type Cofferdam을 축조하였다.

시공방법은 먼저 댐상류에서 작업하는 Derrick Boat로 바깥줄의 Cell을 축조하고, Cofferdam 내부의 제방을 굴착하여 하류로 운반한 다음 안줄의 Cell을 축조하고 그 사이를 채웠다.

댐하류쪽 Cofferdam을 축조한 다음 배수하여 물막이 공사를 완성하였다.

3. Lock and Damb Arkansas River

1965년 미국 Arkansas강에 축조되었다. Little Rock상류는 암반이 얇게 있으나 하류는 암반이 매우 깊은 점토, 모래, 실트층 바닥이다. 이 지역은

60ft 깊이의 투수성 모래층이고 일부는 점토와 밀 투수성인 층으로 되어 있다. 공사장을 성공적으로 배수하는 열쇠는 Sheet Pile을 밀 투수하는 층까지 박거나, 모래층을 거의 지나도록 깊이 박는 것이다 Cofferdam 주변으로 공사지역에 유입하는 물을 Deep Well과 Well Point를 설치 배수하기도 하였다.

많은 수평의 점토와 실트층이 모래바닥에 산재하여 있고 Sheet Pile이 이층에 도달할수록 유입량은 적을 것이다. Flat Type Sheet Pile보다 Z-Pile이 견고하므로 더욱 깊이 박을 수 있어 Cellular Cofferdam 공법보다 Z-Pile을 외경으로 깊이 박는 공법을 채택하였고 내부 Berm이 불가능한 곳은 Z-Pile의 비늘 안쪽 수직 칸막이형 Cell로 보완하였다. Vibratory Hammer를 사용하여 Sheet Pile을 깊이 박고 지수벽을 만들어 공사지역을 배수할 수 있었다.

4. Long Sault Dam

미국 St. Lawrence강에 Long Sault Dam건설을 위하여 Long Sault Rapids에 Cellular Cofferdam

을 축조하는데 Dravo Corporation에 의하여 Fig. 7 (A)와 같은 Deflector가 사용되어 잔잔한 수면에서 Template를 설치하고 Pile을 박을수 있었다.

급류에 도달하기 전에 4개의 Cell이 축조되었고 Deflector가 먼저 축조한 Cell에 지지되어 45°로 부딪치는 13fps 표면유속의 급류를 막아 공사를 성공시킬수 있었다. Fig. 7(B)와 같은 Deflector로 큰 파도가 치는 노출된 해안에서 Cell 축조지역을 완전히 둘러싸고 Cofferdam을 축조할 수 있었다.

5. 팔당댐

저낙차댐 건설을 위하여 한국전력에서 시공하였으며 프랑스의 SOFRELEC에 의하여 설계되었다. Guide Ring은 4부분으로 분리된 Floating Ring(직경 17.834m)를 사용하였고, 4개의 강관으로 하상에 고정하였다. Arc는 T형 철판을 141°로 Cell에서 거의 점선방향으로 연장하여 T형 Sheet Pile에 걸리는 Arc의 Hoop Tension으로 인하여 Cell에 무리가 적게 가도록 하였고, 바깥쪽 Arc는 Cell의 앞면보다 2m앞으로 돌출시켰다. Sheet Pile의 근입상태는 하상의 연압돌출로 20cm정도였다. 따라서 근입량 부족을 보완하기 위하여 수압을 받는 하상측에 점토주머니로 방수 및 Cell의 세굴방지를 하였다.

6. 진해 Dock

처음으로 우리나라 기술진에 의하여 Dry Dock건설을 위해 시공되었다.

해상 물막이는 지질상의 근입장과 공사완료후 일부 안벽으로 영구사용을 목적으로 Circular Type Cellular Cofferdam을 채택하였고 육상부는 전석 매립층임으로 바닥물의 유동이 있을 것을 고려, 공사장 주위를 일정한 V형 단면으로 제거한 후 점토로 환토하고 U형 Sheet Pile을 박아 침투수를 완전히 방지하도록 하였다. 또한 공사기간중 철재 부식을 방지하기 위해 Cathodic Protection공법을 실시하였다. Arc부는 T-Pile로 주Cell에 연결하였다.

V. 결 론

Fig. 1은 점차 Cofferdam 높이가 증가하는 사실을 보여준다. 이를 위하여는 시공기술의 발전 및 Sheet Pile의 품질 발달이 병행되어야 할 것이다.

Sheet Pile연결부의 기하학적 형상이 개량될 수

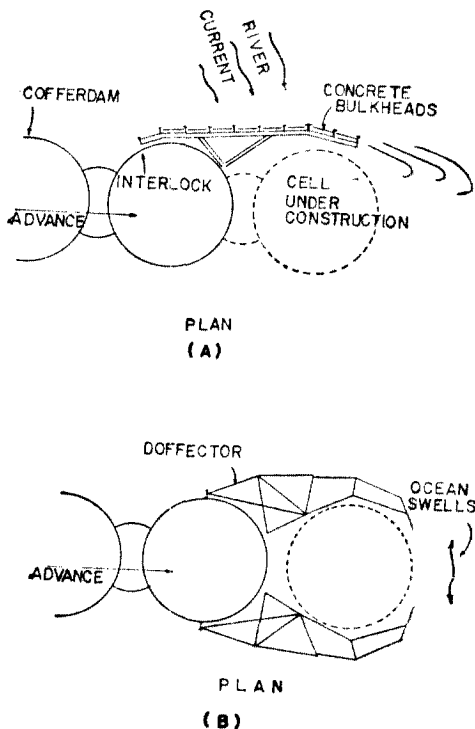


Fig. 7 Arrangement of Deflectors

는 없을까. 단면의 최소한도 증가로 큰 인장응력과 연결부응력에 견딜 수 있어야 한다. 연결부강도를 증가시키면 더 큰 단형 Cell이 가능할 것이고 단형 Cell은 Cloverleaf Type Cell보다 $\frac{2}{3}$ 의 Sheet Pile 중량이면 된다.

Cell채움도 Cofferdam시공에 중요한 경제적 요소가 된다. 그 지방의 재료가 유리하며 Cell내의 배수 개질으로 한계 흙의 사용도 가능하다. 필요한 곳에 적은 양의 자갈을 채움으로 배수를 개질할 수 있고, 수직 Deep Well 또는 수평 Well Point를 사용하여 인공적으로 배수하기도 한다.

30° Y-Pile을 T-Pile로 대치함으로 파괴를 줄일 수 있을 것이고 고주기 Vibratory Hammer는 Sheet Pile박기에 크게 기여할 것이다.

지금까지 Cellular Cofferdam의 발달단계와 종류, 설계절차 및 여러 시공예를 기술하였다.

참 고 문 헌

1. TERZAGHI, K., *Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams, Transactions, ASCE*,
- 110, pp1083—1202(1945)
2. KRYNINE, D. P., *discussion of "Stability and Stiffness of Cellular Cofferdams," by TERZAGHI, K., Transaction, ASCE, 110, pp1 175—1178(1945)*
3. CUMMINGS, E. M., *Cellular Cofferdams and Docks, Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE, 83-WW3, pp13—45(1957)*
4. ESRIG, M. I., *Stability of Cellular Cofferdams against Vertical Shear, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 96—SM6, pp1853—1862(1970)*
5. SWATEK, E. P. Jr., *Cellular Cofferdam Design and Practice, Journal of the Waterways and Harbors Division, ASCE, 93—WW3, pp109—132(1967)*
6. TENG, W. C., *Foundation Design, Prentice-Hall, Englewood Cliffs (1962)*
7. TERZAGHI, K. & PECK, R. B., *Soil Mechanics in Engineering Practice, Willey & Sons, New York (1948)*