

# 공기분사공법을 이용한 초대형 Open Caisson의 침하촉진에 대한 사례연구

정진섭\* · 이종천\*\* · 김해욱\*\*\* · 김태형†

\*,\*\*원광대학교 토목환경도시공학부, \*\*\*(주) 한양, † 한국해양대학교 건설환경공학부

## A Case Study on Settlement Promotion of a Large Size Open Caisson using Air-Jet an Method

Jin-Seob, Jeong\* · Jong-Cheon, Lee\*\* · Hae-Woog, Kim\*\*\* · Tae-Hyung, Kim†

\*,\*\*Division of Civil, Environmental, and Urban Engineering, Wankwang University, Iksan  
\*\*\* Hanyang Corp.

† Division of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약 :** 본 실험 연구는 공기분사공법의 오픈케이슨기초의 주변마찰력 저감효과에 대해 규명하기위해 이루어졌다. 연육교 건설을 위해 기초로 사용된 공기구멍이 설치된 대구경 케이슨이 본 연구를 위해 이용되었다. 공기분사공법을 사용 시, 침하 시간을 줄일 수 있었으며 일반적인 방법으로 도달할 수 없는 깊이까지 침하를 시킬 수 있었다. 또한, 예상했던 것 보다 두 배 이상의 주변마찰저항력 저항 저감 효과를 얻었으며, 이런 장점 외 추가적인 외부의 재하하중 없이도 케이슨을 침하시킬 수 있음을 보여주었다. 그 외 오픈케이슨 침설 시 발파에 의한 케이슨 손상을 공기분사공법을 이용하면 방지할 수 있음을 보여주었다.

**핵심용어 :** 오픈케이슨, 공기분사방법, 주변마찰, 침하촉진

**Abstract :** This experimental study has been carried out to investigate the reduction in side friction of open caisson using air-jet method. For this study, the large size caisson having air-pockets was used. This caisson was used as substructure of bridge. By using air-jet method, settlement time was decreased and even settlement was reached to the depth which conventional methods could not be. We found that the side resistance decreases to less than half the expected value. In addition to these merits, the air-jet method can result in self-weight settlement without applying additional load. Also the open caisson damage caused by blasting can be prevented with this method

**Key words :** Open caisson, Air-jet method, Side skin friction, Settlement promotion

### 1. 서 론

최근 산업의 발전과 경제규모의 성장으로 국토의 활용면적이 증대됨에 따라 종래의 경우보다 지반조건이 상대적으로 열악한 지역에서의 각종 건설 활동이 추진되고 있고, 구조물을 지탱해주는 기초 역시 그 설치 심도가 깊어지고 대형화되어가는 추세에 있다. 이런 경우에 사용되는 기초의 한 형태로 케이슨 기초가 많이 이용되고 있다. 케이슨 기초라는 것은 연약층의 두께가 깊거나 수심이 깊은 곳에서 각종 교량 및 항만 구조물등 비교적 큰 하중을 소정의 지지층까지 전달하는 깊은기초의 한 방법로서 지지력과 수평저항력이 크고 시공 깊이의 제한이 없는 장점을 가지고 있어 일반적으로 많이 쓰이는 공법으로 주로 자중에 의하여 침하를 시키게 된다. 그러나 케이슨의 자중에 의한

침하를 고려할 때 시공심도와 지반의 토질조건에 따라 주변 마찰력과 부력 등에 의한 많은 저항력을 받게 되어 침하에 소요되는 시간이 증가되거나 침하가 불가능한 경우가 발생되어 효율적인 공사가 어려운 경우도 발생된다(박 외, 2003; 배, 2000: 한 외, 2003). 이와 같은 경우 부력이나 주변마찰력을 줄이는 침하촉진공법을 함께 적용하는 것이 효과적인 것으로 알려져 있다. 실제로 침하촉진공법이 실무에 사용이 되고 있으나 학문적 측면에서 이것에 대한 구체적인 검토는 이루어지지 않고 있다.

본 연구는 침하촉진공법으로 이용되는 방법 중 하나인 air-jet 공법에 대해 진행이 되었다. 연구 대상은 육상에서 외경 16m, 높이 36.5m에 이르는 초대형 철근콘크리트 교각용 케이슨을 제작하여 이를 해상으로 예인, 소정의 위치에서 자중으로 침하시키려는 계획아래 공사가 진행된 전남 신안군 사육-중도간

\* 대표저자 : 정진섭(정회원), jsjeong@wonkwang.ac.kr 063)850-7563  
\*\* 정회원, jcleee91@wonkwang.ac.kr 063)850-7563  
\*\*\* 정회원, hwgim627@hanmail.net 061)275-6031  
† 교신저자 : 김태형(정회원), kth67399@hhu.ac.kr 051)410-4465

연육교를 대상으로 하였다. 침하축진공법으로 air-jet 공법을 사용하였으며 주면마찰력의 지감효과와 침하시간의 단축효과를 예측치와 계측치를 비교하여 검토하였다. 또한 이 근거를 바탕으로 air-jet 공법의 효율적 시공성도 면밀히 규명하고자 한다.

## 2. 케이슨의 기본이론

### 2.1 케이슨의 개요

케이슨은 주로 철근콘크리트로 만든 통형태의 구조물이며 통의 저면에서 토사를 굴착, 배토하면서 중력을 이용하여 침하시켜 소정의 지지층에 도달시키는 공법이다. 여기서 토사의 배출 방법에 따라 Open Caisson(우물통)과 Pneumatic Caisson(공기케이슨)으로 나뉜다. Open Caisson은 대기 또는 수중에서 굴착하여 배토하며 Pneumatic Caisson은 케이슨의 아래쪽에 공기압축실을 마련하여 지하수위에 상당한 압축공기를 보내어 통저부에서의 투수를 막으면서 굴착하는 방법을 말한다.

### 2.2 분사식 침하공법

케이슨이 주면 마찰력 때문에 침하속도가 현저하게 느리게 되는 경우 날끝 부근에서 공기, 물 또는 그의 혼합물을 분사시켜주는 방법을 사용하여 주면 마찰력을 감소시키는데 일반적으로 점성토인 경우는 물보다도 공기가 좋고, 또 사질토인 경우는 물과 공기의 혼합물이 효과적인 것으로 알려져 있다(Bowles, 1988; Burland, 1973). 공기를 분사하는 분기식의 기본 개념은 케이슨 하부의 표면에 air-pocket 을 만들고 그의 요(凹)부는 미리 구체내부에서 송기관을 통하여 압축 공기를 보낼 수 있는 장치를 설치하여 이 air-pocket에 압축공기를 보내서 흙과 케이슨사이를 공기로 분리시키는 것이다. 그러나 이것만으로 분리면적이 부족할 때는 다시 침하 시에 추가 공기를 보내면 공기가 케이슨의 표면에 따라 상승할 때 체적이 증가하면서 전면적으로 케이슨 표면을 흙으로부터 분리시켜서 마찰저항의 대부분을 제거하게 된다. 이론적으로 압축공기를 보내면 압축공기는 그 부근에 존재하는 토사 또는 물에 비해서 대단히 가볍다. 즉 1기압에서는 1m<sup>3</sup>의 중량이 0.00012ton 즉 약 1만분의 1ton 인데 일출하는 공기는 이 양의 차에 의해서 큰 부력을 얻어 케이슨의 외벽면을 따라 대단한 기운으로 상승하여 케이슨과 토사를 완전히 분리시키게 되는 것이다(Whitaker and Cooke, 1996). Boil의 법칙에 따르면 기체의 체적은 이에 작용하는 압력에 반비례 하므로 요부를 빠져나와 상승하는 공기는 외압의 감소에 따라 체적이 증가하여 분리부분의 면적을 확대한다. 즉 가볍다는 것과 가압성물질이라는 것이 케이슨의 외벽면 전면에서 토사와 케이슨을 완전히 분리하여 마찰저항을 격감시키는 것이다.

다음에 이 공법의 송기장치의 개략을 설명하면 먼저 종방향 송기관(내경 25mm)을 최소 2개 케이슨벽 속에 매설하고 여기에 직각방향으로 여러 개의 송기 수평관(직경 25mm)을 배치하는데 이 송기 수평관에는 많은 분기구가 설치되어 있다. 첫 번

째 수평관은 케이슨 하단부 1m 부근에, 이보다 위에서는 토질에 따라 2m~5m 간격으로 설치한다.

### 2.3 주면마찰력

주면마찰력은 케이슨의 침하과정에서 발생하는 케이슨의 외주와 흙 사이의 전단저항력이다. 가능하면 케이슨은 이 주면마찰력 보다도 큰 하중을 가지도록 설계해야 한다. 그렇지 않으면 케이슨을 침하시키기 위해서 하중을 더 증가시켜야 한다. 따라서 이러한 주면마찰력에 관해 합리적으로 추정할 필요가 있다. 주면마찰력은 흙의 종류에 따라 광범위하게 변한다. 그리고 이것에 의하여 케이슨의 침하속도가 현저하게 저하하는 경우에는 날끝 부근에 공기, 물 또는 그의 혼합물을 분사함으로써 주면마찰력을 감소시킨다. Terzaghi-Peck은 설계용 주면마찰력으로서 Table 1을 제안한 바 있다 (Terzaghi and Peck, 1967).

Table 1 Skin friction of caisson,  $f$  (t/m<sup>2</sup>)

흙의 종류	주면마찰력 $f$
실트와 연약점토	0.75 ~ 3
극히 굳은 점토	5.0 ~ 2.0
느슨한 모래	1.25 ~ 3.5
조밀한 모래	3.5 ~ 7
치밀한 자갈	5 ~ 10

### 2.4 케이슨의 침하조건

케이슨의 형상과 치수가 결정되어지면 케이슨의 침하관계를 가정하고 침하작업에 지장이 없도록 침하하중과 저항력의 관계를 검토한다. 케이슨의 침하하중은 케이슨 본체의 중량과 침하용 재하하중이고 저항력은 주면마찰력, 이론기압 또는 작업기압에 의한 양압력 그리고 케이슨 선단부의 지지력이다.

케이슨의 침하관계는 일반적으로 다음 식과 같이 표시된다.

$$W_c + W_w > U + F + B \quad (1)$$

여기서  $W_c$  : 케이슨의 수중중량

$W_w$  : 케이슨 침하용 재하하중

$U$  : 이론기압 또는 작업기압에 의한 양압력

$F$  : 총 주면마찰력

$B$  : 케이슨 선단부의 지지력

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 지반조건

시험 대상 지역은 전남 신안군의 사옥-중도간 연육교 가설 공사 구간에 설치되는 교량기초 중 PIER 4를 선정하여 분석하였으며, 케이슨이 설치될 지층의 상태 및 지반공학적 특성등을 파악하기 위해 표준관입시험을 2개소에서 시행하고 그 결과를 표 2, 3에 나타내었다.

SPT시험 결과에서 볼 수 있듯이 N치가 11~37에 해당되는 사질토 지반 까지는 케이슨 자중에 의한 침하가 어느 정도 예상되나 그 이후 암반 지반의 경우는 내부 굴착과 침하축진공법이 병행되어야 침하가 가능할 것으로 예상된다.

Table 2 Results of the SPTs at SAT.2+307.6

심도(m)	지층	지층특성	N 치
0~16.2	점토	- 실트질 점토(CL) - 습윤내지 포화상태 - 매우연약하며 암회색	0~4
16.2~21.5	사질토	- 실트질 모래(SM) - 습한상태 및 회갈색 - 보통조밀 내지 조밀함 - 1m정도의 점토층이 협재	11~37
21.5~22.8	풍화암	- 기반암의 풍화대로서 타격에 의해 실트질 모래 및 암편으로 분해됨 - 매우 조밀하며 녹갈색	50
22.8~31.8	연암	- 기반암이 각력질 응회암의 연암 - 심한풍화 또는 약간풍화상태 - 절리면 변색 및 토사충진 전반적인 파쇄발달	50이상
31.8~37	경암	- 기반암이 각력질 응회암의 경암 - 약간풍화 내지 신선암상태 - 절리면 매우 좁은간격 내지 보통간격	50이상

Table 3 Results of the SPTs at SAT.2+324.5

심도(m)	지층	지층특성	N 치
0~15.0	점토	- 실트질 점토(CL) - 암회색 - 습윤내지 포화상태 - 매우연약	0~1
15.0~22.3	사질토	- 실트질 모래(SM) - 암회색 - 습한상태 - 보통조밀 내지 조밀함	11~37
22.3~23.0	풍화암	- 기반암의 풍화대로서 타격에 의해 실트질 모래 및 암편으로 분해됨 - 청회색	50
23.0~25.4	연암	- 기반암이 각력질 응회암의 연암 - 심한풍화 또는 약간풍화상태 - 절리면 매우 좁은 간격 - 회갈색	50이상
25.4~28	경암	- 기반암이 각력질 응회암의 경암 - 약간풍화 내지 신선암상태 - 절리면 매우 좁은간격 - 회갈색	50이상

3.2 케이슨 제작 및 Air-porket 설치

그림 1은 케이슨 육상 제작 모습을 보여주는 것으로 PIER 4에 대한 케이슨 기초는 직경 16 m, 벽체두께 0.5 m, 높이 46.5 m, 자중 3,480 ton의 원형기초이다. 육상제작은 높이 36.5 m 무게 2,744 ton으로 제작하여 해상 거치 후 나머지 10 m는 해상에

서 제작되었다. 일반적으로 침설식 케이슨공법은 침하중 자체의 편기 및 경사, 주변마찰력에 의한 침하에 문제를 일으키는 경우가 빈번히 발생하며 이를 극복하기 위해서도 케이슨의 주변 마찰력을 경감시키는 공법인 air-jet공법을 사용하기 위해 케이슨 제작과정에서 air-pocket이 설치되었다.

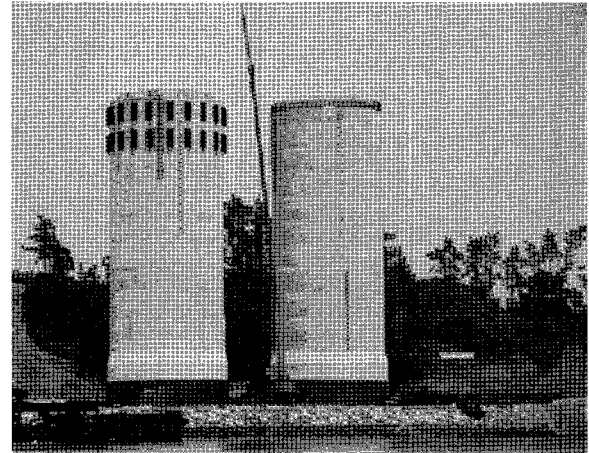


Fig. 1 PIER 4 caisson

그림 2, 그림 3에서 보는바와 같이 PIER 4의 케이슨 외벽면에 2m 간격으로 물과 압축공기를 분사할 수 있는 노즐을 설치하며 노즐의 입구에는 역류방지를 위해 check valve를 설치하여 외부로 부터 토사 및 물의 유입을 방지한다. 또한 종방향 rib를 설치하여 편기제어 및 air-jet 기능을 원활히 유도한다. 주변 토질조건의 변화에 따라 물 또는 압축공기를 분사하고 침설깊이에 따라 분사압을 조정함으로써 침설 시 주변마찰력을 최소화하고 또한 노즐의 위치를 4등분하여 각기 별도 분사가 가능하도록 함으로써 경사의 수정 및 편기의 제어를 유도 하도록 하였다.

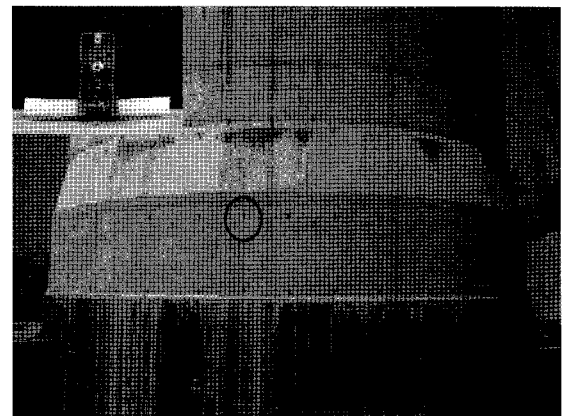


Fig. 2 PIER 4 caisson with air-jet pockets

분사압은 이론수압의 1.5~2.5배이며 분사량은 부담하는 주변 마찰력 1 m<sup>2</sup> 당 대기환산 0.01~0.05 m<sup>2</sup> 이고 노즐이 담당하는 면적은 1개당 1.0~3.0 m<sup>2</sup>를 기준으로 한다. 또한 air compressor는 소요 압축공기량을 약 20분 저장할 수 있는 용량

으로 여러 대를 준비하였다.

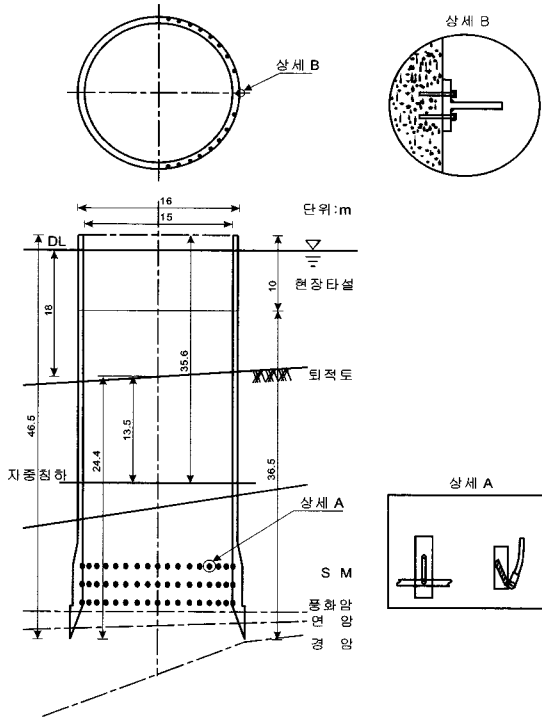


Fig. 3 Schematic view of the PIER 4 caisson and air-jet pockets

### 3.3 케이슨의 침하관리 계획

#### 1) 일반사항

일반적인 침설식 케이슨의 침하관리식은 식(1)을 사용하나 air-jet를 이용한 공법을 적용하는 경우에는 재하하중이 필요 없으므로 케이슨의 수중중량, 양압력, 주변마찰력, 선단저항력만을 적용하며 식(2)을 적용한다.

$$W_c > U + F + B \quad (2)$$

여기서  $W_c$  : 케이슨의 수중중량

$U$  : 이론기압에 의한 양압력

$F$  : 총 주변마찰력

$B$  : 선단부의 지지력

이 식을 바탕으로 케이슨의 침하 및 편기에 대해 검토 분석이 이루어졌다.

#### 2) 침하계측

제작된 케이슨은 3,200 ton 크레인선을 이용하여 예인 거치되었다(그림 4, 그림 5). 최종 침하 목표를 달성하기 위하여 자중 침하 외 강제 침하를 위해 앞 질에서 논한 바와 같이 air-jet 공법을 시행하고 깊이별, 일자별 계측내용과 침하량을 기록하였다(표 4). 케이슨 거치 직후 자중에 의해 9.25 m가 침하하였고 N치가 0~4인 연약점토층에서 주변마찰력으로 인한 침하가 더 이상 발생하지 않아 air-jet를 가동(1차 가동)하여 침하를 유도

하였다. 최초는 6기압으로 5분 분사하고, 그 후 침하의 정도에 따라 7기압 5분, 8기압 10분, 9기압 10분, 10기압 30분을 분사하여 약 4.83 m 침하효과를 얻었다. 2차 가동도 1차가동과 유사한 방법으로 시행하여 약 83 cm가 침하하여 총 14.91 m가 침하하였다. 이후 10 m의 케이슨 구체를 해상에서 제작 하였으며 자중의 증가로 인한 침하가 약 2.13 m 추가로 발생하였다. 이때 굴착심도는 19.7 m 였다. 3차 air-jet 가동은 12.5기압으로 90분 시행하여 약 50 cm 침하하였고, 그 후 내부 발파 굴착을 하여 5.2 m를 침하시켰다. 4차 air-jet에서는 12.5기압으로 60분 가동하였으나 거의 침하가 발생하지 않았고 5차 air-jet 가동을 11 기압으로 30분 가동하였으며 약 50 cm의 최종 침하가 발생하여 전체 침하량은 24.62 m가 발생하였다. 거치심도의 목표치 24.7 m에 도달하여 거치를 완료하였다.

Table 4 Settlement of the PIER 4 caisson

구분	날짜	자중 침하 (m)	air-jet 사용침하			전체 침하 (m)	비고
			공기압 (kg/cm <sup>2</sup> )	가동 시간 (분)	침하 (m)		
거치	07. 7. 9	9.25	-	-	-	9.25	자중 2,744톤
1차가동 (air-jet)	11. 9		6	5	0.1	9.35	
			7	5	0.35	9.70	
			8	10	4.21	13.91	
			9	10	0.17	14.08	
			10	30	-	14.08	
2차가동 (air-jet)	12. 11		6	10	-	14.08	
			7	10	0.65	14.73	
			8	15	0.18	14.91	
			9	15	-	14.91	
			10	15	-	14.91	
콘크리트 구체 3차 타설 (내부굴착)	08. 1. 30	1.53				16.44	굴착심도 16.9
	2. 25	1.32				18.54	
	3. 7	0.81				19.35	굴착심도 19.7
3차가동 (air-jet)	3. 8		12.5	30	0	19.35	굴착심도 20.1
	3. 9		12.5	30	0.50	19.85	
	3. 10		12.5	30	0.03	19.88	굴착심도 20.8
발파굴착	3.10*6.19	5.2				24.2	
4차가동	6. 20		12.5	60	0.05	24.2	굴착심도 24.5
5차가동	6. 27		11	30	0.5	24.7	거치심도 24.7



Fig. 4 Moving of the PIER 4 with crane

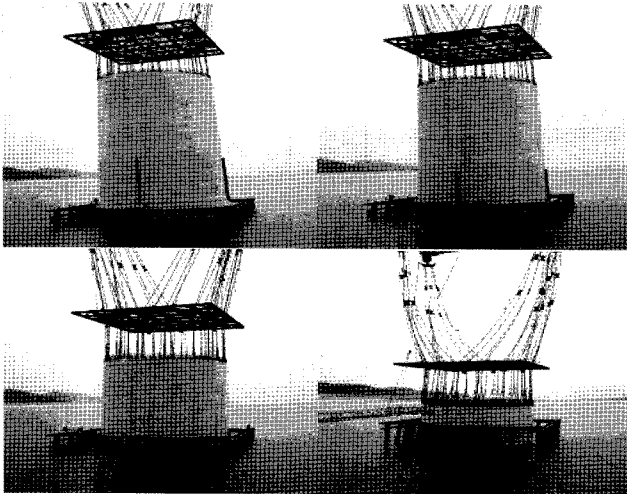


Fig. 5 Placing of the PIER 4 caisson

#### 4. air-jet를 케이슨 침설

##### 4.1 케이슨 침설에서 air-jet의 역할

그림 6은 깊이에 따른 침하력과 침하저항력과의 관계를 나타낸 것이다. 침하력으로 작용되는 것은 케이슨의 수중 중량이며, 침하저항력으로 작용하는 것은 부력, 주면마찰력, 선단부 지지력 등으로 이들 3개 저항력의 합이 총 침하저항력으로 작용된다. 각 침하저항력의 산정은 다음과 같이 이루어졌다. 부력은 물속에 들어가는 케이슨의 체적을 고려하여 산정되었으며, 케이슨 침하과정에서 케이슨과 흙의 전단저항력인 주면마찰력은 채취된 시료에 대한 시험 결과 값이 내부마찰각, 점착력, 단위중량을 이용하여 산정되었다. 선단부 지지력은 SPT시험치인 N 값을 이용하여 산정된 선단저항력을 이용하여 산정되었다.

그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 케이슨 침설이 발생하려면 침하저항력의 감소가 필요한데 내부 굴착과 air-jet에 의해 침하저항력이 상당히 감소되어 케이슨이 침설이 이루어졌음을 알 수 있다. 이는 침하축진공법으로 사용된 air-jet 공법이 효과적으로 적용이 되었음을 보여 준다.

Air-jet공법의 또 다른 효과는 케이슨 기초의 편기 보정인데, 그림 7과 같이 케이슨을 최초 거치하였을 때 자중침하와 더불어 편기가 발생하였다. 목포-중도 방향으로 2°31' 19" (경사로 H=0.76, L=17.2)으로 발생하였다. 더불어 이를 수정하고자 air-jet를 4방향으로 각기 독립하여 분사하도록 되어있어 적절히 조정하여 편기를 수정토록 하였다. 표 5에서처럼 air-jet 1차 가동시에 6기압에서 10기압까지 1시간동안 4방향을 동시 가동하여 1°41' 14" (경사로 H=0.51, L=17.2)로 0°50' 05"를 편기 보정하였다. 약 4개월 방치 한 후 2차 가동은 6기압과 7기압에서 각 10분씩 4방향 동시 가동하고 8기압에서 15분가량 중도-목포방향은 6기압, 사옥-임자 방향은 8기압을 가한 후 9기압에서 15분간 4방향 동시 가동하고 그 후 10기압에서 15분간 사옥-임자방향 10기압 중도-목포방향으로는 6기압으로 감압하여 0°54' 53"

의 보정효과로 편기각이 0°46' 21" (경사로 H=0.23, L=17.2)로 수정되었다. 그 후 약 50일 지난 후 콘크리트를 10 m 타설하여 케이슨 기초를 현장 제작하였다. 그 무게는 약 730톤이 되었으며 제작과 동시에 기초 지반의 내부굴착을 하자 사옥-목포 방향으로 0°28' (경사로 H=0.41, L=17.2) 편기하고 다시 임자-사옥 방향으로 1°21" (경사로 H=0.41, L=17.2) 편기하여 최초의 편기에 비해 정반대 방향으로 기울었다. 3차 가동으로 임자-사옥 방향으로 12.5기압씩 3일간 30분씩 가동하였으나 편기수정이 되지 않았다. 굴착심도 21 m에서는 발과 굴착을 하여 침하를 유도하였으며 4차, 5차 가동을 12.5기압, 11기압씩 시행하여 0°37' 까지 수정하여 굴착심도 24.7m에서 거치 완료하였다 (그림 8).

##### 4.2 air-jet 사용 효율 및 주의 사항

본 연구를 통해 얻은 효율적인 air-jet 적용을 위한 몇 가지 사항을 정리하면 다음과 같다.

Silt층 이하에서는 air-jet를 2m' 이하마다 1개소 이상 설치하고 지그재그 형태로 3단계 높이 이상으로 설치하고 air-jet nozzle의 check valve를 60°이상 상향 설치해야 효율적인 것으로 나타났다. 공기압은 심도별 1.5배 이상 가압 시 효율은 50% 이상 주면마찰력 감소 효과가 나타나며 2.0배 이상 가압 시 급속침하가 발생되므로 순차적 가압이 필요하다. 따라서, 경제성, 안정성, 시공성등을 고려할 때 공기압은 심도에 따라 1.5배 보다는 크고 2.0배 보다는 작은 범위내로 시작하는 것이 좋은 것으로 나타났다. air-jet 가동시 지반의 불균일성으로 인해 급속침하에 의한 케이슨의 손상이나 편기의 우려가 있으며, air-jet의 가동이 오랫동안 중단되면 air-jet통기면에 따라 thixotropy현상이 발생하고 이때 케이슨의 내외부의 수위차에 따라 보일링 또는 파이핑이 발생 할 수 있으므로 이점에 주의가 요구된다.

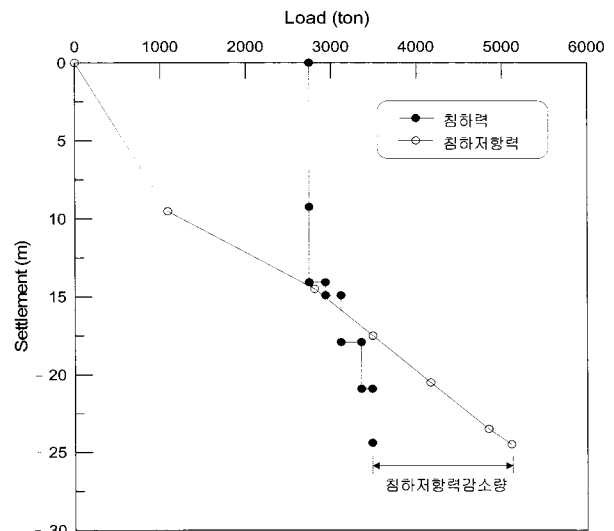


Fig. 6 Relationship between load and settlement of the PIER 4 caisson

Table 5 Corrected settlement after fixing the uneven settlement of the PIER 4 caisson using air-jet method

구분	날짜	공기 압	가동 시간	편기 보정		비고
				발생유무 (경사로 H/L)	제어방법	
거치	07. 7. 9			목표-중도방향		자중 27.44톤
				2°31'19"		
				(0.76/17.2)	Guide Frame	
1차가동	11. 9	6	5		4방향 동시가능	
	11. 9	7	5			
	11. 9	8	10			
	11. 9	9	10			
	11. 9	10	30	목표-중도방향 1°41'14" (0.51/17.2)		보정 0°50'05"
2차가동	12. 11	6	10			
		7	10			
		8	15	목표-중도 방향 6기압 사옥-임자 방향 8기압		
		9	15		4방향 같은기압	
		10	15	목표-중도방향 0°46'21" (0.23/17.2)	사옥-임자 방향 10기압 중도-목표 방향 6기압	보정량 0°54'53"
구체 콘크리트 타설	08. 1. 30			중도-목표 방향 0°27'0" (0.11/17.2)		자중 730톤
내부굴착	2. 25			중도-목표 방향 0°28'0" (0.14/17.2)		
내부굴착	3. 7			임자-사옥 방향 1°21'0" (0.41/17.2)		
3차가동	3.8~3.10	125	3일간 30분			
발파굴착	3.11~6.19					
4차가동	6. 20	125	60	임자-사옥방향 0°49' (0.24/17.2)	사옥-임자방향 1 2.5기압 임자-중도방향 1 2.5기압	
5차가동	6. 27	11	30	사옥-임자방향 11기압 임자-중도방향 20기압		최종거치완료



Fig. 7 Uneven settlement after placing the PIER 4 caisson

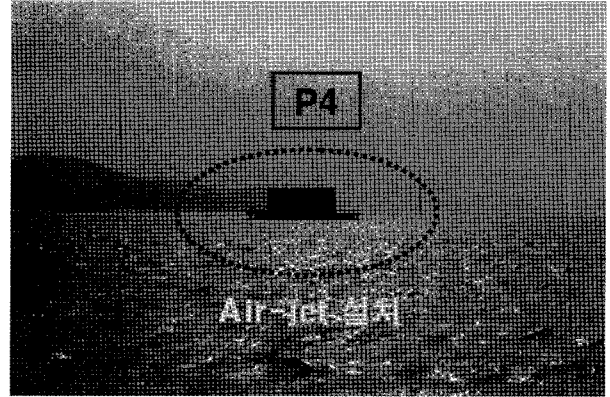


Fig. 8 Corrected settlement using air-jet method in the PIER 4 caisson

## 5. 결 론

본 연구는 사옥-중도간 연육교 가설공사 구간의 교량기초로 채용된 PIER 4의 오픈 케이슨 기초를 연구대상으로 선정하여 케이슨 침하를 촉진시키기 위한 공법 중 air-jet공법 효과를 연구한 것으로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) air-jet공법을 적용한 결과 예상보다 케이슨의 외주면의 주면마찰력을 크게 감소시켜 결국 침하하중이 저항력 보다 크게 되어 부가 재하중의 필요 없이 케이슨의 자중만으로 침하가 가능한 것으로 나타나고 있다.

(2) SPT시험 결과 N치 0~4인 연약점토층 9.25m까지는 케이슨의 자중에 의한 침하가 이루어졌고 그 이상의 침하는 내부 굴착과 Air-jet을 병행해야만 추가 침설이 가능하였다.

(3) Silt층 이하에서는 air-jet를 2m 이하마다 1개소 이상 설치하고 지그재그 형태로 3단계 높이 이상 설치하고, air-jet nozzle의 check valve를 60°이상 상향 설치해야 효율적이고, 경제성, 안정성, 시공성 등을 고려할 때 공기압은 심도에 따라 1.5배 보다는 크고 2.0배 보다는 작은 범위내로 시작하는 것이 좋은 것으로 나타났다.

## 후 기

본 연구는 2009년도 원광대학교의 교비지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박진원, 류제천, 임희대 (2003), "오픈케이슨의 침하촉진을 위한 air-jet 공법의 적용성 분석", Journal of the Research Institute of Industrial Technology, Vol. 18, No. 2, pp. 17-25
- [2] 배향오 (2000), "압밀촉진 케이슨기초 공법 연구", 국민대학교 대학원 석사학위논문.
- [3] 한진태, 김성렬, 김명모 (2003), "진동대 실험을 이용한 우물

통기초 케이슨 안벽의 내진성능 평가”, 대한토목학회 2003  
년도 정기 학술대회 논문집, pp. 4138-4143.

- [4] Bowles, J.E. (1988), "Foundation Analysis and Design", McGraw-Hill Book Co., New York, Chap. 1,3 and 16.
- [5] Burland, J.B.(1973), "Shaft friction piles in clay-A simple fundamental approach", Ground Engineering, Vol.6, No.3, pp.30-42.
- [6] Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967), "Soil Mechanics in Engineering Practice", John, Wiley, New York, 2nd. ed. pp.371.
- [7] Whitaker, T. and Cooke, R.W. (1996), "An Investigation of the Shaft and Base Resistance of Large Bored Piles in London Clay", Proceedings, Conference on Large Bored Piles, Institute of Civil Engineers, London, pp. 7-49.

---

원고접수일 : 2009년 2월 18일

심사완료일 : 2009년 4월 17일

원고채택일 : 2009년 4월 20일