

## 에멀전폭약을 사용한 수중발파사례

안봉도<sup>1)</sup> · 이익주<sup>1)</sup> · 허태문<sup>1)</sup>

### 1. 서론

국내에서 주로 실시하는 수중발파의 경우 다리 교각 건설을 위해 실시되는 우물통 발파와 항만 중심 준설 또는 가스 관로 개설을 위한 굴착에 적용되고 있으며, 다이나마이트(NG계 폭약)가 주로 사용되어 왔다. 본 사례는 8,500TEU급 초대형 컨테이너 선박의 입항 가능성에 대비, 선박의 안전 운항을 위한 부산 신항 중심 공사에서 에멀전 폭약과 비전기뇌관을 사용하여 굴착 현장에 근접하여 위치한 무인등대 등에 대한 피해를 최소화 하면서 주변의 환경성 및 진동의 영향을 고려하여 수중발파 실시한 시공 사례를 소개하고자 한다.

### 2. 공사개요 및 주변현황

#### 2.1 공사개요

- (1) 공 사 명 : 부산 신항 중심 공사
- (2) 시 공 사 : 00물산 주식회사
- (3) 협력회사 : 00개발 주식회사
- (4) 위 치 : 경남 진해시 안골동 토도 해상
- (5) 압 량 : 65,000m<sup>3</sup>

#### 2.2 지질 및 주변현황

##### 지질

당 현장의 해저암반의 노출상태를 육안으로 확인한 결과 연암층까지는 해류에 의하여 완전히 깎여 나가고 경암이 노출된 상태이다. 당 현장의 구성암석은 화강암의 일종인 화강 섬록암으로서 흑운모와 각섬석을 포함한다. 일축압축강도는 1,600kg/cm<sup>2</sup>으로 경암에 속한다.

##### 주변 현황

굴착에 따른 주변 현황은 무인등대가 주요보안 물건으로 위치하고 있으며 수중 굴착 최단

---

1) (주)고려노벨화약

거리는 40m, 최대거리는 150m로 이에 따른 진동의 문제로 인하여 비전기뇌관을 사용하여 최대 20지발까지 사용 발파하였다. 현장의 주변 보안물건의 상태는 그림 1과 같다.

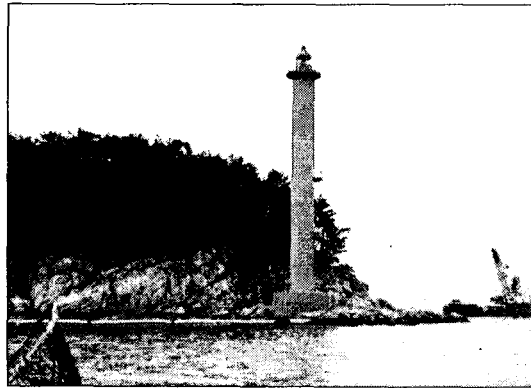


그림 1. 무인등대

### 3. 수중발파

#### 3.1 개요

수중발파란 일부 또는 전체가 물에 덮인 상태의 암반에 대하여 실시하는 발파이다. 수중 발파는 그 특수성으로 인하여 다양한 경로 및 획기적인 기술발전이 상당히 어려운 한계가 있다. 그 이유는 수중에서의 열악한 환경에서 기인하기도 하며 발파 후 발파결과의 평가에도 정확성을 기하기가 어렵기 때문이다. 또한 천공, 장약 등의 작업이 수중에서 이루어지고 잠수부에 의존하게 되므로 다양한 조건에서의 시험이 어렵다. 수중발파작업은 같은 작업이라도 신중하고 치밀한 계획이 필요하다. 수중발파를 성공시키려면 다음과 같은 것을 고려할 필요가 있다.

- (1) 천공경의 선택
- (2) 장약방식
- (3) 강한폭력과 내수성이 좋은 폭약
- (4) 안전하고 신뢰성 있는 기폭시스템

#### 3.2 공법 선정

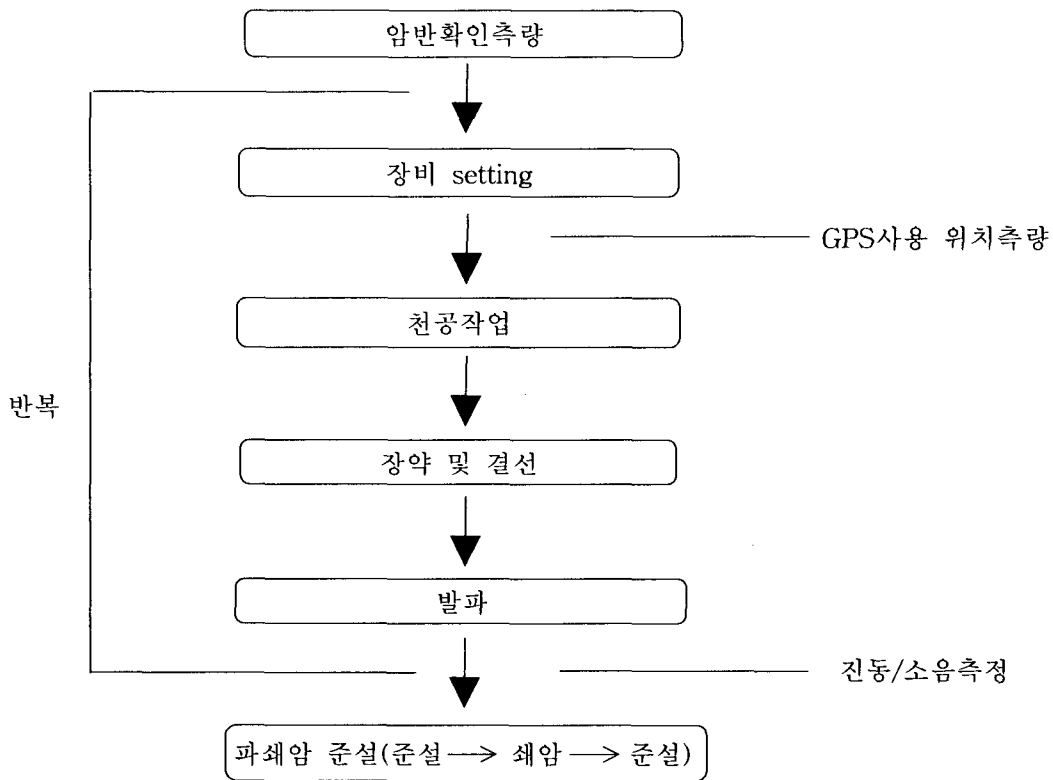
수중발파방법에는 2가지로 구분된다. 천공발파(Drill and Blast Method)와 수중부착방법(Dobing Method)이 있으며, 발파방법 선정 시에는 다음과 같은 것을 고려할 필요가 있다.

- (1) 천공조건

- (2) 장비능률
- (3) 조석과 해류
- (4) 수심
- (5) 작업규모
- (6) 주변현황

국내의 수중발파방법은 대부분 천공발파방법이고 본 사례에서도 동일한 방법을 사용하였다.

### 3.3 작업과정



## 4. 시공 사례

### 4.1 천공

수중발파방법 중 천공발파방법은 바지선을 이용한 천공과, 자양식 플랫폼(SEP)에서의 천공방법이 있으나 일반적으로 바지선을 앵커로 고정하여 천공하는 방식을 많이 사용하며 본 사례에서도 이 방식을 사용하여 천공을 실시하였다. 천공위치선정은 GPS를 이용하여 수중 암반의 천공위치를 결정하게 되며 천공장비는 초반기에는 일반 유압드릴을 사용하여 89mm로 천공을 실시하였으나, 발파공의 막힘 현상이 많았고, 장비의 작업 효율성 등의 이유로

T-4천공장비로 변경하여 150mm천공을 실시하였다.

GPS측정 자료	천공장비	천공장면
		

#### 4.2 폭약의 선정

수중발파에 적용 가능 폭약은 다이ना마이트와 에멀전계 폭약이 있다. 일반적으로 수중발파용 폭약을 선정하기 위해서는 다음과 같은 특성을 가지고 있어야 한다.

- (1) 밀도 : 밀도는 1.2이상이어야 한다.
- (2) 폭속 : 폭속은 5,500m/s 이상이어야 한다.
- (3) 내수성 : 매우 우수하여야 한다.
- (4) 취급성이 좋고 사압에 강한 폭약이어야 한다.

본 연구대상 현장에서는 섬에 위치한 등대의 보호와 주변 바다의 환경성을 고려하여 에멀전계폭약인 New emulite 200제품을 선택하였다. 선택된 New emulite 200제품은 밀도가 1.25, 폭속이 5,900m/s, 내수성이 매우 우수한 고성능의 에멀전계 폭약으로 약경 50mm, 65mm의 제품을 사용하였으며, 사압등을 방지하기 위하여 기존의 예감제보다 임계압력이 4 배이상 높은 예감제를 사용하였다.

#### 4.3 기폭시스템의 선정

수중발파에서는 안전하고 신뢰성 있는 기폭시스템을 사용하지 않으면 안된다. 수중발파에서 물은 전기의 도체이며, 누전의 위험성이 있다. 따라서 본 현장은 누전의 위험성이 전혀 없고 결선 작업이 신속하고 용이한 비전기식 시스템인 Nonel system을 사용하였다. 공내에는 Nonel MS 3~20, 결선작업에는 Bunch connector 0, 17을 사용하였다.

#### 4.4 장약준비작업

수중의 발파공에 장약을 위하여 사전에 바지선에서 장약 준비작업을 실시하였으며, 이때 천공경보다 작은 PVC pipe나, 방수용 비닐 등에 65mm 에멀전 폭약 3본을 1set로 하여 방수

용 비닐에 2set를 장약하고 기폭용 뇌관은 2개를 사용하였다. 진동 및 소음의 감소를 위하여 현장에서 선정된 겔(gel)을 동시에 사용하였다.



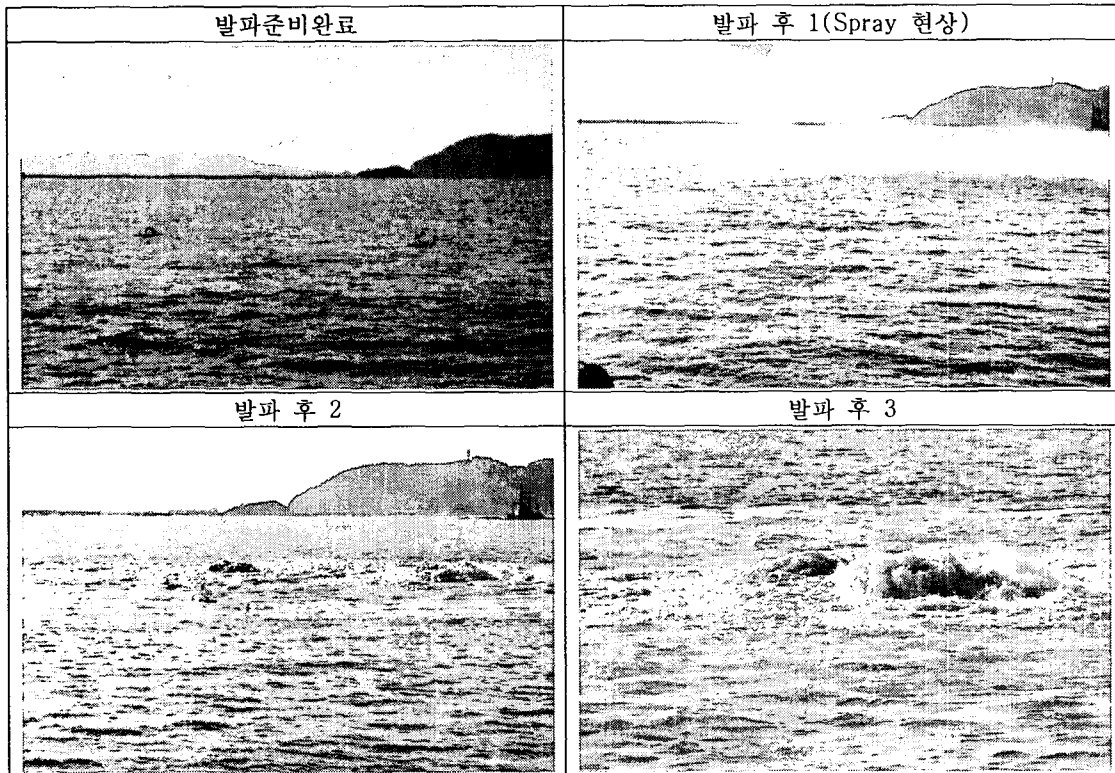
#### 4.5 장약 및 결선과정

장약 준비작업이 완료되면 전문 잠수부를 이용하여 바지선에서 준비된 폭약을 이미 천공된 장약공에 장약을 실시한다. 수중발파에서는 수심이 깊으면 전색을 실시하지 않는 경우도 있으나 본 현장에서는 발파효율, 인접공의 영향 등의 이유로 전색을 철저히 실시하였으며, 전색물로는 13mm골재를 사용하여 천공 깊이에 따라 2.5~3.5(m)정도 전색을 실시하였다. 장전 완료된 공의 비전기 뇌관 튜브는 수심보다도 최소 10m정도 여유가 있게끔 하여 바지선에서 번치커넥터를 사용하여 결선작업을 한다. 결선작업은 수중발파작업의 특성상 상당히 중요한 과정으로 cut-off를 방지하기 위한 조치를 확실히 하여야 하며, 커넥터의 소음을 방지하기 위하여 장갑 등으로 밀봉을 하였고, 비전기튜브의 불폭을 방지하기 위해 사전에 제작한 부표를 이용해 물위에서 기폭시켰다.



#### 4.6 바지선 이동 및 발파

결선작업이 완료된 후 발파를 위하여 바지선을 안전구역으로 이동시킨다. 이때에는 바다 위의 결선장치 등을 유심히 살펴보면서 바지선에서 조절하여야 한다. 발파 전에 안전조치와 계측기 설치를 확인한 후 발파를 실시한다. 발파실시 후 수면위의 번치 컨넥터의 불발유무를 우선 확인한다.



#### 4.7 발파패턴 및 진동계측

발파패턴	패턴 1		패턴 2	
	천공경(mm)	75	150	
장약경(mm)	50	130		
천공장(m)	4.0	6.5	8.0	10.0
공간격(m)	1.2×1.2	3.0×3.0	3.0×3.0	3.0×3.0
공당장약량(kg/hole)	5.0	36	54	78
지발당장약량(kg/delay)	60	36	54	78
총 장약량(kg/round)	240	282	810	420
비장약량(kg/m <sup>3</sup> )	0.87	0.62	0.75	0.87

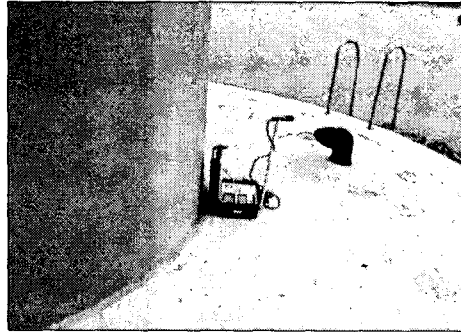


그림 2. 무인등대 계측 모습

#### 4.8 발파 후 파쇄암 처리

수중발파의 결과 확인은 발파 후 부유물 등으로 인하여 시야가 확보되지 않으므로 하루 정도 지난 후에 잠수부를 투입하여 직접 확인이 가능하다. 또한 GPS를 이용하여 수심을 체크하고 암반의 중심 정도를 판단하고, 목적하는 수심이 나오지 않았을 경우 쇄암봉을 사용하여 2차 파쇄를 실시한다. 일반적으로 수중발파에서는 발파 작업 후 쇄암장비를 사용하여 2차 파쇄를 실시하여 수심을 확보한다. 파쇄된 암석은 대형 그라브(8.0m')를 사용하여 준설하며 바지선을 사용하여 운송한다.

발파 후 확인	쇄암장비	파쇄암 준설

#### 5. 수중발파 결과 분석

- (1) 천공경의 선택은 현장 여건에 따라 달라질 수 있으나 본 사례에서는 작업의 효율성 및 천공상태의 유지, 발파의 효과 등을 고려하여 150mm의 천공경 선택한다.
- (2) 전색을 최소 2m이상 반드시 실시한다.
- (3) 기폭시스템은 전기뇌관 보다는 비전기식 뇌관을 사용하는 것이 안전하고 성공적인 수중발파를 기대할 수 있다.
- (4) 최소한 2개 이상의 기폭용 뇌관을 사용하여야 하며, 기폭용 폭약의 위치는 역기폭

와 중간기폭으로 동시에 실시한다.

- (5) 장약이 완료된 비전기 튜브를 바지선에서 번치커넥터를 사용하여 결선을 마무리하고 부표를 사용하여 바다위에 내린다.
- (6) 발파 후 부표위의 커넥터 불발유무 확인 후 불발이 없으면 차후 작업을 위하여 파쇄석 처리한 후 GPS사용하여 수심의 증감을 확인한다.

## 6. 결 론

상기와 같이 부산 신항 증심 공사에서 에멀전 폭약과 비전기뇌관을 사용하여 수중발파를 시공하는 일련의 과정들을 소개하였다. 본 사례의 경우처럼 인접한 무인등대에 영향을 최소화 하면서 15-20(m) 깊이의 수심에서도 에멀전 폭약과 비전기뇌관을 사용하여 안전하고 환경적으로 수중발파를 공사를 수행할 수 있음을 입증하였다.

## 참고문헌

1. Olofsson, S.G., Applied explosives Technology for construction and mining, pp. 278-293.
2. ISEE, Blasters' Handbook 17th Edition, pp. 473-478.
3. 청암엔지니어링 기술사 사무소, 토도 암파쇄 및 준설공사 시험발파보고서.
4. 기경철, 김일중, 産學人을 위한 발파공학, 동화기술, pp. 181-193.
5. 원기술, 새로운 발파기술, pp. 295-311.