

수중발파 사례 연구

정 민수, 박 종호, 송 영석¹⁾

A Case Study of Underwater Blasting

Min-Su Jeung, Jong-Ho Park and Young-Suck Song

ABSTRACT. There are two major types of underwater blasting at Korea, bridges and harbor construction work. Pier blasting for lay the foundation bridges construction is used dry excavation working (drilling and charging) after pump out water and then fire pump in water that is same as bench blasting. In contrast, underwater blasting for harbor construction and increase of harbor load depth is used to barge with digging equipment that is in order to drilling on the surface and blasting work(charge, hook-up) under water. Thus, there are need to special concern such as charge method and hook-up method different from tunnel blasting work and bench blasting work. If do not use special concern breaks out dead pressure and mis fire because of there are so many difficult condition such as water pressure, obstruct field of vision. In this study underwater blasting at Busan Harbor Construction have consider with special concern that is plastic pipe charge method used to MegaMITE I and specialized buoy hook-up method make for initial system detonate on the surface used to TLD. The results is designed blast pattern charge per delay effect an inspection of verify between predict velocity and measure velocity. minimized break out mis fire consideration charge method, hook up method. According to result best underwater blasting design is 105mm drilling dia, MeGAMITE II, HiNLL Plus(non electric detonator)

Key words : underwater blasting, pipe charge, specialized buoy hook-up method,

초 록. 국내에서 적용되는 수중발파는 교량의 기초를 위한 수중 우물통 발파와 항만의 수로 중심 또는 준설을 위하여 적용되고 있다. 그 중 교각의 기초를 위한 우물통 발파는 우물통내 물을 인위적으로 배수시켜 건조한 상태에서의 천공과 장약을 실시한 후 물을 다시 채운 후 수중에서의 발파를 수행하고 있어 전체적인 작업이 일반 노천발파와 동일하다 할수 있다. 그러나 항만의 수로 중심과 준설을 위한 수중 발파는 수중 천공이 가능하도록 고안된 바지선을 이용하여 수중에서 천공과 장약 발파 작업이 이루어지는 특수성을 가지고 있다. 따라서 일반 터널이나 벤치발파와는 다르게 장약의 방법과 결선의 방법에 주의를 기울이지 않으면 수압에 의한 사압 등 어려운 조건하에서 불발이 야기될 수 있다. 본 사례연구는 국내 부산항 중심 준설공사에서 수중발파의 특수성을 고려하여 다이내마이트(메가마이트 I)를 이용한 수중 발파의 장약량 선정과 파이프를 이용한 장약의 방법, 그리고 TLD를 이용한 기폭시스템이 수면위에서 기폭 될 수 있도록 부이를 이용한 결선방법을 적용하여 수중발파를 실시하고 사례별 결과를 비교하였다. 그 결과, 수중발파 장약량 설계에 따른 지발당장약량에 따른 진동의 예측과 실 계측을 통하여 예측 진동식의 타당성을 검증하였으며, 장약의 방법과 결선방법에 따라 발생할 수 있는 불발을 최소화 시킬 수 있을 것이다. 따라서, 최적발파 효과와 안전한 발파를 수행하기 위하여, 천공경은 150mm이상, 화약은 고성능 수중 다이내마이트(메가마이트 II), 그리고 뇌관은 비전기뇌관을 적용하는 것이 가장 유리할 것으로 판단된다.

핵심어 : 수중발파, 파이프 장약, 부이를 이용한 기폭시스템

1. 서 론

수중발파는 그 특수성으로 인하여 다양한 경로

의 기술발전이 어려운 한계를 가지고 있다. 그 이유는 수중에서의 열악한 작업환경에서 기인하기도 하며 발파 후 발파결과의 평가에도 정확성을 기하기가 어렵기 때문일 것이다. 일례로 교량 등의 기초를 설치하기 위한 우물통 발파에서는 발파 준

1) (주)한화
접수일 : 2004년 9월 13일

비작업(천공/장약 등)이 일반의 노천발파와 동일하며 발파후의 결과를 확인하기도 용이하여 다양한 발파패턴의 적용이 가능하나 항만의 준설이나 증심을 위한 발파에서는 천공장약 등이 수중에서 이루어지고 장약 또한 잠수부에 의존하므로 다양한 조건의 시험 등이 어려운 것이다. 본 연구에서는 부산항증심공사의 일환으로 시행된 수중발파(Underwater Blasting)에서 장약의 방법과 결선법에 의하여 발생할 가능성이 있는 불발(Missfire)을 최소화 할 수 있도록 다양한 기법을 사용하여 시험을 실시하였고 그 적용의 타당성을 검증하였다.

2. 수중 발파(Underwater blasting)

2.1 천공(Drilling)

천공장비는 조류와 발파 규모에 따라 작업 능률을 최대로 할 수 있는 장비를 선정하여야 한다. 장비의 종류로는 그림 1과 같이 선박을 이용한 방법과 S.E.P barge를 이용한 방법이 있다

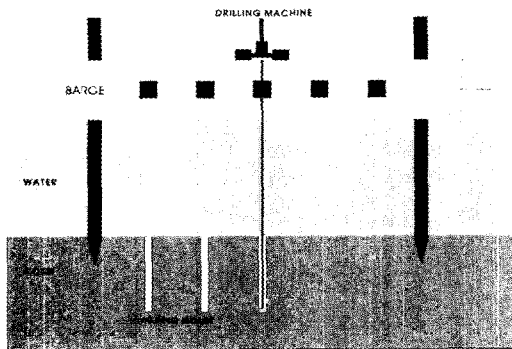


그림 1. Drilling by SEP Barge

2.2 장약(Charging)

장약방법은 일반적으로 드릴스틸을 제거하고 플라스틱 내지 알루미늄 CASE에 약포를 제작한 후 발파공에 장약하는 방법으로 잠수부에 의한 장전을 실시한다. 이때 메지는 수심에 따른 수압에 의해 자연 전색이 될 수 있으나, 수중 작업 시 장약 손실발생을 방지하기 위하여 그림 2와 같이 플라스틱 파이프 내부에 전색을 실시하는 것이 좋다.

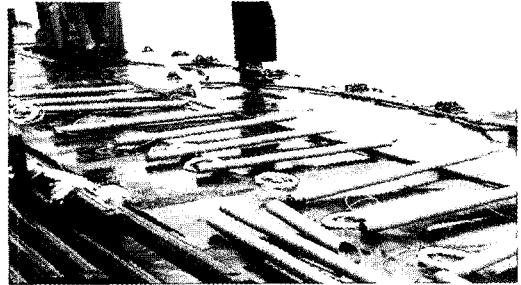


그림 2. Charge explosive sets

2.3 결선(Hook-up)

뇌관은 직병렬 결선 방법으로 연결할 수 있으며, MS뇌관, LP뇌관 시리즈의 전기뇌관이나 비전기식 뇌관을 이용할 경우에는, 각선 길이가 긴 뇌관을 이용하여 물 위에서 연결하는 방법으로 물 위로 부표를 띄어 수면위에서 그림 3과 같이 결선작업을 해야 한다. 도폭선 기폭은 절단이나 흡습, 연결뇌관의 사압, Bunch connector의 꼬임 현상 등을 주의해야 한다.

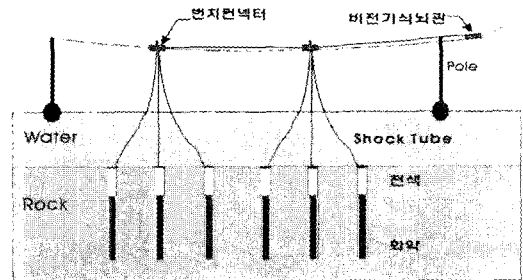


그림 3. Hook-up System

3. 시험 발파 현황

3.1 암반 특성

당 현장의 암반은 그림 4와 같이 화강 섬록암으로 시추탐사에 의한 결과는 전체적으로 상당한 수준의 경암이 분포한다. 화강섬록암은 화강암의 일종으로 사장석을 칼리장석 보다 훨씬 더 많이 포함하여 협의의 화강암보다 석영의 함유량이 적고 유색광물로 흑운모와 각섬석을 포함한다. 암석의 물리적 특성은 표 1과 같다.

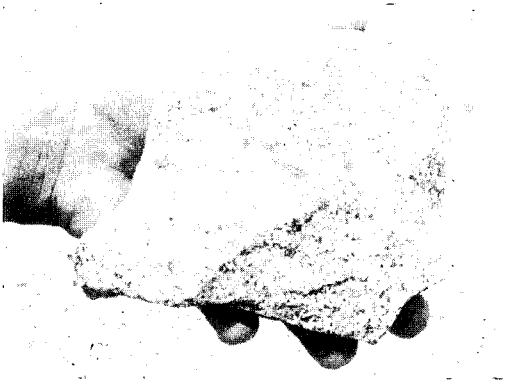


그림 4. Rock Type

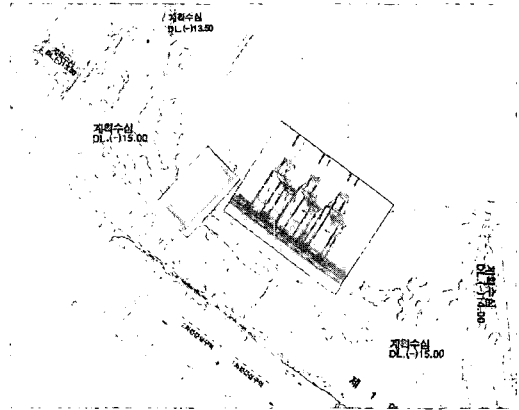


그림 5. Blasting Area

표 1. Rock Properties

비중(t/m^3)	일축압축강도 (kg/cm^2)	탄성파속도 (m/sec)
2.686	1,897	4930
탄성계수 ($105 \times kg/cm^2$)	프와송비	공극률(%)
4,016	0.339	0.35

3.2 공사 진행 현황

현지암반의 현황을 보면 DL의 하부 12m에서부터 기반암이 존재하며 점토의 길이는 0.9m ~ 1.1m로 쌓여있다. 이에 따른 굴착 심도는 2.0 ~ 3.0m를 기준으로 하여 선정을 하며, 천공 후 점토가 천공구내로 입수되는 것을 방지하는 방법으로 천공보호 파이프를 사용하고 있다. 수중 굴착부의 주변은 그림 5와 같으며 감만 두부와 등대가 주요 보안물건으로 위치하고 있으며 수중굴착 최단거리는 147m이고 최대 거리는 574m, 보안물건의 구조는 콘크리트 구조물로 되어 있다.

3.3 시험 발파 계획(발파 설계)

발파패턴 설계조건은 수심, 발파공경, 화약의 종류에 따른 밀도, 굴착심도가 필요조건이며 이 중 변경 가능한 설계조건은 화약의 종류와 발파공경이

며, 발파공경을 $\phi 89mm$ 와 $\phi 102mm$ 로 화약의 종류를 메가마이트 I (M-I)과 메가마이트 II (M-II)로 구분하여 표 2와 같이 4가지 Case로 설계하였다.

표 2. Condition of blasting design(4 TYPE)

CASE	A	B	C	D
수심 (m)	15	←	←	←
발파공경 (mm)	89	89	150	150
화약종류	M-I	M-II	M-I	M-II
장전밀도 (g/cm^3)	0.5	0.55	0.35	0.4
암석밀도 (g/cm^3)	2.65	←	←	←
벤치높이 (m)	2	←	←	←

위 4가지 유형별 발파설계를 표 3과 같이 설계하여 시험발파를 실시하고 그 결과를 비교하고자 하였으며 천공, 결선 패턴도와 장약 단면도는 그림 6, 7 과 같이 적용하였다.

표 3. Test blasting pattern(4 TYPE)

CASE	A	B	C	D
He	7.66	←	←	←
가비장약량 (kg/m)	1.266	1.036	0.959	0.883
장약밀도	0.981	1.079	1.545	1.766
파쇄단면적	0.77	1.04	1.61	2.00
저항선/ 공간격	0.88	1.02	0.16	1.41
보조천공	0.79	0.40	0.50	0.07
암석체적	1.754	2.225	3.493	4.047
장약량	2.22	2.07	3.35	3.21
장약장	2.26	1.92	2.16	1.82
천공장	2.79	2.40	2.50	2.07
베지길이	0.52	0.48	0.33	0.24
실비장약량	1.27	1.04	0.96	0.88

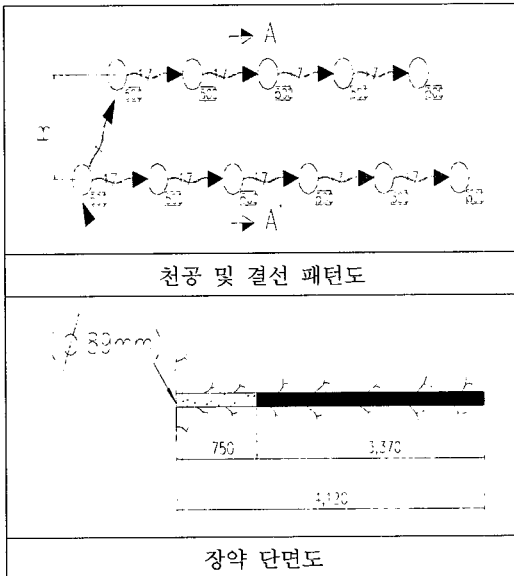


그림 6. Case A,B (Blasting Design)

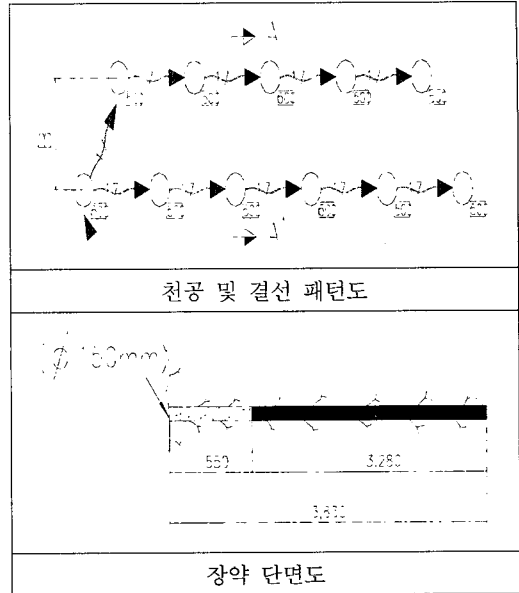


그림 6. Case C,D (Blasting Design)

3.4 시험 발파 진행

수중발파 설계 후 각 Case에 따른 시험발파를 2004년 6월 7일부터 14일까지 실시하였고 바지선 위 전폭약포 제작부터 결선 발파 까지 작업 순서별로 분석하여 검토를 실시하였다.

(1) 발파 작업전 준비 사항

수중발파 시 사전 준비되어야 할 사항은 천공 장비, 천공보호 파이프, 폭약 및 뇌관, 장전 파이프, 방수 테이프, 방수제, 가장 중요한 수면 연결용 부표 등이 필요하며 이에 따른 기자재는 표 3.4와 같다.

(2) 장전 파이프(폭약)제작 및 장전 작업

수중의 천공구에 폭약을 투입하기 위해서는 바지선 위에서 전폭약포 및 기타폭약을 일체화시켜 수중으로 투입하는 것이 작업의 효율성을 높일 수 있다.

이러한 이유로 계획된 천공경에 적합한 플라스틱 파이프를 선정하여 파이프내에 그림 7과 같이 전폭약포를 투입하여 제작한다.

표 4. Prepare to before blasting working

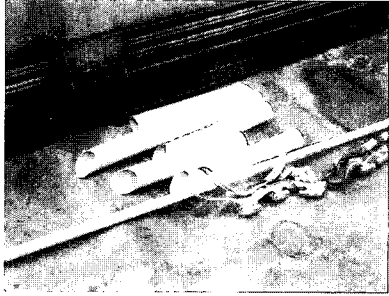
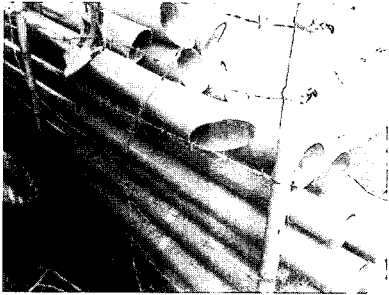

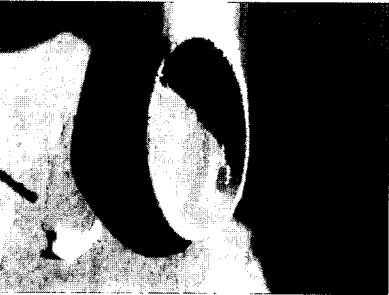
구 분	수중 발파 준비 기자재	참고 사항
<p>천공내 점토 유입 방지 보호 파이프</p>		<p>굴착현황 조사에 따라 기반암으로부터 점토층이 0.9~1.1m가 위치하고 있으므로 천공 후 점토 유입을 막기 위한 일종의 casing 역할을 한다.</p>
<p>장전 파이프</p>		<p>해수에 의한 폭약의 밀도저하를 늦추기 위하여 파이프내에 장전을 하여 압반 천공내부에 장약을 한다.</p>
<p>결선 부표</p>		<p>수면 위 결선을 위한 부이</p>
<p>방수 재료</p>		<p>뇌관의 구제부위와 Chipping 한 부위에 방수제를 이용하여 방수처리를 한다.</p>



그림 7. Pipe Charging

준비된 장전 파이프를 잠수부가 용이하기 수중 장약을 하게 하기 위하여 2~3분을 내려주어 분할된 장전을 할 수 있도록 그림 8과 같이 실시한다.

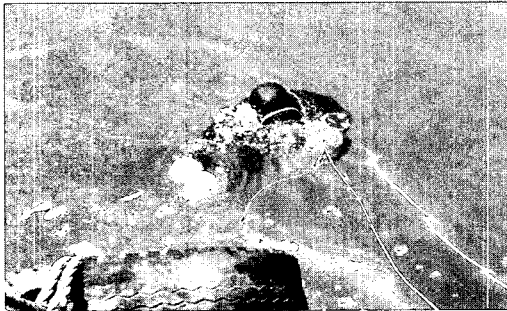


그림 8. Diver Working

(3) 결선 작업

결선작업은 잠수부에 의존하는 것보다는 작업의 효율을 위하여 바지선위에서 실시하는 것이 유리하다. 수중에서의 결선은 그 확실성에서 문제의 소지가 있고 또한 직접 확인할 수 없기 때문에 그림 9와 같이 바지선 위에서 작업하는 것이 바람직하다.

장약이 완성된 상태에서 수중에서의 Cut Off가 발생하지 않도록 테이핑을 통하여 쇼크 튜브를 정리하며, 그림 10과 같이 목장감으로 TLD를 감싸주어, TLD 파편에 의해 쇼크튜브의 Cut Off가 발생하지 않도록 한다.

수면 위에서 TLD 기폭이 이루어지도록 그림 11과 같이 준비된 부이위에서 최초 기폭이 될 수 있도록 한다.

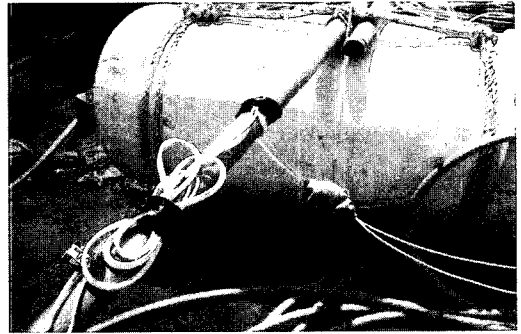


그림 10. Protect of Cut-off

(4) 점화 및 발파 작업

점화 후 스타터로부터 TLD 기폭 후 DHD 너관의 기폭에 화약의 폭발이 일어나면 충격파의 발생

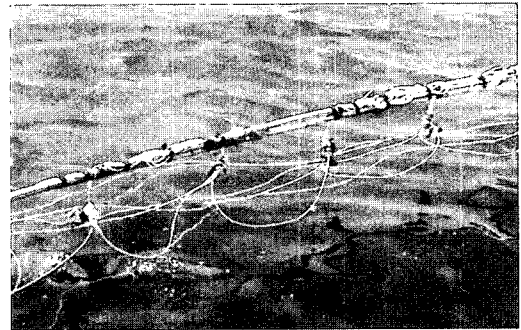


그림 11. Detonation system

에 따른 파면의 파동을 보이고 수초 후 암석파괴와 점토의 재배치에 따라 수면위에 수중 공기 방울과 같은 형태로 그림 12와 같이 발생된다.

3.4 시험 발파 결과

수중 발파의 결과 확인은 GPS 위성 안테나로 수심을 체크하여 수중압만의 중심 정도를 판단하게 되는데, 이외에도 발파의 여부를 알 수 있는 방법은 즉각적인 잠수부의 투입에 의한 육안 확인이다. 다만, 발파 후 점토의 부유와 지속적인 조류에 의하여 시야가 확보되지 않아 발파즉시 확인이 곤란하다. 일반적으로 약 4시간정도의 시간이 지난 후에 부유한 점토가 가라앉게 되므로 하루정도 대기

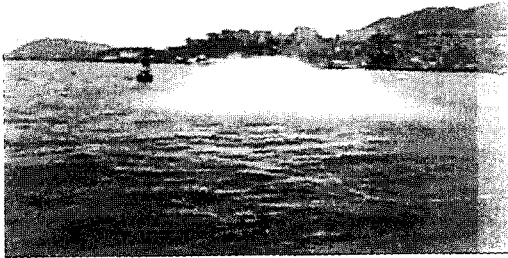


그림 12. Underwater blasting

후 잠수부에 의한 확인 작업을 하거나, 수중용 카메라를 이용하여 발파 후 파쇄 정도를 체크하여 비장약량이나 발파 패턴의 변경을 검토할 수 있다. 시험발파에서는 잠수부의 확인결과, 모든 발파는 양호하게 진행되어 표 5와 같으며, 평균굴착심도는 2.0m를 확보한 것으로 확인되었다. 다만, 89mm/M-I의 경우 적용 비장약에 비해 결과는 기대수준에 미치지 못하였다.

표 5. Result of test blasting

CASE	A	B	C	D
천공경	89	89	150	150
장약경	65	65	102	102
천공장	2.5	2.5	2.1	2.1
보조천공장	0.5	0.5	0.1	0.1
적용폭약	M-I	←	←	←
적용뇌관	TLD 17ms, DHD 500ms			
저항선	0.8	0.8	1.1	1.1
공간격	0.8	0.8	1.1	1.1
공당 장약량	2.0	2.0	3.0	3.0
지발당장약량	2.0	4.0	3.0	6.0
비장약량	1.25	1.25	1.18	1.18
발파결과	양호	우수	우수	매우우수

4. 결 론

시험발파를 통하여 부산항 증심 공사의 수중발파 적정 발파패턴과 작업상 문제점과 보완사항에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

4.1 폭약의 선정

Bulk Type의 폭약을 적용할 때는 Decoupling Index가 1이 될 수 있으므로 최대의 발파효과를 얻을 수 있어 대규모 발파패턴 작업으로 비용을 절감시킬 수 있으나 별도의 장전 장비가 요구되고 수중에서의 장약유실에 대한 조치가 필요하므로 현실적으로 적용이 불가능하며, NewMITE의 경우는 수중에서의 폭발충격압에 의해 사압현상을 나타내므로 그 또한 적용이 불가능하다. 그러므로 수중발파에 적합한 폭약은 다이ना마이트(메가마이트)가 유일하다. 다만, 메가마이트-I의 경우는 시험발파에서 나타난 것처럼 발파효과에서 기대에 못미치는 경우가 발생할 수 있으므로 가능하면 고성능 다이나마이트(메가마이트 II)를 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

4.2 뇌관의 선정

수중발파의 작업 현황은 바지선위에서 전폭약포 제작과 결선 작업이 이루어지며 바지선에는 많은 전기장비와 GPS 위성 안테나 등 전기적인 위험에 항상 노출되어 있다. 따라서 비전기 뇌관의 사용이 보다 안전한 작업을 할 수 있으며, 수심 15m에서의 열악한 작업환경과 잠수부의 시야와 거동의 불편함에 의한 불폭 및 침수 위험이 항상 내재되어 있으므로 기폭약포에 뇌관을 2개 동시에 결합하여 발파를 실시하는 것이 바람직하다.

4.3 수중 발파 작업상 문제점과 보완 대책

- (1) 수중발파에서는 작업을 수행하기 전 또는 발파 작업 후에 반드시 GPS 수심탐사나 수중용 카메라를 이용하여 파쇄대상 암반의 형태와 발파효과를 확인하여야 한다.

- (2) 폭약은 NG함량이 높은 고성능 Dynamite로 수중에서 3주간 내수성을 보장할 수 있는 것을 사용하여야 한다.
- (3) 공내에는 최소 2개의 뇌관이 삽입 되어야 하며, 그 위치는 장약하부로 하고 장약중에 Check를 실시하여 1 개라도 손상되면 장약상부에 뇌관을 하나 더 삽입 하여야 한다.
- (4) 결선작업은 수면위에서 수행하며, 불가피하게 수중에서 결선하는 경우에는 부표를 띄워 결선부를 수상으로 끌어올리거나 특수한 연결구를 이용하여 방수조치 하여야 한다.
- (5) 수중 벤치고가 2.0m 이내로 짧아지면 정상적인 발파가 이루어져도 공발이 발생 하거나, 암반파쇄의 목적을 수행하기 어려울 것으로 판단되고, 이를 방지하기 위하여 보조천공장의 길이가 길어져 경제적으로 불리하게 작용될 수 있다.

본 연구에서는 수중발파의 안정성을 확보하는 작업방법을 위주로 시험발파와 그 결과를 비교하는 작업을 실시하였다. 차후 수중 벤치 높이에 따른 적정 천공경과 장약량 및 수중 발파 패턴에 대하여 수치해석과 병행하여 정량적인 연구를 수행 할 예정이다.

참 고 문 헌

1. Jimeno, C. L., E. L. Jimeno and F. J. A. Carcedo, 1995, Drilling and blasting of rock, pp. 272-279.
2. Tam Rock, Surface drilling and blasting, pp. 258-278.
3. ISEE, Blaster's Handbook TM 17th Edition, pp. 473-478.
4. Olofsson, S. O., Applied explosives Technology for Construction and mining, pp. 242-254.

5. Kenfletcher. Mike Briggs, Rob Grant, Deepwater Blasting on the River Nile in southern Egypt, ISEE.
6. Holmberg, R., 2000, Explosives & Blasting Technique, A.A.Balkema, pp. 359-364.
7. Hemphill, G. B., 1981, Blasting Operations, McGraw-Hill, pp. 172-173.
8. Laqngefors, U. and B. Kihlstronl, The modern Technique of Rock Blasting, Third Edition, pp. 332-360.
9. 수중발파, 산해당.
10. 김재극, 1992, 산업화약과 발파공학, 서울대학교 출판부.