

## 수중 강재절단을 위한 성형폭약 장치 최적설계 및 관입성능 평가

고영훈<sup>1)</sup>, 김승준<sup>1)</sup>, 김정규<sup>1)</sup>, 양형식<sup>1)\*</sup>, 김희도<sup>2)</sup>, 박 훈<sup>3)</sup>, 노유송<sup>3)</sup>, 석철기<sup>3)</sup>

### Assessment of Penetration Performance and Optimum Design of Shaped Charge Device for Underwater Steel Cutting

Young-Hun Ko, Seung-Jun Kim, Jung-Gyu Kim, Hyung-Sik Yang, Hee-Do Kim,  
Hoon Park, You-Song Noh, Chul-Gi Suk

**Abstract** In this study, several underwater steel cutting tests and AUTODYN numerical analyses were conducted to evaluate the penetration performance of a shaped charge device. Parameter analyses for the contribution rate were conducted by using the robust design method. The parameters adopted in this study were chamber type, stand-off, and wire setting, each of which had three levels in the analysis. Analysis results showed that the contribution rate was most affected by the stand-off, followed by the chamber type and wire setting. Experiments of underwater steel cutting were conducted at water depth of 25m. As expected, the experiments and numerical simulation showed similar results for underwater steel cutting performance, and thus the feasibility of the shaped charge device for underwater steel cutting at deep water depth was verified.

**Key words** Underwater steel cutting, AUTODYN numerical analysis, Robust design, Shaped charge device

**초 록** 본 연구에서는 수중성형폭약 장치의 성능을 평가하기 위하여 수치해석 및 강재관입 실험을 하였다. 수중 성형폭약 장치설계를 위한 인자는 챔버종류, stand-off, 와이어 장착의 각 3수준으로 강건설계를 적용하여 인자별 기여도 분석을 하였다. 관입성능에 대한 기여도 분석결과 스탠드오프에 의한 영향이 가장 컸고 챔버 종류, 와이어 장착 순으로 나타났다. 최종적으로 25m 이상 수심에서 수중성형폭약 장치 적용에 따른 강관 관입 검증실험 및 수치해석을 하였고, 그 결과로서 실험 및 수치해석 모두 유사한 결과를 보였다. 본 연구를 통해 고심도 수중에서의 강재 절단을 위한 수중성형폭약 장치의 실현성을 확인하였다.

**핵심어** 수중 강재절단, AUTODYN 수치해석, 강건설계, 수중성형폭약 장치

## 1. 서 론

최근 전 세계적으로 내용연수가 만료되는 해양 구조물에 대한 해체 수요가 증가하고 있다(박광서, 2015). 기존에는 주로 기계식 해체방법을 적용하여 해양구조

물을 해체하였으나 고가의 해체 장비와 해체과정에서 발생하는 공간적 제약을 최소화하기 위해 성형폭약을 이용한 발파 해체공법의 연구가 진행되고 있다(Ogata et al., 1997; Wu, 2010).

수중에서 성형폭약을 적용한 사례로는 해양 구조물 내부에 성형폭약 홀더를 제작하여 구조물을 해체한 사례(DEMEX, 2002), 수중 구조물 절단을 위해 구조물의 외부에 수밀성, 내수압성의 금속 케이싱 장치를 부착하여 강관을 절단한 사례(석철기, 2014) 등이 있다. 또한, Brain(2014)은 금속 케이싱의 선형 성형폭약에 다공질 스티로폼을 이용하여 stand-off에 따

<sup>1)</sup> 전남대학교 에너지자원공학과

<sup>2)</sup> ㈜고려노벨화약

<sup>3)</sup> ㈜코리아카코

\* 교신저자 : hsyang@chonnam.ac.kr

접수일 : 2018년 2월 28일

심사 완료일 : 2018년 3월 7일

게재 승인일 : 2018년 3월 12일

른 수중에서의 강제 관입실험을 수행하였다. 그러나 적용대상 구조물의 다양한 형상에 따른 금속케이싱의 유연성 및 수압, 유속 등에 따른 수밀성, 내수압성 에 대한 대처가 어려운 현실이다. 최근 가소성 성형폭약을 수중 강제 절단에 적용할 시 발생하는 수중 금속 제트 에너지 손실방지, 수밀성 및 내수압성을 유지하면서 가소성 성형폭약의 유연성을 확보하는 외부장치를 개발하기 위한 기초실험으로 성형폭약의 외부 장치 형상에 따른 수중 관입 성능을 비교 검토한 바 있으며 장치의 수중적용 가능성을 확인하였다(석철기 외, 2016). 본 연구에서는 수중성형폭약 장치의 최적 설계를 위한 강건설계 실험을 통해 예비 최적 조건을 선정하였고, 선정된 조건을 수치해석 및 검증실험을 통해 수중성형폭약 장치의 실현성을 확인하였다.

## 2. 성형폭약

### 2.1 사용 성형폭약

국내 K사에서 상용 시판되고 있는 성형폭약(HAKO)을 수중성형폭약 장치설계 실험에 적용하였다. 본 연구의 절단 대상물인 수중 파일 강관의 일반적 두께는 8~9mm 정도이며, 이를 참고하여 기준 절단성능 약 10mm인 HAKO 350을 선정하여 사용하였다. Fig. 1은 성형폭약 장약부의 내부 규격 모식도이다.

### 2.2 대기, 수중 성형폭약 제트형성 차이

충격파는 어떠한 매질보다 수중에서 잘 전파되는 특징을 가지고 있다. 폭약과 물의 경계면의 반응은 High/low 임피던스(impedance)로 나타낼 수 있으며, 다음 식 (1)~(4)로 설명할 수 있다. 폭발원에서의 최대 충격파 속도는 입자속도와 매질의 음파 속도에 따라 결정되며, 식 (3)의 U-u Hugoniot와 같다(Cooper, 1996). 충격파 속도는 압력에 따라 변화하나 변화 정

도는 미미하므로 충격파 속도는 대부분의 경우에 일정하게 간주 될 수 있다. 그러나 반사파의 크기는 절대적으로 전달 매질 물질의 밀도에 따라 결정된다.

높은 밀도를 가진 물질은 높은 임피던스를 가지고 있다고 할 수 있으며, 높은 밀도의 물질은 보다 높은 반사 충격파 압력을 내보낸다고 볼 수 있다. 매질밀도와 입자속도, 음속에 의해 충격압력이 결정된다. 식 (4) (P-u Hugoniot). 물(1,000kg/m<sup>3</sup>)의 경우 공기(1.205kg/m<sup>3</sup>)보다 높은 밀도를 가지고 있고 수중에서 성형폭약이 기폭 할 때 제트 진행 방향의 반대로 반사압력이 발생하게 될 것이다. 이것이 성형폭약 제트 입자속도의 저하를 발생시킨다고 할 수 있다.

$$P = \rho_0 u U \quad (1)$$

$$Z = \rho_0 U \quad (2)$$

$$U = C_0 + su \quad (3)$$

$$P = \rho_0 C_0 u + \rho_0 s u^2 \quad (4)$$

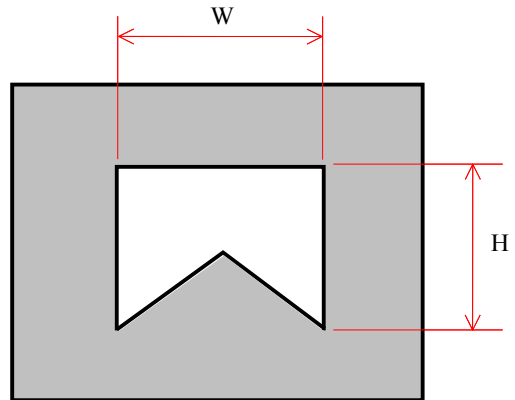


Fig. 1. Schematic of shaped charge.

Table 1. Specification of HAKO

|          | Specification (mm) | W (mm) | H (mm) | Liner thickness (mm) | Steel cutting performance (mm) |
|----------|--------------------|--------|--------|----------------------|--------------------------------|
| HAKO 70  | 2,000×30×20        | 9      | 8.81   | 1.05                 | 3                              |
| HAKO 150 | 2,000×35×25        | 12     | 14.61  | 1.10                 | 6                              |
| HAKO 350 | 2,000×40×35        | 19.94  | 20.68  | 1.52                 | 10                             |
| HAKO 600 | 2,000×55×50        | 25.28  | 30.06  | 1.66                 | 15                             |

여기서,

$C_0 = \text{Bulk sound speed,}$

$P = \text{Pressure,}$

$s = \text{Material constant (Hugoniot)}$

$U = \text{Shock velocity,}$

$u = \text{Particle velocity,}$

$Z = \text{Shock impedance}$

### 3. 성형폭약 장치 최적인자 실험

#### 3.1 실험개요

석철기 외(2016)의 장치 기초실험에서 cavity chamber 모형(원형, 사각)에 따른 수밀시험 및 절단실험 결과를 통해 cavity chamber 모형을 원형으로 고정하고 stand-off와 set rubber wire에 대한 최적 인자 실험을



(a) Cavity chamber type



(b) Stand-off



(c) Set rubber wire

Fig. 2. Factor of shaped charge device for robust design.

Table 2. Effect of parameters on average penetration depth

| No.     | Cavity chamber type | Stand-off | Set rubber wire | Aver. penetration depth (mm) |
|---------|---------------------|-----------|-----------------|------------------------------|
| 1       | 1                   | 1         | 1               | 8.765                        |
| 2       | 1                   | 1         | 2               | 8.367                        |
| 3       | 1                   | 2         | 1               | 8.680                        |
| 4       | 1                   | 2         | 2               | 6.632                        |
| 5       | 2                   | 1         | 1               | 6.938                        |
| 6       | 2                   | 1         | 2               | 8.757                        |
| 7       | 2                   | 2         | 1               | 6.235                        |
| 8       | 2                   | 2         | 2               | 8.373                        |
| level 1 | 8.109               | 8.207     | 7.652           |                              |
| level 2 | 7.578               | 7.480     | 8.034           |                              |
| Delta   | 0.531               | 0.727     | 0.382           |                              |
| Rank    | 2                   | 1         | 3               |                              |

하였다. 평가방법은 강재의 관입깊이를 B사의 context capture 프로그램과 고무 몰딩을 이용하여 관입 된 강재의 최대 관입깊이(peak penetration depth) 및 평균 관입깊이(average penetration depth)를 분석하고 세 가지 인자에 대해 기여도를 평가하였다(Fig. 3). 실험에 사용된 폭약은 HAKO 350을 기준으로 하였고 실험은 절단 강재 SS400(600×400×20mm) 8개에 대해 실험하였다. Cavity chamber type, stand-off와 고무 밴드를 이용한 성형폭약 강재 부착 고정력(set rubber wire) 등 3가지 인자에 대해 2수준으로 실험 설계하였다(Fig. 2). 원형 및 사각 스프링 호스의 규격과 HAKO 350의 규격의 차이로 인해 외피 부분을 칼로 절단한 후 스프링 호스에 삽입하였고, 성형폭약에 도폭선 약 50mm를 수평 삽입하였다. 도폭선 삽입 후 절연테이프를 이용하여 성형폭약과 도폭선 연결부를 부착하고 절단 대상 강재중앙 부분에 마킹을 한 후 고

리형 네오디뮴 자석과 고무 밴드를 이용하여 고정했다.

최적인자 실험은 전라남도 장성에 위치한 광산현장 내 수심 3.5m 집수정에서 실시하였다. 실험은 수심 약 3.5m의 집수정에서 수중발파 실험하였다.

### 3.2 실험결과

수중성형폭약 최적 인자 설계 실험 결과 스프링 호수(원형), 성형폭약 하단 폼 제거, rubber wire 12ea 조건에서 평균 관입깊이 응답치가 높게 나타났다.

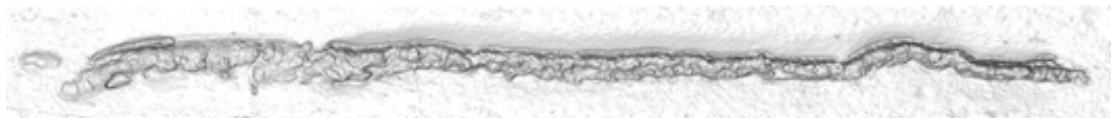
Cavity chamber type, stand-off, set rubber wire 3개 인자 중 관입깊이가 가장 큰 영향을 미치는 인자는 stand-off, cavity chamber type, set rubber wire 순으로 나타났다. 각 인자의 기여도는 cavity chamber type 29.5%, stand-off 55.3%, set rubber wire 15.2%로 분석되었다(Table 2).



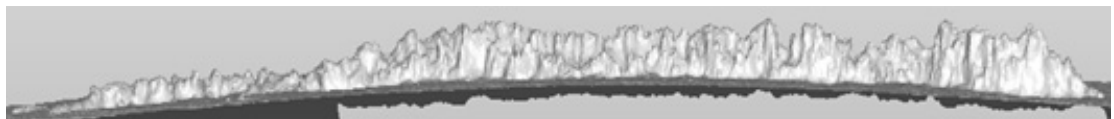
(a) Case 5 (result)



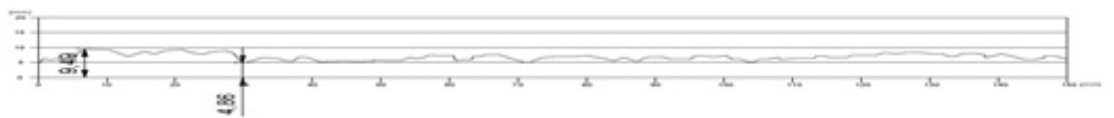
(b) Case 5 (3D shape)



(c) Case 5 (top view)



(d) Case 5 (side view)



(e) Case 5 (peak penetration depth)

Fig. 3. Results for shaped charge device(case 5) penetration shape of steel plate.

## 4. AUTODYN 수치해석 및 현장검증 실험

### 4.1 해석개요

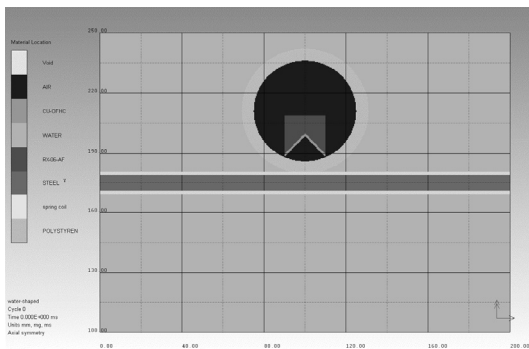
성형폭약 수중 적용 실험을 위한 사전 시뮬레이션을 수행하였다. 성형폭약 장치 인자실험결과를 통해 HAKO 350의 하단 폼을 제거하여 표준사용 대비 stand-off 약 12% 손실 정도로 해석모형을 설계하였으며(Fig. 4), 주위 유체에 따른 제트관입 성능 판별을 위한 Euler-Lagrange 2D 연성해석 및 대상 강재 전체 관입의 정밀해석을 위해 SPH-Lagrange 3D 해석을 하였다.

공간경계에서의 반사 문제를 해결하기 위하여 AUTODYN Eulerian 코드에서는 flow out 경계조건을 제공하고 있다. 해석에서 주위 수중 경계면은 무한한 유동 흐름을 위해 flow out 경계 조건으로 설정하였다. 강재 및 강관모델의 경우 Lagrange mesh로 모델링 하였으며, 각각의 끝부분에 구속경계를 부여하

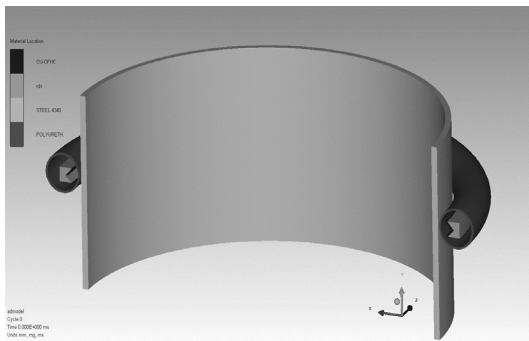
였다.

Euler-Lagrange 2D 연성해석 모델은 폭약, 라이너, 튜브 외피, 주위 물 등은 오일러 메시로 모델링 하였고, 강재의 경우 Lagrange mesh로 두께 10mm로 설정하여 해석하였다(Fig. 4(a)). 물의 경우 담수와 해수의 차이 및 온도변화를 고려하지 않고 AUTODYN 물성 Library상의 물성을 적용하였다.

SPH 코드는 유체 혹은 연속체 해석에서 많이 적용되는 코드이다. 요소망 (grid) 대신 입자(particle)의 집합으로 모델을 구성하기 때문에 요소망 구성이 별도로 필요하지 않다. 따라서 Lagrange 코드에서의 요소의 일그러짐에 따른 요소의 재생성 부담이 근본적으로 제거되고, 이에 따라 요소를 제거하는 erosion 기법을 사용할 필요가 없으며, 입자의 분리에 근거하여 입자 간 상호 작용을 계산하므로 재료 파괴 및 분리와 관련된 대변형 문제를 Lagrange 코드에 비하여 어려움 없이 계산할 수 있는 장점이 있다. SPH-Lagrange 3D 해석의 모델형상은 Fig. 4(b)와 같다. 성



(a) Euler-Lagrange model



(b) SPH 3D model

Fig. 4. AUTODYN numerical model of underwater shaped charge device.

Table 3. Properties of coupling materials.

| Materials | Density D(cm <sup>3</sup> ) | Sound velocity c(m/s) | Coefficient s | Grüneisen parameter $\Gamma_0$ | EoS       |
|-----------|-----------------------------|-----------------------|---------------|--------------------------------|-----------|
| Air       | 0.001225                    | -                     | -             | -                              | ideal gas |
| Water     | 0.998                       | 1647                  | 1.92          | -                              | shock     |

Table 4. JWJ, C-J Characteristics values (RDX).

| A(GPa) | B(GPa) | R1  | R2  | $\omega$ |
|--------|--------|-----|-----|----------|
| 503    | 9.065  | 4.3 | 1.1 | 0.350    |

Table 5. Material properties of steel.

| Properties                     | Value |
|--------------------------------|-------|
| Density (g/m <sup>3</sup> )    | 7.83  |
| Bulk modulus (K, GPa)          | 159.0 |
| Shear modulus (G, GPa)         | 77.0  |
| Yield stress (A, MPa)          | 400   |
| Hardening constant (B, MPa)    | 410   |
| Strain rate constant(C)        | 0.014 |
| Hardening exponent (n)         | 0.26  |
| Thermal softening exponent (m) | 1.03  |

형폭약 폭약부와 라이너를 SPH로 모델링 하였고, 튜브 외피 및 강관은 Lagrange mesh를 적용하여 해석 하였다.

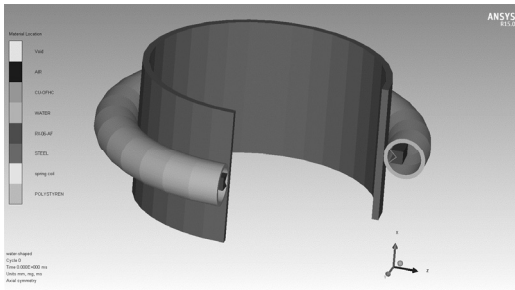
4.2 해석결과

수중 성형폭약 제트관입 성능 판별을 위한 Euler-Lagrange 2D 연성해석 및 대상 강재 전체 관입의 정

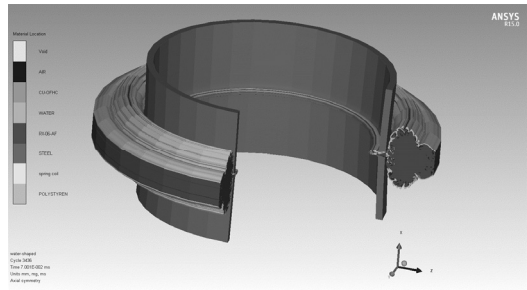
밀해석을 위해 SPH-Lagrange 3D 해석을 하였으며 결과는 다음과 같다.

수중 제트관입 해석에서 주위 수층에 심도 25m에 상응하는 3.5기압의 압력을 pressure 경계로 부여한 해석결과, 제트의 진행은 대기 중과 같은 형태로 진행 하여 대상강재를 절단하였다(Fig. 5(b)).

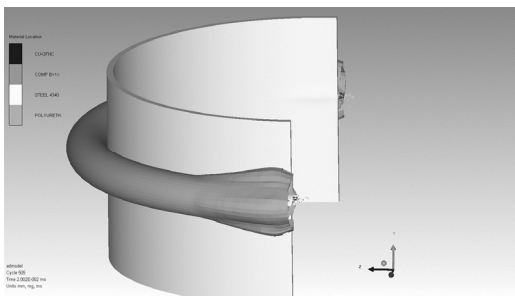
강관에 대한 절단품질 평가 해석을 SPH 입자유동



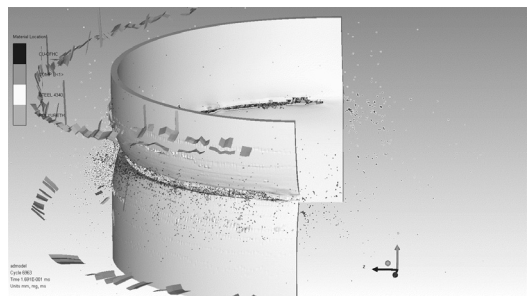
(a) Initial explosion(Euler/Lagrange)



(b) After explosion(Euler/Lagrange)

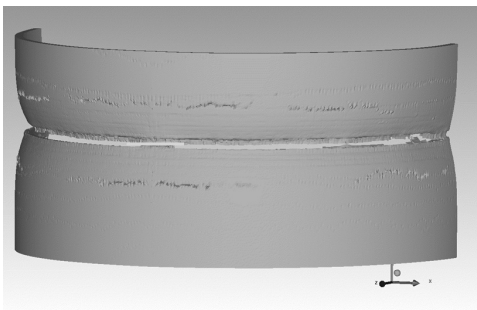


(c) Initial explosion(SPH model)

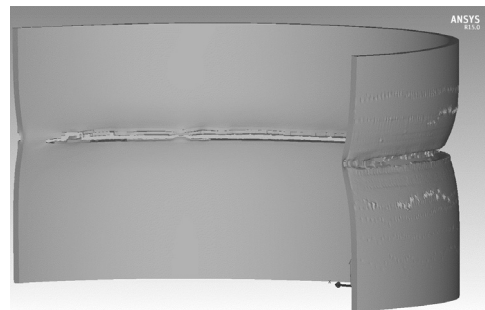


(d) After explosion(SPH model)

Fig. 5. Results for numerical simulation of Euler/Lagrange and SPH model.



(a) External face of steel pile



(b) Internal face of steel pile

Fig. 6. Numerical simulation result for penetration shape of SPH model.

해석법을 이용하여 해석하였다. 해석결과 전체적인 절단은 관찰되었지만, 성형폭약 설치 선단부와 끝나는 지점에 약 30mm 길이의 절단 손실 구간이 해석되었다(Fig. 6).

일반적으로 성형폭약에 의한 강재절단면은 세 가지의 프로파일로 구분되며, 이는 run up, cut zone, run down zone이라고 정의된다(Fig. 8). run up zone은 성형폭약 시작점에서 절단 성능 미발현 구간으로 정의되며, 성형폭약 기폭 시 충격파 선단은 기폭점에서 방사상으로 전파되며, 충격파는 진행 면으로 성장한다. 이때 초기에서는 곡률이 작은 원호 모양이고, 성형폭약의 본격적인 성능발현 시기는 충격파 선단이 거의 평면 모양으로 진행할 때 발현되게 된다(Lim,

2003). 즉 성형폭약은 폭굉 영역 전이를 위한 요구거리가 필요하다 할 수 있다.

Run down 영역은 진행 충격파가 성형폭약 끝 단부에서 폭굉으로 발전하기 위한 충분한 양의 폭약물질이 없는 경우에 발생한다. 일반적으로 run down 구간은 run up 구간 보다 짧으며, 높은 절단 경사면을 갖는다. 강관절단 해석에서 HAKO 350 성형폭약을 모델링하여 해석하였을 때 run up zone, run down zone은 각각 30, 25mm로 각각 해석 되었다(Fig. 7).

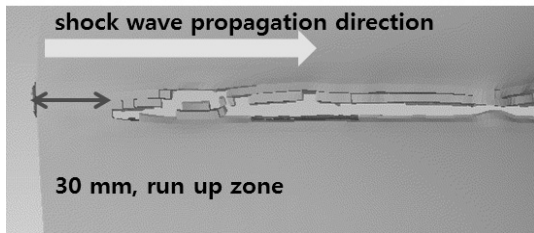
### 4.3 검증실험

강건설계 실험결과를 바탕으로 장치인자를 cavity chamber type 스프링 호스(원형), stand-off 하단 제거, set rubber wire 12ea로 고정하고, 수심 25m에서 강관에 대한 폭파절단 실험을 하였다. 강관 곡률에 따른 stand-off 손실을 방지하기 위하여 내부에 원형 rod를 삽입하였고, 실험 성형폭약 설치 및 점검을 위해 잠수부를 투입하였다. 평가방법은 B사의 context capture 프로그램을 이용하여 관입된 강재의 평균 관입깊이를 분석하였다. 실험은 절단 강재 SS400 강관(φ600×L500×T10mm)에 대해 2회 검증실험 하였다. 강관 절단 후 인양에 대비해 측면 와이어를 설치하고 조류로 인한 도폭선 흔들림 방지를 위해 도폭선 고정장치를 부착하였고, 기밀성 확보를 위한 2중 고무캡(고무캡-방수실리콘-고무캡)과 테플론 테이프 및 절연테이프를 부착하였다(Fig. 9(b)).

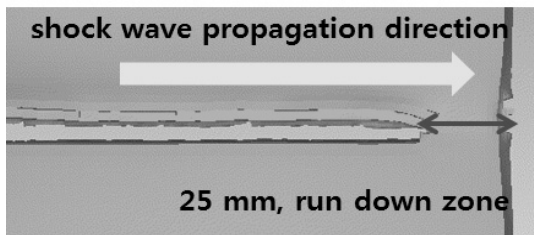
고무 밴드와 고무 바를 이용해 수중성형폭약 시험체와 절단 대상 강관과의 부착력을 증대하기 위해 ‘ㄱ’자형 플라스틱을 설치하고, stand-off 유지를 위해 가소성 성형폭약 외부 폼 커팅 및 형상유지 호스를 삽입하였다(Fig. 9(a), (c)). 성형폭약에 도폭선 약 50mm를 수평 삽입 후 절연테이프를 이용하여 성형폭약과 도폭선 연결부를 부착하고 절단 대상 강재중앙 부분에 표시한 후 고리형 네오디뮴 자석과 고무 밴드를 이용하여 고정했다.

### 4.4 검증실험 결과

실험용 강관에 설치한 인양와이어와 제작한 부표를 연결한 후 선상에서 수중 25m 지점에 실험 강관 및 강관을 침수시켜 실험하였다. 기폭방법의 경우 수



(a) Region of run up



(b) Region of run down

Fig. 7. Non cutting region of steel pile.

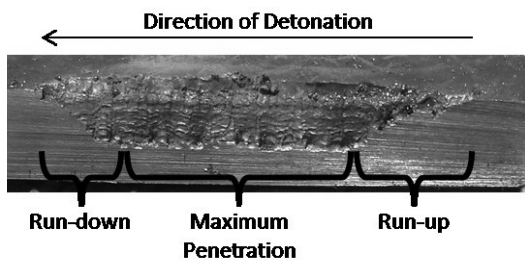


Fig. 8. Run up and run down in a penetration profile.

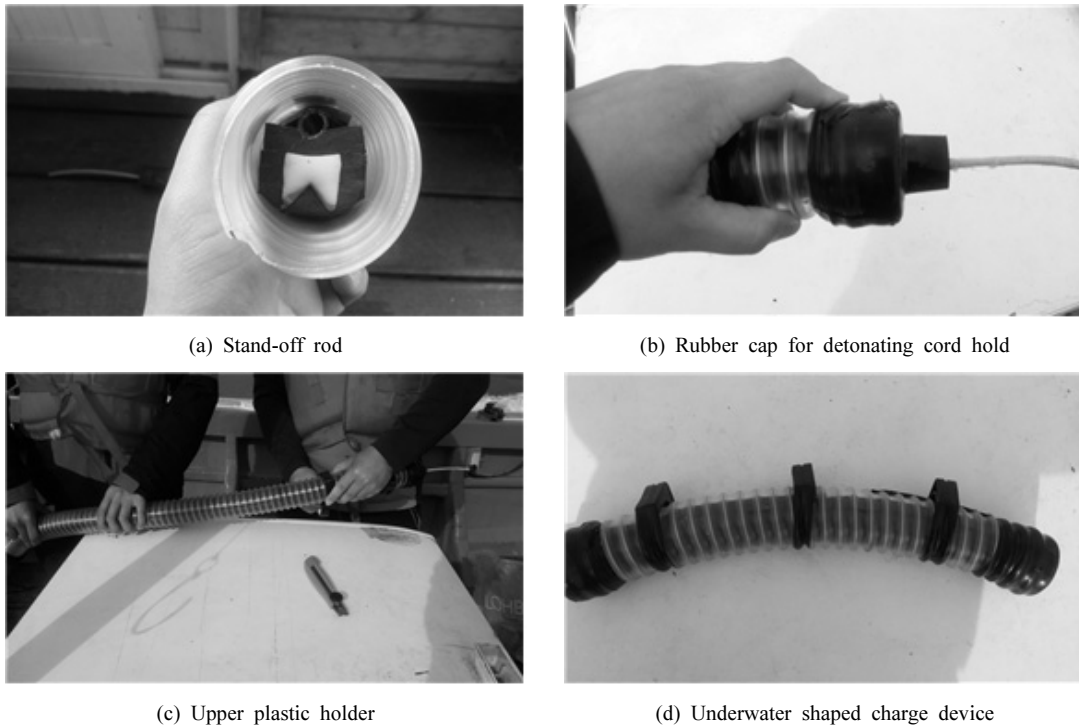


Fig. 9. The parts of underwater shaped charge device.

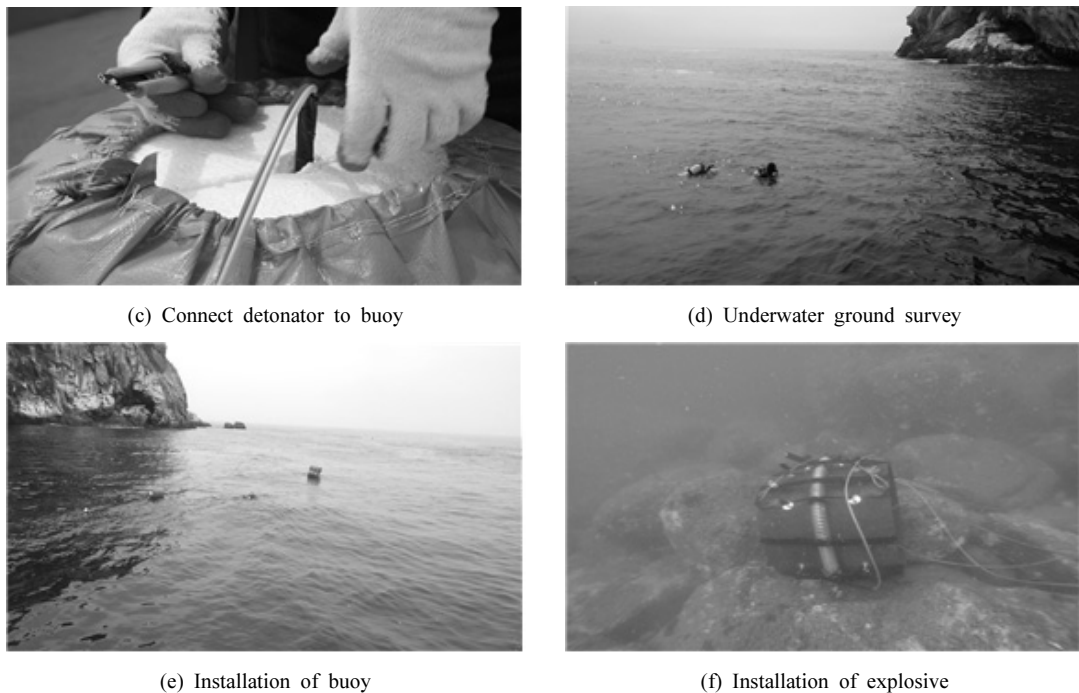
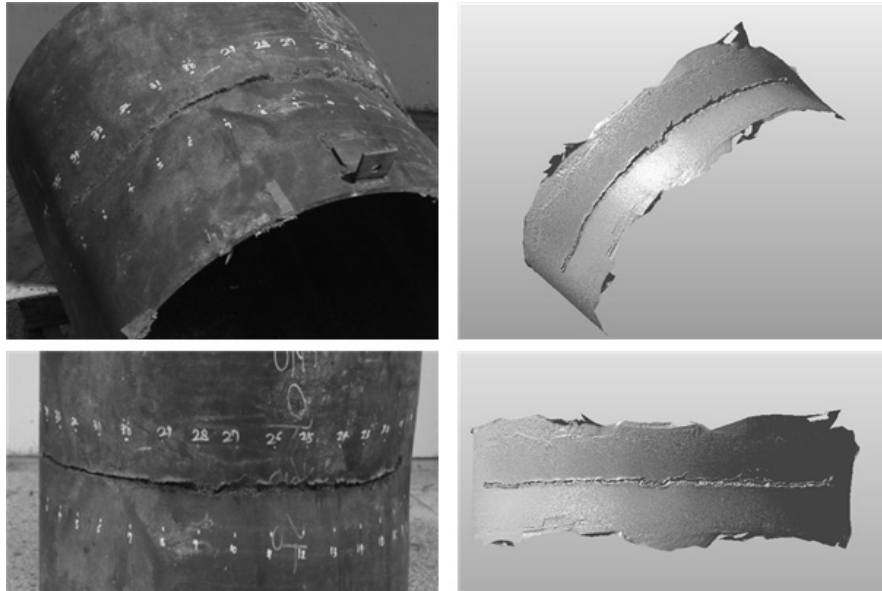


Fig. 10. Experimental process of steel pile cutting by underwater shaped charge device.

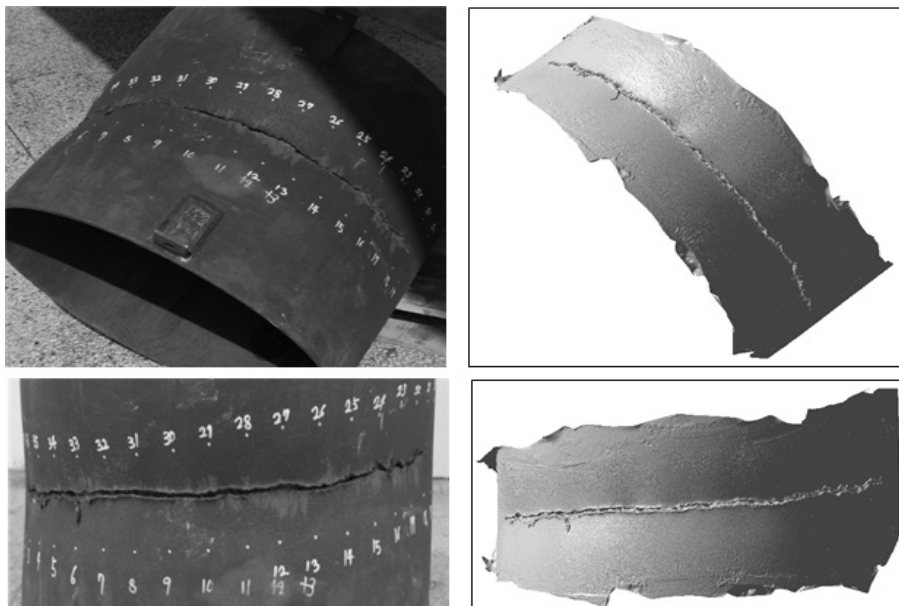


**Table 6.** The result of P.P.D and A.P.D final explosives experiment.

| No.       | Peak penetration depth (mm) | Aver. penetration depth (mm) |
|-----------|-----------------------------|------------------------------|
| exp no. 1 | 10.00 (clearly penetration) | 9.112                        |
| exp no. 2 | 10.00 (clearly penetration) | 9.214                        |



**Fig. 11.** The comparison of experiment result for steel pile and 3D profile of penetration shape(no. 1).



**Fig. 12.** The comparison of experiment result for steel pile and 3D profile of penetration shape(no. 2).

중성형폭약 시험체에 도폭선(10g/m)을 연결한 후 비전기 뇌관과 스타터(50m)를 연결하여 기폭 하였다. 실험 전 해저 지반 상태를 파악하기 위해 잠수부를 통한 실험장소 인근 해역 해저 지반을 확인하여 비교적 평탄한 지역을 선정하여 설치하였으며, 시험체 설치 후 수밀성 확인을 위해 약 2시간 경과 후 발파하였다 (Fig. 10).

발파 후 시험체 인양 후 최대 관입깊이 및 평균 관입깊이를 측정하였다(Table 6). Fig. 11~12는 강관절단실험 결과와 3D 모델링을 비교한 모습이다

## 5. 결론

수심도 25m에서 성형폭약 수중 강재관통성능을 대기 중 사용 대비 80% 이상 성능발현을 목표로 하여 수중성형폭약 장치 강건설계 실험과 수치해석 및 최종 검증실험을 수행하였으며, 결과를 통해 수중성형폭약 장치의 실현성을 확인하였다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 성형폭약 수중장치 시작품 설계에서 cavity chamber type, stand-off, set rubber wire 3개 인자 중 관입깊이에 영향을 미치는 인자는 stand-off, cavity chamber type, set rubber wire 순으로 나타났다. 각 인자의 기여도는 cavity chamber type 29.5%, stand-off 55.3%, set rubber wire 15.2%로 분석되었다.
- 2) HAKO 350 성형폭약을 수치해석에 적용한 결과 run up zone, run down zone은 각각 30, 25mm로 각각 해석되었다. 해상 현장실험 결과 run up, run down 구간을 제외한 cut zone에서 10mm 두께 강관의 관통이 확인되었다. 장치 내부에서의 성형폭약 유격 때문에 cut zone 일부 구간의 절단이 미흡하였고, 향후 장치의 보완이 요구된다.
- 3) 평균 관입깊이는 강관 실험 no. 1에서 9.112mm,

실험 no. 2에서 9.214mm로 나타났으며, 수중성형폭약 장치를 적용하여 25m 수심에서 강관절단에 적용하였을 때 HAKO 350의 기준 성능대비 91% 이상 발현되는 것으로 확인되었다.

- 4) 향후 본 연구결과를 바탕으로 적용성 연구가 더 이루어져야 할 것이라 판단되며 증가하는 동남아 해양플랜트 해체시장 및 국내외의 수중구조물 절단공사 등의 수요가 예상된다.

## 사 사

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학연협력 기술개발사업(No.C0396161)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## 참고문헌

1. 박광서, 2015, 해양플랜트 해체시장 동향과 도전과제, Offshore Business, 한국해양수산개발원, Vol. 21, pp. 5-11.
2. 석철기, 2014, 성형폭약을 이용한 수중 철골구조물 절단해체, 제1회 방재전문가 그룹세미나, 인제대학교 방재연구센터.
3. 석철기, 노유송, 고영훈, 박훈, 조상호, 양형식, 2016, 성형폭약 외부장치 형상에 따른 수중 관입성능 평가, 화약발파(대한화약발파공학회지), 제34권, 제4호, 2016년 12월, pp. 1~9.
4. Brian T. B., 2014, Determining and mitigating the effects of firing a linear shaped charge under water, Masters theses, Missouri university of science and technology, USA.
5. Cooper, Paul W, 1996, Explosives Engineering, New York, N.Y.: VCH, Print.
6. DEMEX, 2002, Explosive technology report for structure removals in the Gulf of Mexico. Draft. DEMEX, Division of TEI Construction Services, Inc.
7. Ogata, Y., Wada, Y., Katsuyama, K., Nishida, T., Hoshino, M., and Nagano, M, 1997, Study on the blasting demolition of steel construction(part 1: Movement of the cutting part), journal japan explosives society, 58, pp. 116-122.



**고 영 훈**

전남대학교 에너지자원공학과  
박사후연구원

Tel: 062-530-0824  
E-mail: dddd8401@chonnam.ac.kr



**김 승 준**

전남대학교 에너지자원공학과  
박사수료

Tel: 062-530-0824  
E-mail: jangdog99@naver.com



**김 정 규**

전남대학교 에너지자원공학과  
박사후연구원

Tel: 062-530-0824  
E-mail: evangelong@hanmail.net



**양 형 식**

전남대학교 에너지자원공학과 교수

Tel: 062-530-1724  
E-mail: hsyang@jnu.ac.kr



**김 희 도**

(주)고려노벨화학 기술영업팀 이사

Tel: 02-756-2863  
E-mail: nonelgim@hanmail.net



**박 훈**

(주)코리아카코 책임연구원

Tel: 02-834-4590  
E-mail: hujin@jbnu.ac.kr



**노 유 승**

(주)코리아카코 연구원

Tel: 02-834-4590  
E-mail: nomoosong1@naver.com



**석 철 기**

(주)코리아카코 대표이사

Tel: 02-834-4590  
E-mail: kacoh@hanmail.net