폭발절단력에 미치는 성형폭약 및 금속성 Liner의 가소화 영향

The Effect of Paste Rate on Shaped Charges and Metal Type Liner to Explosive Jet Cutting Ability

이 병 일[1]. 이 익 주[3]. 공 창 식[1]. 인 영 수[3]. 박 근 순[2] . 조 영 곤[3]
Byung-IL Lee[1]. Ick-.Joo Lee[3]. Chang-Sik Kong[1]. Young-Soo In[3]. Gun-Soon Park[2] Young-Gon Joe[3]
[1]한국중공업(주)기술연구원 [2]한국중공업(주)건설사업본부 [3]고려NOVEL화약

초 록

최근 노후화 된 콘크리트 및 철구조물에 대하여 환경 공해가 발생하지 않는 해체 기술의 필요성이 급증하고 있어서 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 결과 콘크리트 구조물을 일시에 해체하기 위하여 사용되고 있던 화약을 이용한 발파해체공법 및 군용 폭파 공법 등으로부터 응용되어 특수한 형태의 크기로 제작된 성형폭약을 철골구조물에 부착시킨 후 이를 폭발 시켜서 순간적으로 철골구조물의 철판(또는 빔이나 기타 부자재)을 절단 해체할 수 있게 되었다. 그 동안은 성형폭약의 폭발절단 효과에 영향을 주는 요소들인 대상 구조물의 재질 및 형상, 두께와 강도 특성, 성형폭약의 형상, 폭약의 종류, 장약량, Liner의 종류, Stand-off Distance, 성형폭약의 폭 및 너비, 기폭방법에 따른 영향과 폭발 절단시 발생되는 폭풍압에 의한 진동 및 소음의 영향 등에 대한 연구가 대부분이었다.

따라서 본 연구에서는 성형폭약의 주 구성요소인 화약과 금속성 Liner를 유연성이 탁월하고 조성 성분들의 혼합성과 성형성이 우수한 가소화제를 사용하여 제작된 성형폭약의 가소화 정도가 폭발절단력에 미치는 영향을 검토하였다. 이를 위하여 본 연구는 PETN 과 RDX 화약이 각각 25wt% 및 75wt%로 혼합된 화약원료를 85wt%로 하고 폴리이소부틸렌(P.I.B) 성분이 80 wt% 이상인 폴리부텐(P.B) 7wt% 와 부틸고무 4wt% 그리고 디에칠헥실세바케이트 4wt%로 구성된 가소화제를 사용하여 실험하였다.

핵심어 : 성형폭약, 폭발절단, 폭발절단 깊이, 초점거리, 가소화율

1. 서 론

산업혁명 이후 현재에 이르기까지 인류의 문명과 과학은 급속한 발전을 거듭해오고 있는데 그 중의 하나가 건축분야 철골구조물의 발전 역시 눈부시게 성장하여 왔다. 그런데 철골구조물은 부식이 되기 때문에 완공 후 20~30년 정도가 경과되면 이를 해체하여 새로운 구조물로 대체하는 것이 바람직 할 것이다. 물론 이러한

기간은 절대적인 것은 아니며 경우에 따라서는 몇 십 년 이상 내구력이 지속되는 철골구조물도 있을 것이다. 또한 그 반대로 10년 이내의 기간에도 도시정비, 재개발 등에 의해 새로운 구조물로 대체되어야 하는 철골구조물도 있을 것이다.

철골구조물은 콘크리트구조물이나 목재구조물과 달리 해체 작업에 있어서 현재까지 크게 뛰어난 방법을 채택하지 못하고 있는데 일반적으로 산소절단기, 파쇄기를 사용하여 부분적인 파쇄 및 절단을 통해 전체를 조금씩 해체하는 방법을 사용하고 있다. 그러나, 최근에 이르러서는 콘크리트 구조물을 일시에 해체하기 위하여 사용되고 있던 화약을 이용한 발파해체공법 및 군용폭파공법 등으로부터 응용되어 소정의 사이즈로 특수하게 제작된 성형폭약을 철골구조물에 부착시킨 후 이를 폭발시켜서 순간적으로 철골구조물의 철판(또는 빔이나 기타 부자재)을 절단 해체할 수 있는 방법이 알려져 있다.

이러한 성형폭약에 의한 폭발절단 방법은 기존의 산소절단기나 플라스마 절단기 등으로 작업하기 까다로운 부분을 효과적으로 절단 할 수 있게 되었으며, 안전성과 편리성이 탁월함은 물론 경제적인 비용으로 최대의 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다고 할 수 있다.

그러나, 이와 같은 장점을 가진 성형폭약에 대한 기존의 연구는 성형폭약에 의한 폭발절단 원리에 대한 연구와 폭발절단 효과에 영향을 주는 요소들인 대상 구조물의 재질 및 형상, 두께와 강도 특성, 성형폭약의 형상, 폭약의 종류, 장약량, Liner의 종류, Stand-off Distance, 성형폭약의 폭 및 너비, 기폭방법에 따른 영향과 폭발 절단시 발생되는 폭풍압에 의한 진동 및 소음의 영향 등에 대한 연구가 대부분이었다.

또한, 철골구조물 폭발절단 해체용 성형폭약의 보다 효율적인 사용을 위해서는 성형폭약 자체가 유연성을 가지도록 하여 곡선타입의 철골구조물에도 적용이 될 수 있어야 한다. 즉, 성형폭약의 절단 해체하고자 하는 부재에 부착시 주 구성요소인 성형된 화약과 금속성 Liner가 가소화 되어 있어서 철골구조물 부재의 직선 부분뿐만 아니라 곡선부분에도 잘 부착이 되기 위해서 성형폭약의 가소화가 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

그러나, 이에 대한 국내.외 연구는 전무한 실정으로 향후 예상되는 철골구조물의절단 해체의 성형폭약의 보다 광범위한 적용을 위해서는 이에 대한 연구가 시급히 이루어져야 할 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 폭발절단용 성형폭약이 유연성을 가지도록 할 수 있는 가소성 물질에 관한 것으로서 기존의 가소성 물질보다도 유연성이 우수하며 화약 및 금속물질과의 혼합시 각각의 성분과도 친화력이 우수하여 성형폭약의 폭발절단력을 저하시키지 않는 최적의 가소화제를 찾고자 하는데 그 목적을 두었다. 그리고, 또한 성형폭약의 주 구성요소인 화약과 금속성 Liner를 유연성이 탁월하고 조성 성분들의 혼합성과 성형성이 우수한 가소화제를 사용하여 제작된 성형폭약의 가소화 정도가 폭발절단력에 미치는 영향을 검토하였다.

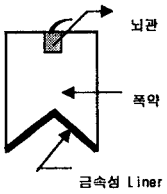
본 연구에서는 성형폭약의 주 구성요소인 화약은 PETN(Penthrit) 및 RDX(Hexogen)를 사용하였으며, Cu, Al, Fe Powder를 금속성 Liner의 소재로 사용하였다. 또한 일반적으로 가소화제로 적합하다고 생각되는 폴리이소부틸렌성분이 80wt%이상인 폴리부텐(P.B), 부틸고무(P.B), 디에칠헥실세바케이트(D.E.H.S)를 주 가소화제로 사용하였다.

2. 본론

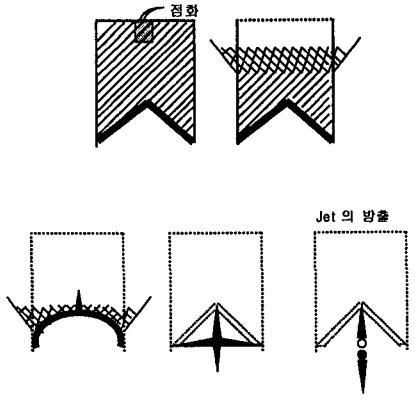
2.1 성형폭약(Shaped Charges)

폭발절단이란 Fig. 1의 (a)와 같이 특수한 형

태의 장약 형태로 된 성형폭약의 폭발에 의해서 절단대상물이 절단되는 것으로서 그 구성체인 화약과 금속성 Liner를 뇌관에 의해 폭발시키면, Fig. 1의 (b)와 같은 노이만(Neuman) 및 먼로(Monroe) 효과에 의한 폭풍압으로 금속성 Liner는 붕괴되고 고온, 고압, 고속도의 금속 Jet인 미립자가 방출된다. 이것이 금속성 Liner의 중앙에 집중되어 초고속의 Jet로서 절단대상물을 절단하는 것이다[1].



(a)



(b)

Fig. 1. Explosive jet-cutting mechanism of the Shape Charges

폭발절단용 성형폭약의 충전변수와 충전 이론(Cumulation Theory)의 주된 원리에 대해서 Schumann[2] 등은 금속제 Liner를 따라 발생된 Jet의 충돌로 인하여 고압이 만들어지고, 이때 Liner를 구성하고 있는 금속 재질의 강도는 무시되며, Liner는 이상적인 비압축 유체라는 가정에 기초를 두고 축 대칭으로 충전된 화약의 보다 세밀한 분석을 통해 Cumulation(누적)의 동적 이론이 성립될 수 있다고 하였다. 이러한 조건은 만약에 금속 Liner를 따른 Jet의 충돌로서 Jet의 압력이 $2x10^4$MPa이 되고, Jet의 속도가 4,000m/sec보다도 높게 된다면 유효하다고 하였다.

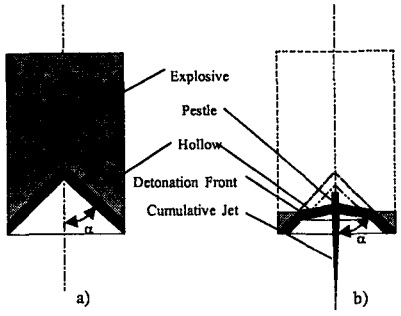


Fig. 2. Cross-section of the axisymmetrical cumulative charge with the conical metal hollow (a) and schematics of the cumulative jet formation (b).[2]

그리고, Fig. 2는 원추형의 금속 Liner와 충전되어 있는 Jet의 형성으로 인해 단면을 따라 축 대칭으로 형성된 충전 단면의 개략도를 나타낸 것으로서 초기에 단면과 평행하게 발생된 폭발파가 금속 Liner의 방향으로 화약을 따라 지나면, 충전되어 있던 Liner의 원소들은 바깥으로 분출되어 중심 쪽으로 이동한다. 충돌하는 동안 고속도의 Jet는 Liner 재료의 안쪽 층의 강한 흐름으로 인해 형성되며, 금속 Liner의 관통 없이 Liner 바깥 층의 낮은 속도의 Pestle (공이)를 따라 흐른다. 만약에 Jet의 속도가 4,000m/sec 이상이라면 폭발절단 원리는 다음과 같은 Hydro-Dynamic식[2]을 사용함으로 인해 설명될 수 있다

Barrie penetration depth

$$L = l \sqrt{\rho_j / \rho_b} \qquad [1]$$

Barrier penetration velocity

$$U = V_j \left(\rho_b / \rho_j + 1\right)^{1/2} \qquad [2]$$

Jet velocity

$V_j = V_0 \, ctg \, (\alpha / 2)$ [3]

l : Jet Length

ρ_j, ρ_b : The density of the jet and barrier metals

V_0 : The liner pressing out velocity

α: half of the liner cone opening angle

식 [1]에 의하면 절단깊이는 축적된 jet의 길이와 jet와 절단 대상물의 밀도의 루트에 비례한다. Jet의 늘어난 부분 즉 확장부가 움직임에 따라 가장 큰 절단 깊이가 장진 축으로부터 절단대상물이 어떤 초점거리 즉 stand-off distance가 될 때 형성된다. 또한 Jet의 침투율은 Liner 재질의 밀도에 의존하게 되는데 실질적으로 위의 Hydro-Dynamic 이론[2]을 만족할 수 있는 Liner의 적정 재질로서는 Cu와 Al, Mg, Fe 등의 연질 금속이 적용될 수 있으며, 폭발절단용으로 적정한 화약은 높은 폭발속도를 가진 Hexogen, Octagon, 혹은 다른 CIS Analogues와 같은 타입의 화약을 사용할 필요가 있다.

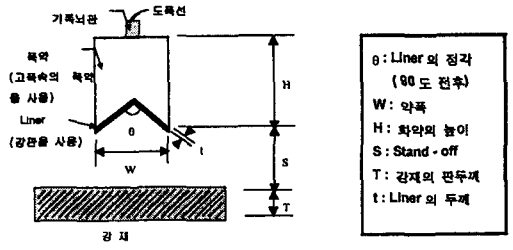


Fig. 3. A shape, variable of shaped charges

그리고, 화약의 폭발에 의한 금속 jet 미립자의 유동에 따른 절단 효과에 영향을 주는 요소들은 Fig. 3에 표시한 것과 같이 대상 철판의 재질 및 강도, Shape Charge 형상, 폭약의 종류, 장약량, Liner의 종류, Stand-off의 거리, 성형화약의 높이 및 폭, 기폭 방법 등을 들 수 있다.

2.2 실험방법

본 연구에 사용된 폭발절단용 성형폭약의 주구성원인 화약은 비중이 1.77g/cc, 융점이 141℃, 폭속이 8,400m/sec, 폭발열은 1,400kcal/kg. 이고 입도가 (74~295)μm 이상인 것이 80%인 PETN과 비중이 1.81g/cc, 융점이 204℃, 폭속이 8,500m/sec, 폭발열은 1300kcal/kg.인 RDX 분말을 사용하였다.

그리고, PETN 과 RDX 화약이 각각 25wt% 및 75wt%로 혼합된 화약원료를 85wt%로 하고 폴리이소부틸렌(P.I.B) 성분이 80 wt% 이상인 폴리부텐(P.B) 7wt% 와 부틸고무 4wt% 그리고 디에칠헥실세바케이트 4wt%로 구성된 가소화제를 사용하여 성형시켰다.

이때 사용된 Liner는 (200~325) #가 80% 이상인 Cu Powder를 사용하였고, 성형화약과 동일한 비율로 가소화제를 첨가하여 가소화된 금속성 Liner의 가소화 정도가 폭발절단 효과에 미치는 영향을 비교하였다. 이때 금속성 Liner의 두께는 1~7mm로 변화시켜 Liner의 두께에 따른 영향을 검토하였다.

또한, 화약을 둘러싼 장전 Shell 및 케이스는 제작이 용이한 재질 중에서 기공율이 30%인 우레탄 폼 타입의 케이스를 사용하여 제작된 성형폭약으로 실험하였다. 한편 본 연구에 사용된 절단 시험편은 일반 구조용 강재인 두께 20mm의 SS41 및 SS41C 의 후판 및 SPS30의 각형 강관을 사용하였으며, 철골구조용으로 폭넓게 사용되는 6~15mm의 Angle에 대한 실험도 병행하였다.

Fig. 4 및 Table 1은 본 연구에 사용된 절단 시험편의 규격 및 형상을 나타내고 있으며, Table 2 는 사용된 폭발절단 시험편의 기계적 특성을 나타내고 있다.

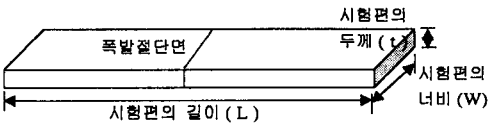


Fig. 4. The schematic of explosive jet-cutting specimen

Table 1. The shape and type of explosive jet-cutting specimen

Specimen	Thickness (mm)	Size (L x W)
Plate	20	50 x 25
Steel Pipe	5 ~ 8	-
Angle	6 ~15	6 x 6 7.5 x 7.5

Table 2. The mechanical property of explosive jet-cutting specimen

Specimen	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)
SS41	41(402)	25(245)
SSC41	41~55(402~539)	25(245)
SPS30	30(294)	24(235)

2.3 실험결과 및 고찰

2.3.1 가소화제 양의 변화에 따른 폭발절단 효과

성형폭약의 주 구성요소인 성형 화약은 입도가 (74~295)㎛ 인 것이 80%이상 PETN과 RDX 화약을 각각 25wt% 및 75wt%로 혼합하였고, 금속형 Liner의 최적의 가소화제를 선정하기 위하여 가소화제로 사용되는 폴리부덴(P.B), 부틸고무(P.R), 디에칠헥실세바케이트(D.E.H.S)를 사용하여 밀도가 1.50g/cc 인 성형폭약을 제조하였다..

그리고, 혼합된 화약 원료에 가소화제 양을 각각 5~25% 첨가하여 Paste화시킨 것을 사용하였으며, 이때의 Liner의 각도는 90° , 사용된 시험편은 두께 20mm, 시험편 재질은 SS41 강재, Stand-off Distance는 5mm로 하여 가소화제의 비율에 따라 폭발 절단된 시험편의 폭발절단 깊이를 측정하였다.

그 결과, PETN 과 RDX가 혼합된 화약의 가소화제양의 비율이 증가할수록 폭발 절단된 시험편의 폭발절단 깊이는 감소하는 것을 알 수 있었으며, 그 경향은 일정하게 나타났다. 이러한 이유는 가소제의 양 증가에 따라 상대적으로 강재를 절단 할 수 화약량의 감소에 따른 것으로 사료된다.

따라서, 성형폭약 가소화제로 가장 기본적인 재료인 폴리부텐을 사용한 성형폭약의 주 구성요소인 화약과 금속형 Liner의 적당한 가소제의 투입비는 가소화 상태와 강재 절단능력과의 관계를 고려하면 (5-15)%가 가장 적정함을 알 수 있었다.

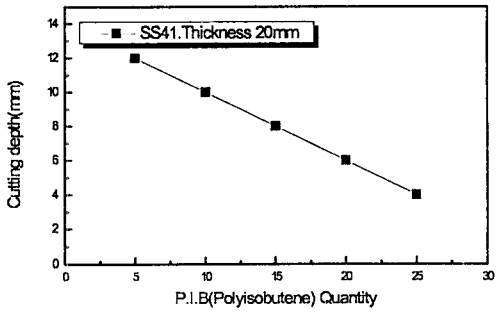


Fig. 5. 가소화제 양의 변화에 따른 폭발절단 효과

2.3.2 Liner의 각도변화에 따른 폭발절단효과

폭약의 밀도가 1.50g/cc, 입도 (74~295)㎛ 이상인 것이 80%인 PETN과 RDX 화약이 각각 25 wt% 및 75wt%가 함유된 화약원료를 85 wt%로 하여_가소화제의 주성분인 폴리이소부틸렌(P.I.B) 성분이 80 wt% 이상인 폴리부텐(P.B) 7 wt%, 부틸고무 4 wt% 및 디에칠헥실세바케이트 4 wt%로 구성된 가소화된 화약과

200~325#가 80% 이상인 Cu Powder에 화약과 동일한 비율로 가소화제가 배합된 금속성 Liner의 각도 변화에 따른 절단효과를 비교하기 위하여 일반적으로 철골구조용 재료로 가장 많이 사용되는 두께 20mm의 SS41C 탄소강재를 사용하여 실험하였다.

그 결과, 금속성 Liner의 각도가 90° 까지는 증가할수록 폭발절단효과 즉 폭발 절단된 강재의 깊이는 증가하는 것을 알 수 있었으며 Liner의 각도가 90° 일 때가 가장 큰 값을 나타내었다. 이것은 Liner의 각도가 30° ~120° 로 증가함에 따라 각각의 성형된 화약으로부터 생기는 에너지의 분산되는 양은 같다고 하더라도 화약의 상대적인 위치는 전체적인 절단효과에 상당한 영향을 미치며 원뿔 형태의 배치에서 성형된 화약의 각도는 Liner 표면 안쪽에서 방사되는 화약에너지의 힘이 중심점 근처에서 교차될 수 있는 90°가 가장 크기 때문이라고 사료된다.

따라서, 금속성 Liner의 각도 변화에 따른 폭발절단 효과를 고려할 때 Liner의 각도가 강재 절단능력에 영향이 매우 큼을 알 수 있었다.

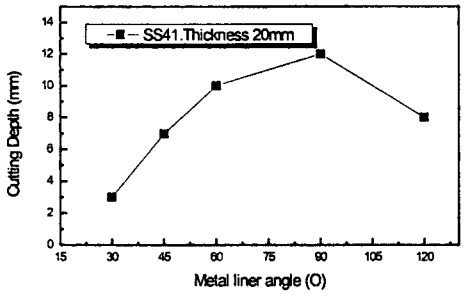


Fig. 6. 금속성 Liner의 각도 변화에 따른 폭발절단 효과

2.3.3 폭발절단 깊이에 미치는 가소화 화약의 밀도 및 입도 분포의 영향

성형폭약의 성형된 화약의 주된 원료로 사용되는 PETN 및 RDX 화약의 밀도 및 입도 분포가 절단깊이에 어떠한 미치는 영향을 알아보기 위하여 가소화된 화약의 밀도를 1.10 g/cc에서 1.50g/cc으로 변화시켰으며, 또한 화약의 입도를 44㎛이하, 74~147㎛를 90%로 한 것 및 147~295㎛를 80% 함유된 3 종류의 입도 분포로 된 것으로 제조된 성형폭약으로 폭발절단시험편의 절단깊이를 조사하였다.

이때, 성형폭약의 화약 및 금속형 Liner의 가소화제는 PETN과 RDX 화약이 각각 25wt% 및 75wt%가 함유된 화약원료를 85 wt%로 하고, 가소화제인 폴리이소부틸렌(P.I.B) 성분이 80% 이상인 폴리부텐(P.B) 7 wt%, 부틸고무 4 wt% 및 디에칠헥실세바케이트 4 wt%로 구성되도록 하였다.

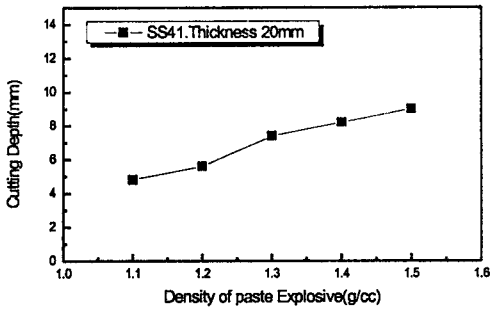


Fig. 7. 폭발절단 깊이에 미치는 가소화 화약 밀도의 영향

Fig. 7에는 폭발절단 깊이에 미치는 가소화 화약 밀도의 영향의 나타낸 것으로서 밀도가 증가함에 따라 폭발절단 효과는 거의 직선적으로 증가하지만 그 변화의 폭은 크지 않음을 알 수 있었다.

이것은 성형폭약의 제조 시 사용된 가소화제인 폴리부텐(P.B), 부틸고무 및 디에칠헥실세바케이트 등의 PETN 및 RDX 화약의 폭발절단력에 미치는 영향의 관점과 가소화상태를 최적의 값은 1.5 g/cc임을 알 수 있었다.

그리고, 가소화된 폭약의 입도 분포를 44㎛이하, 74~147㎛를 90%로 한 것 및 147~295㎛를 80% 함유된 3 종류의 입도 분포로 된 것으로 제조된 성형폭약으로 폭발절단시험편의

절단깊이를 조사하였다. 그 결과, 3종류 동일하게 SS41 20mm 두께의 시험편에 대하여 Fig. 8과 같이 거의 11~12mm까지는 절단 가능함으로서 최적의 성형화약의 입도 분포는 44~295μm까지 폭넓게 사용할 수 있다는 결론을 얻었다.

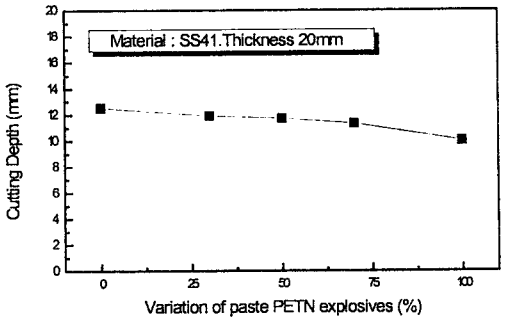


Fig. 8. 폭발절단 깊이에 미치는 화약의 입도분포의 영향

2.3.4 폭발절단 깊이에 미치는 PETN 및 RDX 혼합의 영향

본 연구에서 성형폭약의 폭발절단력에 미치는 가소화제의 영향을 보다 깊이 있게 관찰하기 위해서는 성형폭약의 주된 원료로 사용되는 PETN, RDX 등의 역할에 대하여 알아볼 필요가 있는데, 사용되는 주된 목적은 화약에 의해 생성되는 고압과 충격으로 인해 목표물을 향해 가속되는 분자들을 공급하는 것이라고 초기의 성형폭약의 원리에 대해서 규명해왔던 Charles E. Monroe가 1888년에 주창하였다.

또한, 이러한 화약은 절단대상물에 타격되면 화약의 폭발에 의해 야기된 고속의 분자들은 목표물을 향해 많은 양의 동에너지로 변화시켜 목표물을 변형시키게 된다.

따라서, 본 연구에서는 Fig. 9와 같이 PETN 및 RDX 화약을 적정 비율로 혼합하여 가소화시켜 절단깊이에 미치는 영향을 조사하였다. 가소화제의 비율은 동일하게 한 다음 화약 원료의 구성비를 100% PETN 및 RDX를 기준으로 하여 각각 25~75%로 변화시켰다. 그 결과 화약 원료의 배합에 따른 영향은 극히 작으며 단지 RDX 화약의 비율이 증가할수록 폭발절단 능력은 조금 증가하는 것을 알 수 있었다.

이러한 경향은 PETN이나 RDX의 폭발속도나 폭발열의 차이가 크게 나지 않게 때문이라 사료된다.

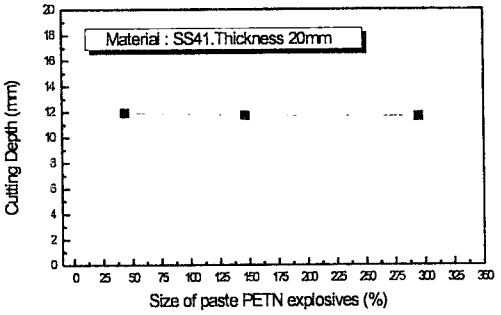


Fig. 9. 폭발절단 깊이에 미치는 PETN 및 RDX 혼합의 영향

2.3.5 Paste Liner의 재질 및 두께가 절단 깊이에 미치는 영향

성형폭약의 금속제 Liner는 연질 금속류인 Cu, Al, Mg, Fe계 합금과 Plastic 등이 많이 사용되고 있으며 이러한 재료들의 중요한 역할은 화약에 의해 생성되는 고압과 충격으로 인해 절단 대상물을 향해 가속되는 무거운 분자 즉 금속 Jet를 제공하는데 있다.

따라서, 본 연구에서는 현재 가장 많이 사용되는 Cu, Al, Fe Powder 재료를 폴리부텐(P.B), 부틸고무, 디에칠헥실세바케이트 등의 가소화제를 사용하여 Paste화시킨 Liner의 두께 및 재질이 폭발 절단 효과에 어떠한 영향을 미치는가를 실험하였다. 본 연구에 사용된 Paste Liner의 사양은 Table 3과 같다.

그리고, Fig. 10과 Fig. 11은 재질별로 Liner의 두께를 달리하여 절단깊이와의 관계 및 시험 장면을 나타내고 있는데 Cu, Al, Fe 3종류의 Liner 모두 두께가 증가할수록 절단깊이는 상대적으로 증가한다. 또한, Liner의 두께가

3mm에서 최고 값을 나타내며 그 이상의 두께에서는 절단깊이가 Liner의 두께에 비례하여 증가하지 않고 일정한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

Table 3. The material, thickness and angle of Liner

Type	Thickness (mm)	Angle (°)	Test Thickness (mm)
Cu	1~7	90	20
Al			
Fe			

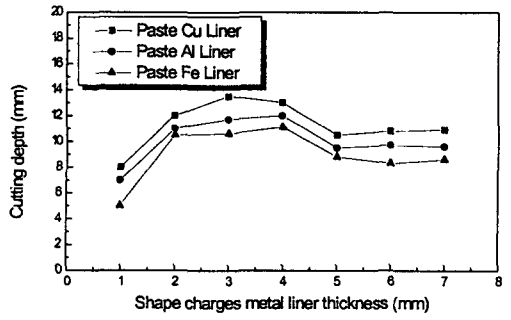


Fig. 10. 폭발절단 깊이에 미치는 Paste Liner 재질 및 두께의 영향

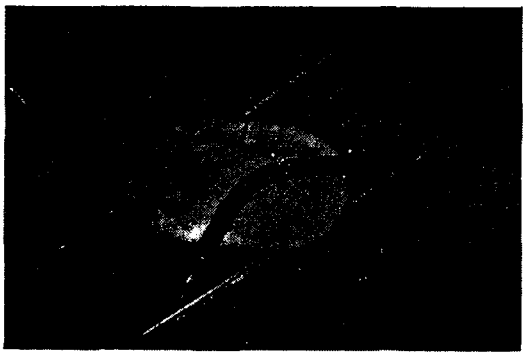


Fig. 11 Paste화 된 금속제 Liner를 이용하여 제작된 성형폭약의 폭발절단

이것은 Liner의 재질에 대해서는 폭발속도가 7,000m/sec 이상의 PETN 및 RDX 화약의 폭발력이 가소화된 금속제 Liner를 순간적으로 타격을 가할 경우 고속의 metal jet화 경향은 용융온도가 1,083℃로 높은 Cu가 그보다 낮은 온도인 659℃에서 용융되는 Al 보다도 높기 때문으로 생각된다.

그리고, 또 하나는 밀도의 영향이라고 할 수 있는데 Table 4에서와 같이 Fe는 용융온도는 1,539℃로 Cu나 Al에 비해서 높지만 밀도가 8.94g/cm^{3}인 Cu에 비해서 낮기 때문에 폭발절단력은 Cu Powder로 Paste된 금속성 Liner가 가장 폭발절단 효과가 크다고 할 수 있다.

Table 4. The Properties of the Cu, Al, Fe metal

Element	Density (g/cm^3)	Melting Point (℃)
Cu	8.94	1,083
Al	2.71	659
Fe	7.874	1,539

이외에도 금속성 Liner의 연성 또한 Metal Jet 기류의 절단 대상편으로의 침투(Penetration)에 큰 영향을 미치지만 Cu, Al, Fe 모두 비슷한 값을 가지므로 이에 대한 영향은 없는 것으로 하였다.

2.3.6 가소화된 성형폭약의 금속제 Liner가 Stand-off Distance에 미치는 영향

가소화된 화약 및 금속제 Liner로 제작된 폭발절단용 성형폭약이 시험편에 부착시 절단대상물과의 거리인 Stand-off Distance의 변화에 따라 절단 효과에는 어떤 영향을 미치는가를 알아보기 위하여 일반 구조용 강재로 많이 사용되는 두께 20mm의 SS41 후판에 대하여 성형된 화약 및 금속제 Liner가 가지는 변수는 동일하게 한 후 Stand-off Distance를 2~10mm까지 변화시켜 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

일반적으로, Stand-off Distance는 성형폭약의 Liner로 사용되는 금속재료에 따라 크게 변화된다. 즉, 화약의 폭발에 따라 형성된 고온,

고압의 금속 Jet 기류는 시험편의 침투제로서 역할을 하여 떨어지는 거리가 증가하면 Jet 기류의 침투 시간도 상대적으로 더 필요로 하며 일정한 거리를 지난 후에는 축방향으로는 방사상 형태로 약해지는 경향이 있다.

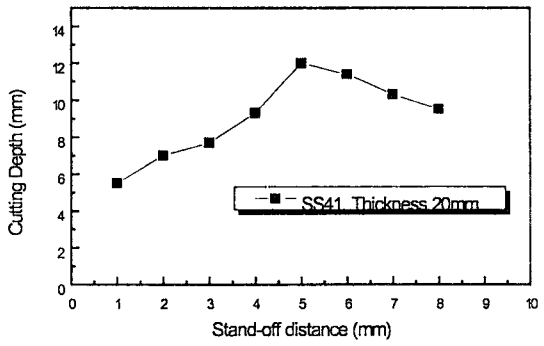


Fig. 12 Relation of Stand-off Distance and cutting depth

따라서, Fig.12에서와 같이 본 연구에서의 동일한 두께의 절단 대상 시험편에 있어서는 성형폭약과의 거리가 멀어질수록 절단능력은 떨어짐을 알 수 있으며, 이것은 성형된 화약의 폭발에 의한 폭발력이 Liner를 고속, 고열로 metal-jet를 형성시킨 뒤에는 절단능력을 좌우하는 것은 Liner의 두께 및 화약의 양에 우선 지배를 받는다는 Reinhart의 이론[3] 과도 잘 일치한다. 따라서, 두께 20mm의 SS41후판의 폭발절단을 위한 가소성 성형폭약의 절단 대상물과의 적절한 Stand-off Distance는 5mm임을 알 수 있으며, 그 이상과 이하의 거리에서는 오히려 절단효과가 감소하는 경향을 나타내었다.

3. 결론

이상과 같이 본 연구에서 사용된 성형폭약의 주 구성요소인 PETN 및 RDX 화약과 금속성 Liner를 혼합성과 성형성이 우수한 가소화제인 폴리부텐(P.B), 부틸고무, 디에칠헥실세바케이트 등을 사용하여 가소화 시킨 다음 성형폭약의 폭발절단력에 미치는 가소화도의 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 성형폭약의 가소화제로의 주원료는 폴리부텐(P.B)이 적합하였으며, PETN 및 RDX 화약과 금속성 Liner와의 가장 적절한 배합비는 5~15%이었다.

2) 가소화된 금속성 Liner의 각도가 90° 일 때까지 폭발절단 효과는 증가하였다.

3) 가소화제가 첨가된 PETN 및 RDX 화약의 폭발절단력에 미치는 폭약의 밀도의 영향은 크나 입도 분포의 영향은 크지 않다. 최적의 값은 밀도 1.5 g/cc 와 입도 분포는 44~295μm 이었다.

4) 가소화된 PETN 및 RDX 화약의 혼합에 따른 절단 효과의 영향은 크지 않았으며 단지 RDX 함량이 증가할수록 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

5) Cu, Al, Fe 3종류의 Liner 모두 두께가 증가할수록 절단깊이는 상대적으로 증가하며, 두께가 3mm에서 최고 값을 나타내었다.

6) 두께 20mm의 SS41 후판의 폭발절단을 위한 가소성 성형폭약의 절단 대상물과의 적절한 Stand-off Distance는 5mm임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Dobrushin. L.D, Volgin.L.A : "Explosive cutting by linear core-shaped charges and its on-land, underwater and heavy-duty applications", DVS 185,1995, pp.131~135
2. St. Schumann, H.U. Freund, W. Horning : "Explosive Pipe Cutting by Shaped charges in an Annular Configuration", Battelle-Institut e.V., D-6000 Frankfurt/M.
3. Reinhart D, Pirson D : "Explosion treatment of metals", Moscow, Mir, 1966, pp.396.