

선형 성형폭약의 기능적 측면에 대한 고찰

임석빈¹⁾, Paul Worsey¹⁾

An Investigation of the Functioning and Side Effects of Linear Shaped Charges

Seok-Bin Lim and Paul Worsey

초록 : 일반적 의미의 성형폭약이라 함은 폭약 중에 빈공간이 존재하여 표면쪽으로 개방되어 있는 한덩이의 고폭약을 말한다. 이런 이유로 절단 단면의 형상은 주로 V 자형을 이루고 있으며 보통 V자의 뾰족한 부분이 기폭부분이 된다. 성형폭약은 그 생김새를 기준으로 크게 2가지로 나눌 수가 있는데 원뿔형과 선형이 그것이다. 원뿔형 성형폭약은 그 초기 발전단계부터 군용 대장갑용으로 명성을 떨쳤으며 현재에도 많은 연구가 진행되고 있는 상태이다. 이에 비해 선형 성형폭약은 칠구조물 해체나 여러 용도의 민간/상업용 절단도구로 많이 쓰이고 있는데 두 번의 세계전쟁을 치루며 엄청난 규모의 물질적 인적 지원을 바탕으로 발전한 원뿔형 성형폭약에 비해서 턱없이 연구실적이 부족한 상태이다. 이 논문에서는 일반적인 선형 성형폭약의 관통력에 대한 연구가 아닌 기능적 측면에 대한 연구결과를 서술하며, 기능적 측면상 중요한 몇 개의 항목에 대한 수량화, 정의 및 연구가 이루어진다. 그 항목으로는 발전거리(run up distance), 이격거리(stand off distance), 기폭위치에 따른 절단모양, 파편 분산 형상 등이 있으며 각 항목에 대한 하류 항목들은 본문에서 다루어진다. 모든 실험은 University of Missouri-Rolla, Rock Mechanics and Explosives Research Center에서 이루어 졌으며 대부분의 실험은 500grain/ft 선형성형폭약을 사용하여, 기폭 후 철제목표물을 관통한 형상 및 관통 단면을 관찰하는 형식으로 이루어 졌다.

1. 서 론

선형 성형폭약(Linear Shaped Charges, LSC)의 가장 주된 용도는 칠구조물 해체 또는 절단 등이 있다. 일반적으로 V 자형 고폭약(high explosives)을 여러 가지 금속 (구리, 납 등)이나 분말형 금속 혹은 플라스틱 폼(연성 선형 성형폭약)으로 둘러싸고 있는 형상을 하고 있는데 그 제조 공정을 보면 금속 외피 선형 성형폭약의 경우 일반적인 원형 금속판에 부분적으로 고폭약을 삽입하고 V 자형 원형 형태를 통과시켜 금속판 안의 화약을 강하게 압축하여 일정수준 이상의 밀도를 주며 형을 완성하는 방식이다.¹⁾ 성형폭약의 형상은 그 기능적 측면에서 매우 중요한 요소이며 이런 의미에

서 성형폭약의 제조는 많은 주의와 정밀도가 요구되며 그 형상과 고폭약의 밀도에 따른 파편의 비행 모양이나 관통력이 크게 달라지게 된다. 이 논문에서는 선형 성형폭약의 사용에 있어서 중요한 일반적인 기능적 특성에 대해 서술한다.

2. 실 험

대부분의 실험은 500grain/ft (manufactured by Accurate Energetic System LLC. US) 선형 성형폭약을 사용하였으며 기폭장치로는 775mg 의 RDX를 내장한 선형 성형폭약 전용 뇌관(AAP-3 LSC Booster, manufactured by Accurate Energetic System LLC. US)에 일반 전기 뇌관이 연결된 25grain/ft 도폭선을 연결하는 방식으로 하였다. 절단 목표물로는 선형 성형폭약의 절단체가 완전히 절단할 수 없을 정도의 두께 및 길이를 가진 철을 사용하여 절단 단면의 형상을 완벽하게 보존 할 수 있게 하였고 목표물과의 이격거리를 측정하였으며 선형 성형폭약 양쪽 끝에서 분출되어 나오

1) Rock Mechanics and Explosives Research Center
Department of mining Engineering University of
Missouri-Rolla

접수일 : 2005년 11월 5일

는 절단체의 절단형상을 보전 하기위해 나무로 된 U자형 이격기(standoffs)를 제조 사용하였다.

2.1 이격거리(stand off distance) 실험

이격거리는 성형폭약의 최하단부에서 절단/관통 대상체 표면까지의 수직거리를 말하며, 최적 이격 거리(optimum stand off distance)란 선형 성형폭약 기폭 후 최대 절단성능을 보이는 지점에서의 이격거리를 의미한다. 일반적으로 이격거리는 과다하게 증가하거나 감소하게 되면 절단 성능도 비례적으로 감소하는 것으로 알려져 있으며 이런 의미에서 최적이격거리를 유지하는 것은 최대 절단력을 얻기 위해 중요한 요소가 된다. 각 크기별 선형 성형폭약 (500, 600, 900, 1200 grain/ft)의 최적 이격거리를 구하기 위해 선형 성형폭약을 15° 각도로 철제 목표물에 설치한 후 기폭시켰다 (Fig. 1, 2). 선형 성형폭약의 기폭부분과 반대쪽 끝부분의 효과를 무마시키기 위해 철제 목표물보다 충분히 긴 선형 성형폭약을 사용하였다. 실험결과는 Table 1에 정리 하였다.

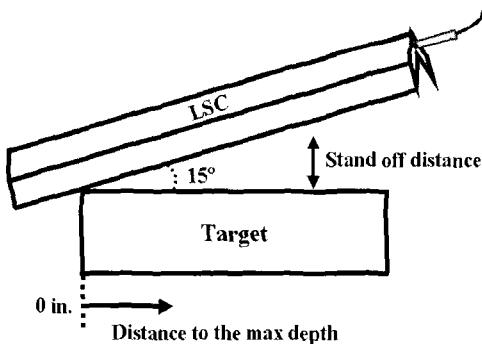


Fig. 1. Schematic diagram of stand off distance set test.

2.2 발전거리(run up distance) 실험

일반적인 화약의 기폭에 있어서 화약이 기폭되는 순간부터 그 화약이 가지고 있는 최대의 폭발력을 나타내는 순간까지 어느 정도의 시간이 걸리게 되는데 이 시간을 발전시간(run up)이라 하며 발전시간까지 도달하기위해 소모되는 화약의 양적 거리 (기폭 시작점부터 최대 폭발력을 나타내는 지점까지 폭발 충격파가 전파된 거리)를 발전거리라 한다. 선형 성형폭약 또한 이런 효과가 기폭초기 순간에 발생하게 되고 이 부분이 발전거리로 나타나게 된다. 선형성형폭약의 사용에 있어서 발전거리는 선형 성형폭약의 능률을 저하시키며 복잡한 단면형상의 목표물을 절단해야 하는 상황에서 가장 큰 장애물이 되게 된다. 발전거리가 미치는 비효율적인 절단부분을 없애기 위해 절단대상체보다 약 2in. 정도 긴 선형 성형폭약을 사용하는 것은 일반적으로 알려져 있으며 이 여분길이를 overhang이라 한다. 이 실험에서는 여분길이의 수량화를 목표로 기폭화약량 또는 여러 크기의 선형 성형폭약에 따른 발전거리의 변화를 조사하였다.

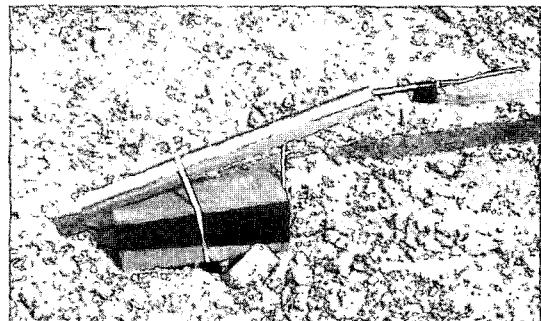


Fig. 2. Stand off distance set test.

Table 1. LSCs sizes and stand off distance (refer to Fig. 1)

LSC size (gr/ft)	Distance to the maximum depth	Mean distance	Stand off distance
500	1~2 in.	1.5 in.	0.55 in.
600	1.5~2.5 in.	2 in.	0.6 in.
900	2~3 in.	2.5 in.	0.71 in.
1200	2.5~3.5 in.	3 in.	0.83 in.
2000	2.5~3.5 in.	3 in.	0.83 in.

기폭화약량이 발전거리에 미치는 영향

선형 성형폭약의 기폭에 있어서 기폭시키는 화약량이 미치는 발전거리의 영향을 알기 위해 같은 크기의 선형 성형폭약에 다른 양의 기폭화약을 이용하여 기폭하였다. 일반적인 전기뇌관의 기폭화약의 양을 조절한다는 것은 불가능함으로 C4 (RDX based) 고폭약을 사용하여 기폭화약량을 조절하였다. 최소량으로 AAP-3 Booster 그리고 2, 4, 6, 8, 10g의 C4와 최대 C4, 15g에 SOB (Slip-on booster, 15g PETN based) 를 연결 30g 의 기폭기 (primer) 를 제조 500grain/ft선형성형폭약에 연결하여 실험 하였다. 절단면의 불규칙한 모양을 감안하여 (절단깊이는 10%내외에서 변화), 발전거리는 선형 성형폭약의 기폭 지점부터 최대 절단깊이

의 80% 에 도달하는 지점으로 설정하여 절단면을 관찰하였다. 실험결과는 Fig. 3 과 Table 2 에 나타냈다.

기폭화약의 불규칙한 밀도 및 기폭화약과 선형성형폭약과의 미세한 접촉부의 차이에 의해 다소 불규칙한 경향을 나타내었지만 전체적인 기폭화약량에 따른 발전거리의 경향은 알 수 있었다. 기본적으로 기폭화약량이 증가 할수록 발전거리는 감소하는 경향을 볼수 있었다. 최소0.9in.(22.9mm)까지의 발전거리 감소 (67% of the run up with the AAP-3 booster initiation) 를 관찰할 수 있었는데 이로써 일반적인 선형 성형폭약 기폭 시 좀더 많은 양의 기폭화약이 필요하지 않나 하는 의문점을 낸게 하였다.

Table 2. Effect of priming size

Initiator	Total Charge weight (g)	Run up Distance in.(mm)
AAP-3 booster	0.775	1.25(31.8)
AAP-3 booster	0.775	1.35(34.3)
AAP-3 booster+2g C-4	2.775	1.06(26.9)
AAP-3 booster+4g C-4	4.775	0.87(22.1)
AAP-3 booster+6g C-4	6.775	1.11(28.2)
AAP-3 booster+8g C-4	8.775	1(25.4)
AAP-3 booster+10g C-4	10.775	0.99(25.1)
#8 cap+SOB	16	0.91(23.1)
#8 cap+SOB+15g C-4	31	0.9(22.9)

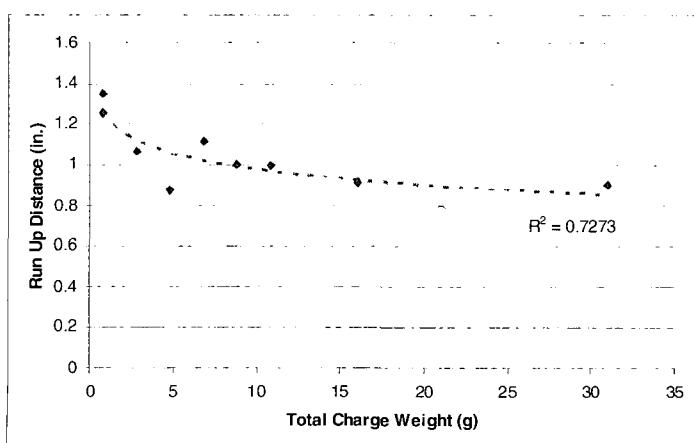


Fig. 3. Primer sizes and run up distance on the same LSC size.

같은 양의 기폭화약이 다른 크기의 선형 성형폭약 발전거리에 미치는 영향

선형 성형폭약의 실제 사용(ex, 철구조물 해체)에 있어서 여러가지 크기의 선형 성형폭약을 각기 다른 두께의 절단 대상체에 사용하는 것은 일반적이며 한 종류의 뇌관으로 여러 가지 다른 크기의 선형 성형폭약을 기폭시키기 하는 것은 경제적인 측면에서나 시간적인 측면에서 많은 도움이 된다. 하지만 한 종류의 뇌관사용이 미치는 여러 가지 크기의 선형 성형폭약의 발전거리 변화는 어느 정도 일까. 그 영향을 알기 위해 4종류의 다른 크기의 선형 성형폭약 (500, 600, 900, 1200 grain/ft)을 각기 다른 크기의 철제 절단 대상체 위에 최적 이격거리와 이에 맞는 이격기(standoffs)를 사용하여 설치 한 후 AAP-3 booster를 사용하여 기폭시킨 후 절단면을 관찰하였다. 결과는 Table 3 과 Fig. 4에 나타냈다. 실험결과 발전거리는 선형 성형폭약의 크기에 비례적으로 증가하는 것으로 나타났으며 간단한 수학공식을 이용하여 500grain/ft 선형 성형폭약의 발전거리를 기준으로 표준화하니

발전거리는 거의 모두 일정한 것으로 나타났다 (Fig. 4).

2.3 기폭위치 실험

선형 성형폭약의 사용에 있어서 외곽을 구성하고 있는 금속제(구리)외피는 안쪽 고폭약의 기폭 시 충분한 구속력(confinement)을 주게 되어 화약자체가 가지고 있는 폭발력을 충분히 발휘 할 수 있도록 도와주며, Misznay-Schardin 또는 Monroe 효과²⁾로 인해 발생되는 폭발력의 집중에 첨가되어 운동에너지를 부과하게 되며, 금속성 관통자를 형성하여 좀더 낳은 관통력을 발생하게 한다. 이와는 대조적으로 이 금속제 외피는 고폭약을 기폭시키기 위한 뇌관의 부착 또는 삽입을 방해하는 역할을 하게 되어, 선형 성형폭약의 사용에 있어서 발생하는 90% 이상의 불발은 선형 성형폭약과 뇌관의 잘못된/느슨한 연결 또는 절단 대상체와 선형 성형폭약의 잘못된 연결에서 발생하는 것으로 알려져 있다.³⁾ 일반적으로 알려져 있는 선형성형폭약과 뇌관의 연결방법으로는 크게 4가지로 구분

Table 3. Different size of LSC and penetration depth

LSC size (gr/ft)	500	600	900	1200
Maximum depth in.(mm)	0.62(15.7)	0.77(19.6)	0.89(22.6)	1.03(26.2)
Run up distance in.(mm)	0.95(24.1)	0.98(24.9)	1.11(28.2)	1.35(34.3)

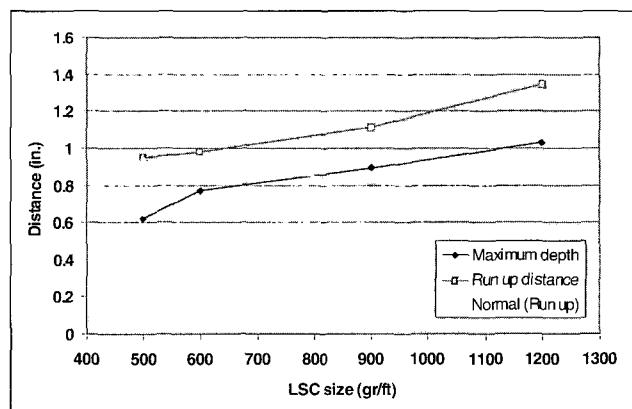


Fig. 4. Run up distance and LSC sizes.

될 수 있고 (Fig. 5) 절단 대상체의 모양 및 부착 상황에 따라 달라지게 된다. 선형 성형폭약과 뇌관의 부착에 있어서 아직까지 특별한 도구가 이용되지는 않고 있고 전적으로 사용자의 창조력에 의지하고 있으며 특히 주의할 점은 뇌관기폭의 진동으로 인해 선형 성형폭약 자체가 움직이거나 절단 대상체에서 떨어지게 되면 원하지 않는 방향으로의 절단이 이루어지게 됨으로 충분히 뇌관기폭의 진동을 견딜 수 있을 정도의 구속력을 갖추고 있어야 한다.

이번 실험에서는 500grain/ft 선형성형폭약에 AAP-3 booster를 4가지 방법으로 부착하고 절제 절단 대상체를 절단한 후 각각의 부착방법에 따른 절단 단면의 형상을 관찰하여 각 부착방법이 미치는 절단 형상을 조사하였다.

일점기폭(single end point priming)

3in. 길이의 선형 성형폭약의 한쪽 끝부분에 한개의 뇌관을 부착하여 실험하였다. 실험 후 절단 대상체를 길이 방향으로 절단한 후 선형 성형폭약에 의한 절단면을 관찰하였다 (Fig. 6).

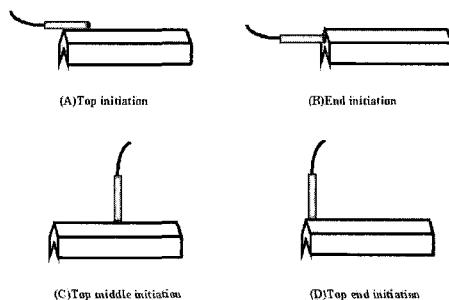


Fig. 5. Types of primer position.

초기 기폭시점을 시작으로 절단력이 증가하여 약 30° 정도의 기울기를 보이며 최대 절단점에 도달할 때까지 약 1.35in.의 발전길이를 보였다. 일단 최대 절단점에 도달한 이후로는 일정하게 최대 절단깊이를 보이며 선형 성형폭약의 끝에 도달하기 1/8in. 전까지 계속하여 유지하다가 다시 약 50° 정도의 급경사를 보이며 절단깊이 0에 도달하였다 (Fig. 7).

중간점기폭(min point priming)

6in. 길이의 선형 성형폭약에 기폭뇌관을 중간점에 설치한 후 기폭시켰다. 뇌관의 끝부분과 선형 성형폭약의 고폭약 부분이 직접 접촉할 수 있도록 뇌관 끝 부분크기의 홈을 쇠톱을 이용하여 선형 성형폭약의 윗부분에 만들고 뇌관을 삽입한 후 뇌관이 움직이지 않도록 목제 받침대를 설치한 후 실험을 하였다 (Fig. 8).

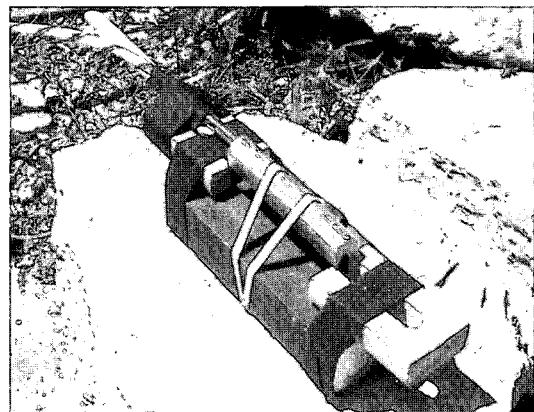


Fig. 6. Typical single end priming set up.

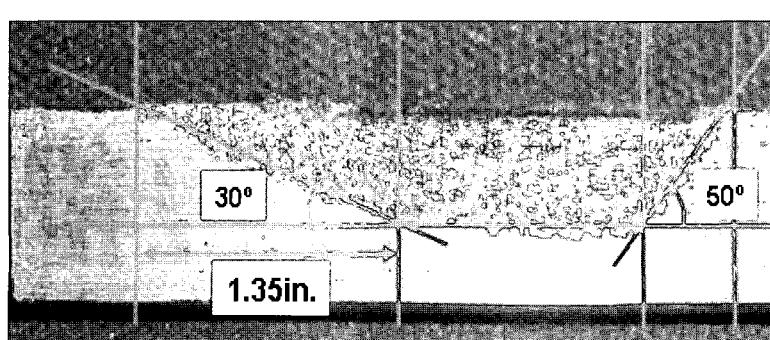


Fig. 7. Result from single end priming.

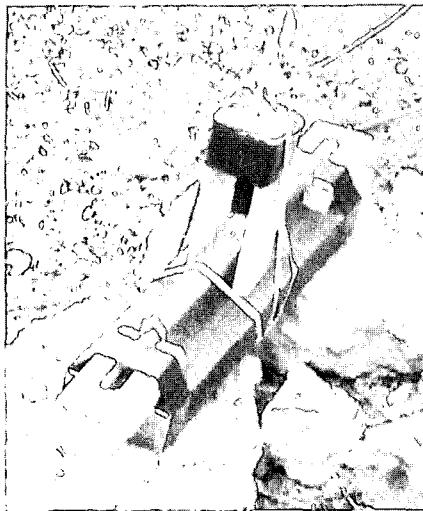


Fig. 8. Mid-point priming set up.

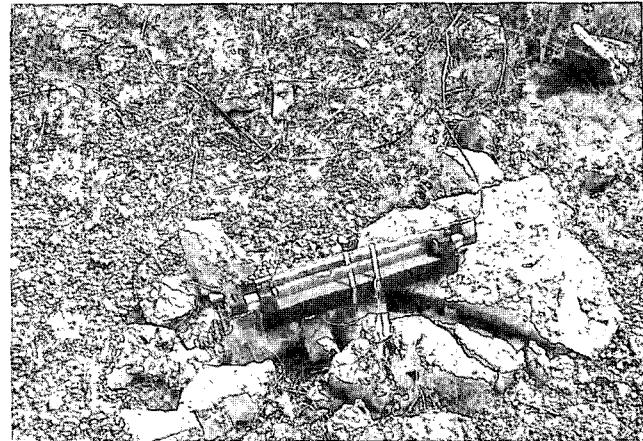


Fig. 10. Dual end point priming test set up.

기폭점을 중심으로 2개의 발전거리가 서로 반대 방향으로 퍼져나가 있는 것을 볼 수 있었다 (Fig. 9). 각각의 발전거리는 일점기폭에서의 발전거리와 거의 유사 하였고 최대 절단깊이 또한 별차이를 보이지 않았다. 특이할만한 점은 중간점기폭에서의 절단성능은 뇌관이 부착되어 있는 부분에서 2개의 발전거리가 서로 마주보는 이유로 최소의 성능을 보이고 실제 현장 사용에서 피해야 할 기폭 방법으로 풀이된다.



Fig. 9. Result from mid-point priming.

이점기폭(dual end point priming)

두개의 뇌관을 8in. 길이의 선형 성형폭약의 양쪽 끝에 부착하고 같은 길이의 도폭선을 이용하여 동시에 기폭시켰다 (Fig. 10).

실험결과 중간점기폭방법과는 정반대의 결과로 2개의 발전거리가 양쪽 끝 뇌관이 부착되어 있던 지점에서 형성이 되었다. 발전거리 및 최대절단 깊이는 모두 이전 실험과 거의 동일하였고 특이할만한 점은 양쪽에서 발생된 폭발 충격파가 만나는 지점에서 최대절단깊이보다 20%정도 증가한 깊이의 구멍형상의 절단면을 보였다. 양쪽에서 전파되어온 충격파와 자유면이 없는 금속외피의 강력한 구속

력이 가장 이상적인 폭발환경을 만들어 좀더 증가한 절단성능을 보인 것으로 풀이된다 (Fig. 11).

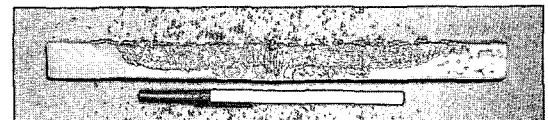


Fig. 11. Result from dual end priming.

선형기폭(linear priming)

점기폭 형식과는 반대로 4in. 길이의 선형 성형폭약을 선기폭 (동시기폭) 시키기 위해 선형 성형폭약의 윗부분에 3mm 두께의 긴 홈을 (Fig. 12) 낸 후 삼각형모양의 종이형 폭약 (flexible sheet explosives, Primasheet(r) 1000, 63% nominal PETN-based, 2mm thick) 을 이용하여 기폭시켰다 (Fig. 13, 14). 이 실험의 목적은 종이형 폭약을 이용하여 점기폭과는 달리 선형 폭발 충격파를 발생시켜 길이 전체의 선형 성형폭약을 동시 기폭시켜 절단 형을 보는 것이었다.

이해를 돋기 위해 실험결과의 사진을 일점기폭 실험결과와 같이 나열하였다 (Fig. 15). 실험결과 이전의 점기폭에서 볼 수 있었던 30° 정도 기울기를 갖는 발전거리는 발견할 수가 없었고 전체적으로 일정한 절단깊이를 보였다. 최대 절단깊이는 점기폭 방법과는 비교가 안될 정도로 적었고 (점

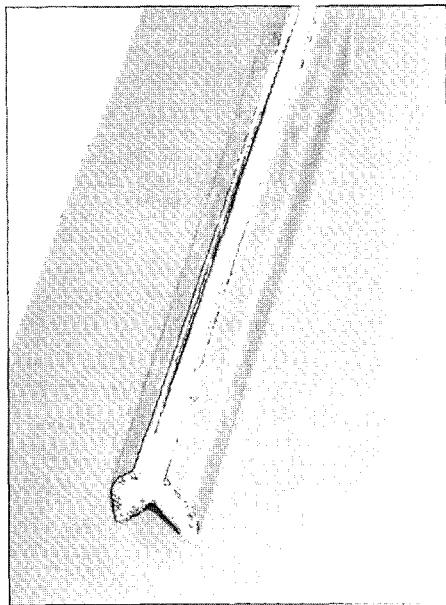


Fig. 12. A channel on top of a LSC.

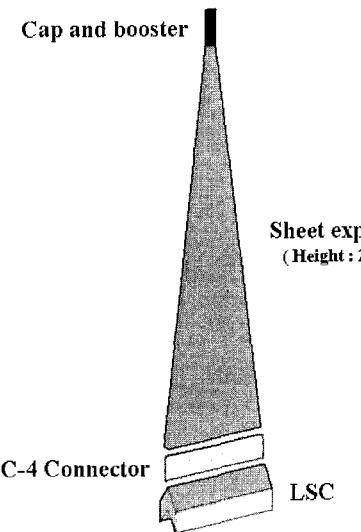


Fig. 13. Schematic diagram of linear priming test set up.

기폭 최대절단깊이의 약 60%) 절단면의 형상도 점기폭과는 달리 깨끗한 절단면이 형성되지 않았다. 최대절단깊이가 점기폭방법에 비해 적은 이유는 발전길이와 발전시간의 개념에서 찾을 수 있다. 점기폭에서는 발전길이가 수평방향으로 점진적으로



Fig. 14. Linear priming test set up.

증가하여 충분한 화약량 또는 시간을 소비한 후 최대점에 도달할 수 있었던 반면에 선기폭의 경우 발전길이가 점기폭과는 달리 수직방향으로 증가하게 되어 있어 수직방향으로의 길이가 수평방향의 길이보다 작은 형상으로 인해 충분한 화약 또는 시간을 소비하지 못한 채 (최대폭발력에 이르지 못하고) 금속 금속성 관통자를 형성하게 된다. 이런 이유로 관통자가 최대의 속도에 이르지 못하고 절단 대상체에 충돌을 하게 되어 절단성능이 낮아지는 결과를 얻게 된다.

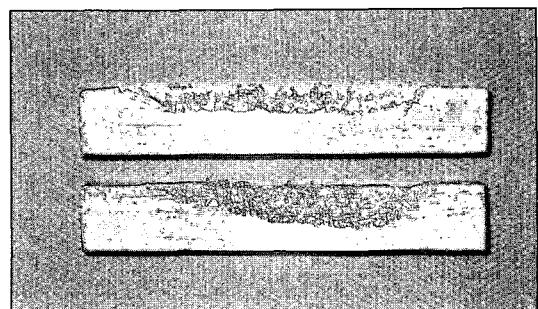


Fig. 15. Linear (top) and single end (bottom) priming profile.

2.4 선형 성형폭약의 파편 분산 형상

화약의 사용에 있어서 화약의 폭발 그리고 이에 따르는 급속한 가스팽창에 의해 분산되는 파편이 발생하는 문제는 전체적인 화약기폭시스템 자체를 무용하게 만들거나 안전상의 문제를 일으키기에

충분하다. 선형 성형폭약의 사용에 있어서도 이 문제는 예외가 아니어서 선형 성형폭약의 외피를 구성하고 있는 금속성재료가 주위에 미치는 영향은 인마 살상용 수류탄과 크게 다를 바가 없는 걸로 알려져 있다. 일반적으로 알려져 있는 선형성형폭약 관통자의 속도는 3~4 km/sec 인 반면에⁵⁾ 금속 외피 파편의 비행속도는 관통자 속도의 반 정도인 약 2 km/sec 것으로 측정이 되었다.⁴⁾ 일반적인 스틱형 화약의 장전 방식(천공·화약삽입·기폭)에서처럼 직접적인 표면으로의 화약 노출이 없고 화약 자체의 파편은 없는 것과는 달리 선형 성형폭약은 일반적으로 절단 대상체의 표면에 설치를 하게 되고 그 자체의 파편이 발생하는 이유로 기폭시차를 이용한 절단은 거의 이루어지지 않고 있지만 파편의 비행시간을 계산하고 전자뇌관을 이용한 단순한 시차 절단은 가능한 것으로 현장적용결과 밝힐 수 있었다.³⁾ 연성 선형 성형폭약은 이런 문제점을 극복하고 복잡한 단면형상에 적용할 수 있도록 개발이 되었다. V형 라이너를 분밀형 금속재질로 만들고 외피를 유연한 플라스틱 폼으로 만들어 유연하고 금속성 파편이 분산되지 않게 만들었다 (Fig. 16). 하지만 플라스틱 폼으로 만들어진 외피의 구속력의 한계로 인해 중심의 고폭약이 제 성능을 충분히 발휘하지 못해 절단력은 일반 금속성 선형 성형폭약보다 떨어지는 걸로 알려져 있다.



Fig. 16. Explosives cutting tape (Ensign-Bickford Aerospace and Defense Company).

선형 성형폭약의 금속외피 파편 분산모양을 알기 위해 5in. 길이의 선형 성형폭약을 6in. 길이에

1/4in. 두께를 가진 철 파이프 중심에 1mm 구리선을 이용해 설치를 하고 일점기폭 시킨 후 철 파이프 안쪽에 만들어진 형상을 관찰하였다. 철 파이프 안쪽에는 크게 5개의 파편자국과 그 사이의 조그만 파편자국이 남아있었다 (Fig. 17). 가장 아래쪽에 위치해 있는 관통된 부분은 V형 라이너에서 나온 관통자에 의해 형성이 된 것이고 나머지 위쪽에 위치해 있는 4개의 커다란 파편자국은 선형 성형폭약 외곽의 평평한 부분의 위치와 정확하게 일치 하였다. 이 실험결과로써 선형 성형폭약의 파편분산형상은 Misznay-Schardin effect (화약의 폭발에 있어서 폭발에는 방향성이 있게 되는데 그 방향은 화약표면의 수직이다) 로서 설명될 수 있었고,²⁾ 이를 기초로 파편의 분산방향과 그 양을 예상할 수 있었다.

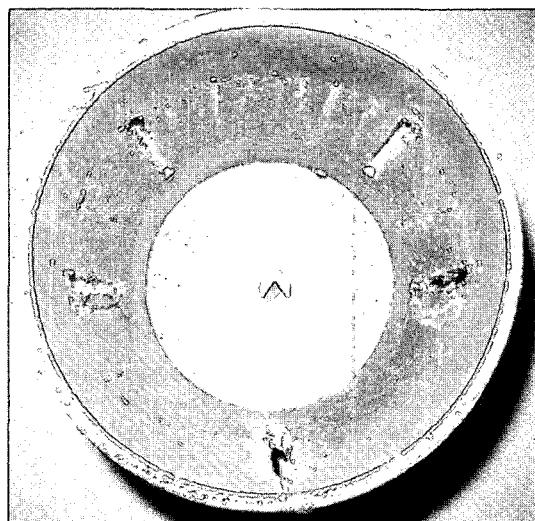


Fig. 17. Result of pipe test (Original position of a LSC at center).

2.5 고속카메라 실험

선형 성형폭약의 파편 분산형상과 관통자 형성 순간을 시각화 하기위해 3in. 선형 성형폭약을 Blasting chamber 안에 1mm 두께의 구리선을 이용하여 공중에 고정시킨 후 Cordin 010-A High-Speed Camera 를 사용하여 500,000 frame/sec (2μ sec per 1 frame) 의 속도로 폭발과정을 촬영하였다. 실험결과 총 26 frames 을 얻을 수 있었다 (Fig. 18).

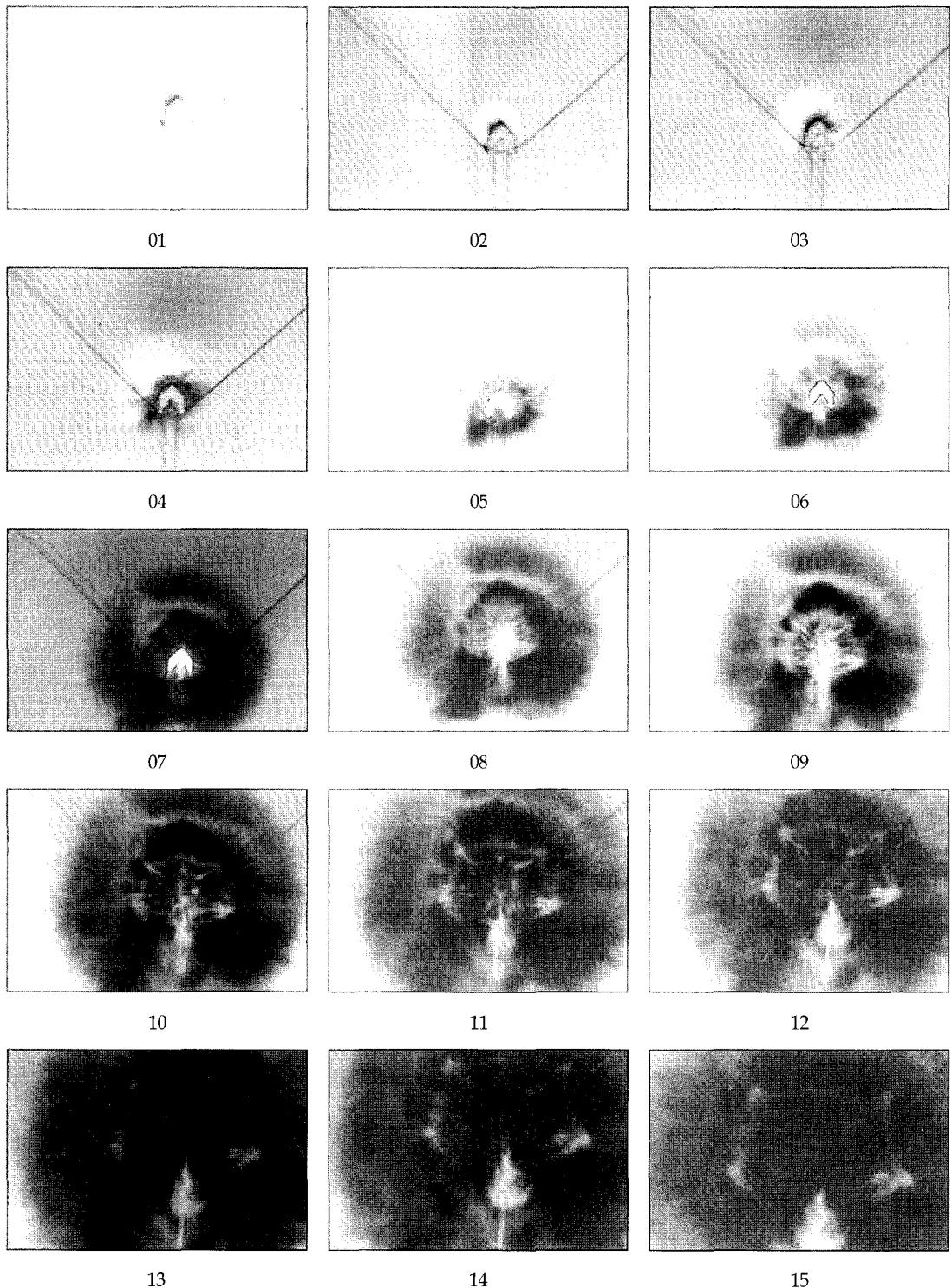


Fig. 18. Series of pictures of a LSC explosion.

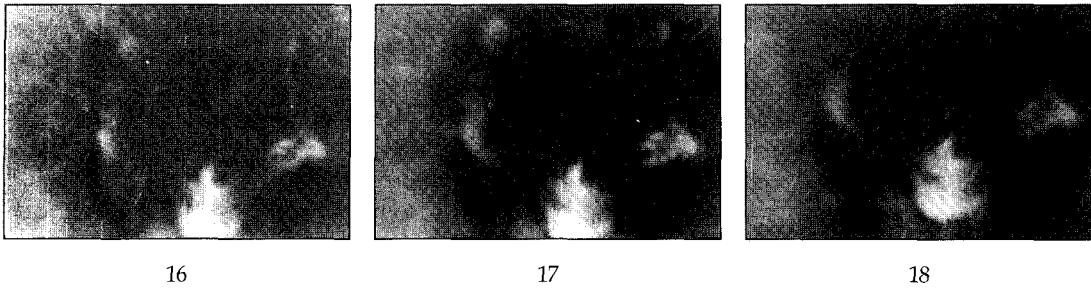


Fig. 18. (Continued).

실험 전 예상과는 달리 V라이너에서의 관통자 형성과정은 RDX로 구성된 화약특유의 검은색 팽창가스와 라이너의 충돌과정에서 발생하는 금속성 jet (metallic fumes)의 영향으로 관통이 불가능하였다. 반면에 팽창가스 속을 지나가는 파편의 형상은 명확하게 5각형 모양의 볼 수 있었고 (from frame #10 to #18), Misznay-Schardin effect를 시각적으로 재연할 수 있는 계기가 되었다. 기폭이 되는 순간부터 외곽을 둘러 쌓고있는 구리가 안쪽 화약의 폭발로 선형 성형폭약 자체의 대체적인 모양을 유지하며 팽창하는 모습을 볼 수 있었고 실제적인 관통자의 형성은 시각화 할 수 없었지만 관통자를 따르는 가스의 형상을 기초로 볼 때, 관통자는 V라이너의 충돌과 이에 이은 벡터적 합력에 의해 바깥쪽으로 분출이 되는 단계를 거치는 관계로 외피가 팽창되어 분산되는 초기시점보다 느리게 시작되는 것으로 관찰이 되었다 (from frame #3 to #8). 일단 관통자의 분출이 시작된 이후에는 그 초기의 모양을 그대로 유지하되 외피보다는 약 2배가량의 속도를 보이며 분출되는 것으로 예상된다.

3. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

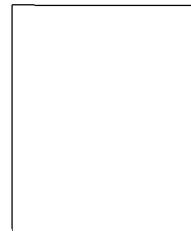
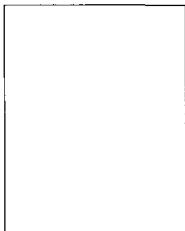
- 1) 선형 성형폭약의 발전거리는 기폭화약량에 따라 달라지며, 그 양이 늘어날수록 거리는 짧아지나 발전거리를 제거할 수는 없었고, 선형 성형폭약의 크기가 커질수록 발전거리 또한 늘어나는 경향을 보였다.
- 2) 발전거리는 기폭장치가 연결되어 있는 부분에서 볼 수 있었으며 일점기폭 방식이 가장 이상적이며 가장 큰 절단길이를 볼 수 있는 방법으

로 판명이 되었다.

- 3) 선형 성형폭약의 외피파편의 분산형태는 Misznay-Schardin effect를 따르며 이를 기초로 파편의 양과 방향을 예상할 수 있었다.
- 4) 선형 성형폭약의 안쪽 V라이너에서의 관통자의 형성은 그 벡터 적합력을 이용하는 이유로 외피의 분산보다 느리게 분출이 되며 그 속도는 외피 파편속도의 약 2배이다.

참고문헌

1. Lim, S. B., 2003, Investigation of The Characteristics of Linear Shaped Charges Used in Demolition, M.S thesis, University of Missouri-Rolla.
2. Lim, S., B. Lusk and P. N. Worsey, 2005, Mechanisms of Linear Shaped Charge Cutting - A New Explanation, Proceedings of the 31st Annual conference of ISEE.
3. Shapiro, G.(Shapiro Bros Inc.), E-mail correspondence. 2002-9-16.
4. Worsey, P.N., J. Baird and M. Schmidt, 1999, Maximizing Resolution of the High-Speed Photography of Explosive-Driven Power Generator (EDPG) Armatures in Operation, 12th IEEE Pulsed Power Conference, Monterey, CA.
5. Winter, P.L, D. M. Thornton and L. A. Learmonth, 1993, The application of Linear Shaped Charge Technology to Explosive Demolition of structures, The institute of Engineers Australia Dynamic Loading in Manufacturing and Service Feb.



임석빈

Rock Mechanics and Explosives Research Center
Department of mining Engineering
University of Missouri-Rolla

Paul Worsey

Rock Mechanics and Explosives Research Center
Department of mining Engineering
University of Missouri-Rolla
