

研究論文

폭약변수에 따른 폭발속도 변화에 관한 연구

김 희 진* · 강 봉 용*

A Study on the Change of Detonation Velocity with Explosive Variables

H. J. Kim* and B. Y. Kang*

Key words : detonation velocity, Dautriche method, explosive thickness

Abstract

Detonation velocity of domestic explosives was measured using the Dautriche method. The variables employed in this study were the thickness of explosive and the amount of salt added in the ammonium nitrate (AN) explosive. As the results of this study, it was shown that the detonation velocity increases with an increase of explosive thickness but decreases with an increase of salt content. It was further demonstrated that the detonation velocity decreases rather rapidly when the salt content increases over 20 percent. In addition, the accuracy of Dautriche method was evaluated as a preliminary study and its result showed that this method is quite reliable with an experimental error of less than 10 pct.

1. 서 론

폭발용접 (Explosive welding) 에 있어서 집합부의 품질은 기존 용접공정과 마찬가지로 공정변수의 선택에 의해 결정된다. 폭발 용접의 기본적인 공정변수로는 Fig. 1에서 보는바와 같이 충돌점에서의 충돌각(β) 과 부재 (flyer plate) 의 충돌속도 (V_p) 등이 있는데, 이들은 부재가 모재가 집합되는 순간에 형성되는 변수이기 때문에, 이들을 동적변수 (dynamic variables) 라고 한다.¹⁾ 그런데 이러한

동적변수는 폭약의 폭발속도 (detonation velocity, V_D , 이하 폭속이라 함) 과 경사각 (inclined angle, α) 등에 의해 결정되는데, 부재와 모재가 평행한 상태 (즉 $\alpha = 0$ 인 상태)에서는 동적변수 (V_p , β) 와 폭약의 폭속 (V_D) 사이에 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$V_p = V_D \sin \beta$$

여기서 V_D : Detonation velocity of explosive
 V_p : Flyer plate velocity

* 정희원, 생산기술연구원

β : Collision angle

따라서 품질이 우수한 폭발접합부를 얻기 위해서는, 즉 접합하고자 하는 금속에 적합한 동적변수의 용접 범위를 넓히기 위해서는 적절한 폭발속도를 가지는 폭약의 선택과 그 양을 결정하는 것이 대단히 중요하다.

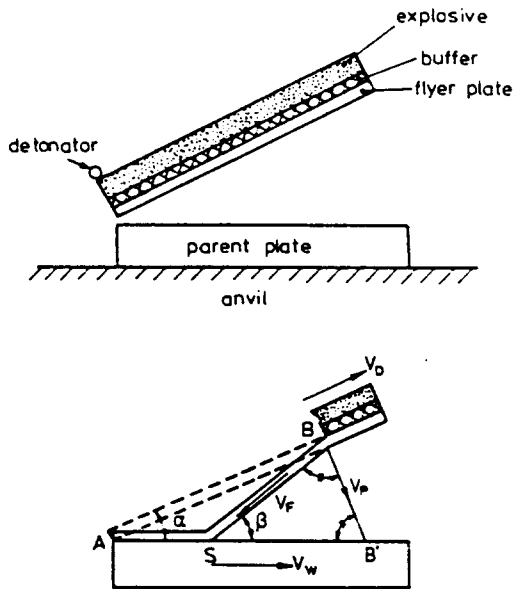


Fig. 1 Schematic illustration of explosive welding process and its dynamic variables.

일반적으로 폭약의 폭발속도는 폭약의 종류, 폭약의 밀도, 폭약의 양, 및 첨가재의 혼합비에 따라 변한다고 알려져 있는데, 폭발용접에 사용되는 폭약의 경우에 있어서는 주로 폭약의 양 및 첨가재에 따른 폭발속 변화가 연구의 대상이 되어왔다²⁾. 그러나 국내에서는 아직까지 국내에서 생산되는 폭약에 대해서 체계적으로 폭발속을 측정 한 시험결과가 보고된바 없을 뿐만 아니라, 국내에서 수행중인 몇 안되는 폭발용접 시공 마저도 폭발속 data가 없는 상태에서 주로 시행착오적으로 시행되고 있는 현실을 경험하여 본 연구를 수행하게 되었다. 본 연구에서는 먼저 폭발속 측정시험 방법을 정립하고자 하였으며, 다음으로는 이를 기초로하여 국내에서 생산되고 있는 폭약의 폭발속을 보다 체계적으로 시험하여 폭발속 data를 제공함으로써 국내 폭발용접 시

공의 기반을 구축 하고자 하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

국내에서 산업용으로 가장 많이 사용하고 있는 폭약은 초안폭약과 ANFO의 두가지 종류인데, 본 실험에서는 국내 H사에서 생산하고 있는 초안(AN:Ammonium nitrate)폭약을 주로 사용하였으며, 이에 첨가되는 첨가재로써는 시중에서 판매되고 있는 소금을 사용하였다. 폭속에 변화를 주는 폭약변수로는 소금의 혼합비와 폭약살포 높이로 하였는데, 혼합비는 무게비로 소금의 양을 10, 20, 30%로 하였다. ANFO는 필요에 따라 비교재로 사용하였다.

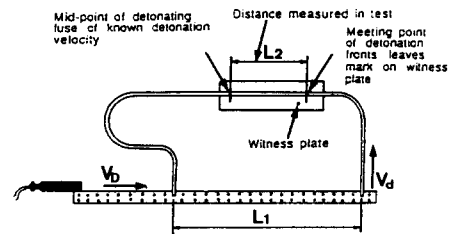


Fig. 2 Schematic illustration of Dautriche method.

폭속 측정방법으로는 Fig. 2에서 도식적으로 보여주고 있는 Dautriche 방법을 채택하였는데, 이 방법은 폭속측정을 위한 여러가지 방법중 가장 간편한 방법이라고 알려져 있다²⁾. 이방법은 먼저 폭속을 알고 있는 도폭선(detoning cord)의 양단을 일정거리(L_1)를 가지도록 살포된 폭약 내부에 삽입시키고, 도폭선의 중간점을 금속 표시판(witness plate)위에 양면tape로 부착시킨 다음, 폭약의 일단에 뇌관을 설치하여 폭약을 기폭시키는 방법이다. 폭약이 기폭되면 도폭선 양단에서는 길이 L_1 만큼에 해당하는 시간 차이를 두고 폭발파가 전달되는데, 전달된 폭발파는 도폭선의 중간점으로부터 어느정도 떨어진 거리(L_2)에서 만나게 되고, 만나는 점에서는 두방향에서 전달된 폭발파가 충돌하여 보다 강력한 폭발압력을 발생하게 되어 금속 표시판 위에 뚜렷한 자국을 남기게 된다.

시험결과로써 거리 L_2 가 주어지게 되면 시험재

폭약의 폭속은 다음식으로 부터 간단히 계산된다.

$$V_D = V_d \frac{L_1}{2L_2}$$

- 여기서, V_D = 측정하고자 하는 폭약의 폭속
- V_d = 도폭선의 폭속
- L_1 = 도폭선 양단거리
- L_2 = 도폭선의 중간점과 폭발과가 만난 지점간의 거리

준비된 폭약은 스티로폼을 절단하여 제작한 사각 용기에 살포하고 다듬질하였는데, 마무리 처리가 끝난 초안폭약의 밀도는 0.7~0.8g/cc 가 되었다. 도폭선은 직경 5.4mm의 것을 사용하였으며 길이는 3m로 하여 $L_1=150mm$ 가 되도록 설치하였고, 금속표시판은 50×500×9mm 크기의 Al판을 사용하였다.

Fig. 3은 폭속측정을 위해 도폭선 및 너관의 설치가 끝난 실제 시험 장면을 보여 주고 있으며, Fig. 4는 폭발시험후에 금속 표시판 상에 나타난 자국을 보여 주고 있다.

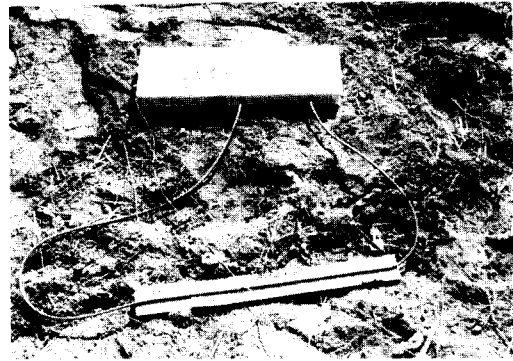


Fig. 3 Experimental setup of Dautriche method.

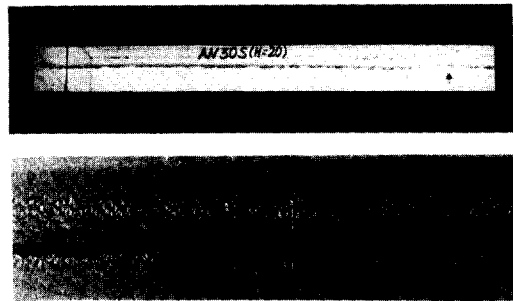


Fig. 4 Typical mark made on (a) Al witness plate and (b) near-sight view of the mark

3. 실험결과 및 검토

3.1 폭속측정 시험 오차

폭약의 폭속을 측정하는 방법으로는 폭속을 직접 측정하는 방법으로써 pin contactor 방법, pin insertion 방법 및 고속 촬영법 등이 있으나 이들은 모두 전기적인 장치 또는 고속사진기등이 필요하기 때문에 폭발용접 장소와 같이 전기시설을 설치하기 곤란한 곳에서는 사용하기가 어렵다.²⁻³⁾

따라서 본연구에서는 앞에서 설명한 바와 같은 Dautriche 방법을 사용하였는데, 이는 가장 간단하고 저렴하다는 장점이 있는 반면, 비교재로써 도폭선을 사용하기 때문에 도폭선의 폭속이 정확하지 않거나 부분적으로 변화가 있을 경우, 그로부터 발생하는 오차를 감수하여야 한다. 본연구에서 사용한 도폭선은 국내 H사에서 생산하고 있는 것으로써 폭속이 7000m/sec 로 보고되고 있는 것이다. 이밖에도 Dautriche 방법은 도폭선을 삽입하는

위치 및 길이 L_1 의 부정확성, 살포된 폭약의 높이 및 밀도의 변화등으로 측정 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본연구에서는 먼저 Dautriche 방법에서 발생할 수 있는 시험오차의 정도를 파악하기 위해 다음과 같은 실험을 실시하였다.

먼저 도폭선 설치 위치에 따른 오차의 정도를 파악하기 위하여 도폭선을 Fig. 5(a)에서 보는바와 같이 폭약의 상부(A지점)과 측면(B지점)에 각각 설치하여 폭속을 동시에 측정하였다.

측정결과는 Table 1에서 보여주고 있는데, A지점에서의 폭속을 기준으로 하였을때 B지점은 약 2% 정도의 차이만을 보여주고 있다. 이와같은 결과는 폭속에 미치는 측정위치, 즉 도폭선 설치 위치의 영향은 크지 않다는 것을 보여주고 있다. 이를 근거로 이후에 수행된 모든 폭속시험에서는 도폭선을 B지점에 설치토록 하였는데, 이는 A지점보다 B지점에 도폭선을 설치하는 것이 보다 용이 하

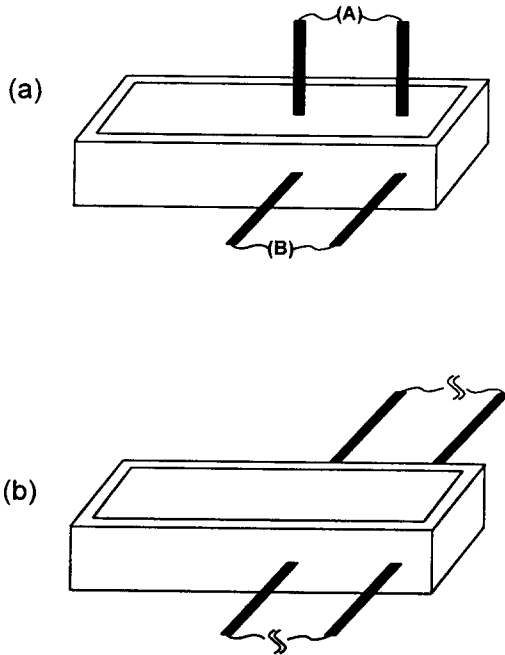


Fig. 5 Positions of detonating cord for evaluating experimental accuracy

Table 1. Effect of the measuring position on the detonation velocity

Position	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	V _D (m/sec)
A	150	216	2430
b	150	212	2477

였기 때문이다.

다음으로는 Fig. 5(b)와 같이 스티로폴 용기 양쪽 측면에서 도폭선을 삽입하여 동일한 조건에서 동시에 폭속을 측정하여, 본 시험방법의 시험오차 정도를 검토코자 하였다. 여기서 사용된 폭약도 역시 초안 폭약이었으며, 폭약의 높이(H)는 40, 60mm로 하여 각각에 대하여 측정하였는데, 그 실험 결과는 Table 2와 같다. 본 Table의 결과에서 알 수 있듯이 본 실험의 오차는 각각 8.2, 6.7%로 나타났는데, 이를 본 실험방법의 단순성을 감안하여 평가하여 보면 그렇게 크다고 할 수 있는 수치는 아니라고 판단하였으며, 만약 실험 준비과정에서 보다 세심한 주의를 기울인다면 이는 더욱 줄일 수 있는 수치라고 생각되어졌다.

Table 2. Experimental error in detonation velocity

H (mm)	L ₁ (mm)	L ₂ (mm)	V _D (m/sec)	Error (%) *
40	150	232	2263	8.2
		252	2084	
60	150	217	2420	6.7
		232	2263	

$$*Error(\%) = \frac{V_{D1} - V_{D2}}{V_{D(av)}} \times 100, \quad V_{D(av)} = \frac{V_{D1} + V_{D2}}{2}$$

3.2 첨가재의 영향

폭약의 폭속을 감소시키기 위하여 첨가되는 첨가재는 일반적으로 불활성 물질인데, 소금, 모래, 활석등이 가장 많이 사용되고 있다.²⁻⁴⁾ 본 실험에서는 소금과 초안 폭약을 여러가지 비율로 섞어서 혼합폭약을 만들고 혼합된 폭약 각각에 대해 폭속을 측정함으로써 소금혼합비에 따른 폭속 변화를 측정코자 하였다. 혼합폭약의 살포높이는 30mm로 일정하게 하였으며 기타 시험방법은 앞에서 기술한 바와 같다. 실험결과 SI 판 위에 나타난 표시자국을 Fig. 6에서 보여주고 있는데, 여기서 측정된 거리 L₂로부터 계산된 각각의 폭속은 Fig. 7과 같다. 예상했던대로 혼합폭약의 폭속은 소금의 양이 증가함에 따라 감소하였는데, 특히 소금의 양이 20% 이상에서는 폭속이 다소 급격히 감소하게 됨을 알 수 있었다.

3.3 폭약 높이에 따른 변화

폭약의 폭발속도가 폭약의 살포 높이에 따라 증가한다는 사실은 이미 보고된바 있으나 국내에서 생산되고 있는 폭약에 대해서는 보고된 바가 없다. 따라서 본 실험은 국내에서 생산되는 폭약에 대해 기초 data를 구축할 목적으로 수행되었는데, 초안의 경우는 H=10~130mm 범위에서, 초안+30% 소금의 경우는 H=15~40mm 범위에서 실험을 수행하였다. 시험을 수행하는 과정에서 폭약의 살포 높이가 어느정도 이상이 되지 않으면 폭발이 진행되지 않는다는 사실을 확인하였는데, 초안폭약은 살포 높이가 10mm 이하에서 그리고 초안+30% 소금의 경우는 살포 높이가 15mm 이하에서 폭발이 진행되지 않아 폭속 결과를 얻을 수 없었

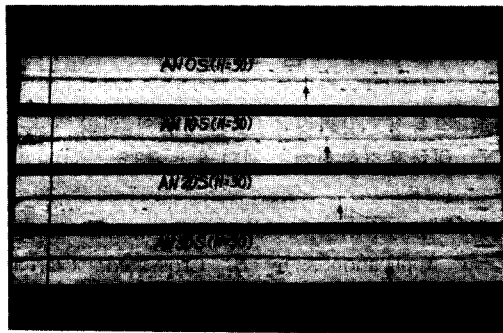


Fig. 6 Different position of marks with varying amount of salt from zero to 30 pct.

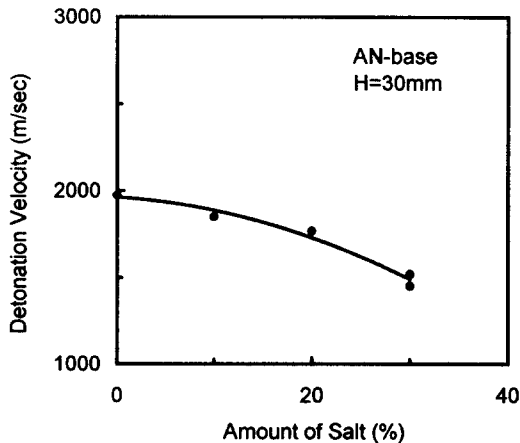


Fig. 7 Effect of salt addition on detonation velocity

다. 이러한 사실로부터 폭발이 계속적으로 위해서는 최소 두께의 폭약이 필요함을 알 수 있었는데, 부수적으로 ANFO 폭약에 대해 최소 두께를 확인해 본 결과 약 40mm 이상에서만 폭발이 진행되었다.

Fig. 8은 최소두께 이상의 범위에서 시험하여 얻어진 폭속 결과를 보여 주고 있다. 이 그림에서 보듯이 폭속은 폭약 살포 두께가 증가함에 따라 급속히 증가하다가 어느정도 두께 이상에서는 최고치에 수렴하게 된다.

초안(AN)의 경우를 예로들면, H=15mm에서 1,419m/sec이나 H=30mm에서는 1,974m/sec로 증

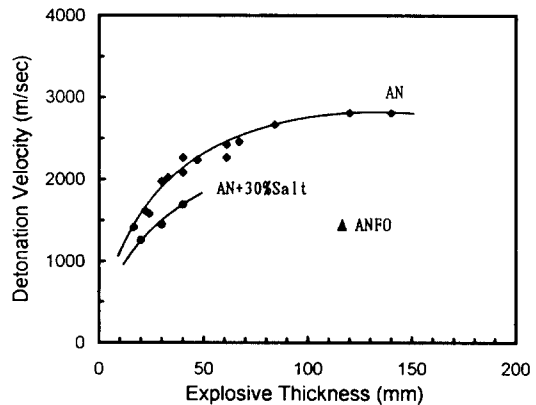


Fig. 8 Effect of explosive thickness on detonation velocity

가하고 H=60mm에서는 2,342m/sec로 증가하며, H>80mm에서는 최고치인 약 3,000m/sec에 수렴한다. 본 실험에서 보여주는 최대폭속은 수렴치인 관계로 두께의 영향을 거의 받지 않기 때문에 이를 폭약 고유의 성질이라고 할 수 있는데, 본 폭약을 제조판매하는 회사의 제품 소개 책자를 보면 초안(AN) 폭약의 폭속은 3,500m/sec라고 되어 있어, 본 연구 결과와는 커다란 차이를 보여주고 있다. 이러한 차이는 무엇보다는 측정에 사용된 폭약의 형상 및 밀도차이에 기인한다고 할 수 있다. 본 실험에서 사용한 폭약은 폭약 밀도가 약 0.74g/cc이고 평판 모양을 하고 있으나, 제조회사에서는 원통형 폭약에 밀도가 1.1g/cc로 되어 있어 상대적으로 폭속이 높게 나타나는 조건에 있다고 하겠다.²⁾ 또한 제조회사에 의하면 본 실험에 사용한 도폭선의 폭속은 7,000m/sec라고 되어있으나, 본 연구에서는 이를 검증할 방법이 없어 검증치 못한바, 도폭선 폭속이 정확치 못한데서 오는 오차도 완전히 배재할 수 없다고 하겠다.

4. 결 론

국내에서 생산되는 초안 폭약에 대하여 Dautriche 방법을 사용하여 폭속을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Dautriche 방법에 의해 측정된 폭속은 최대

10% 정도의 시험오차를 가진다.

(2) 폭발이 전체적으로 진행되기 위해서는 폭약에 따라 최소 살포 두께가 존재하는데, 초안 폭약의 최소두께는 15mm이며, 소금이 30% 혼합되어 있는 경우는 20mm이다.

(3) 폭속은 폭약 살포 두께가 증가함에 따라 증가하다가 최고치에 수렴하는데, 초안 폭약의 경우 약 3,000m/sec 에 수렴한다.

(4) 초안 폭약에 소금을 첨가하게 되면, 소금의 양이 증가할수록 폭속은 감소하며 소금의 양이 20% 이상에서는 보다 급격히 감소한다.

참 고 문 헌

1. 강봉용, 김희진 : "폭발접합의 원리와 특성", 대한용접학회지, 제11권, 제3호, (1993) pp 1~6
2. "Explosive welding of metals and its Application", by B. Crossland, Clarendon Press, Oxford (1982)
3. 문정기 : "이종재료의 폭발압접에 관한연구", 박사학위 논문, 홍익대학교 (1992)