

에멀전 폭약의 폭속변화에 따른 진동특성 연구

강 대우¹⁾, 안 봉도^{2)*}

Abstract We have compared a special character (pressure of explosion, gas volume, energy of explosion, temperature of explosion, strength) of different three emulsion explosives which is different velocity by Nitrodyn program that is calculated explosion reaction. We have analyzed the character of the vibration from a vibration data which is a result from test blasting in different velocity of detonation for three emulsion explosives of the same size (17mm) in the same rock. As a result, the vibration is decreased when the velocity of detonation is decreased within 40m from origin of explosion but it is familiar character over 40m, so there isn't much affect the velocity of detonation in decreased vibration over 40m.

KeyWords: emulsion explosives, vibration, velocity of detonation

초 록 폭속이 서로 다른 에멀전폭약의 특성값(폭발압력, 가스량, 폭발에너지, 폭발온도, 스트레ング스)을 폭발반응 계산 프로그램인 Nitrodyn을 사용하여 구하였으며, 또한 동일 암반 조건에서 17mm약경의 폭속이 다른 3종류의 에멀전 폭약을 시험발파 하여 얻은 진동자료를 가지고 진동의 특성을 분석하였다. 그 결과 발파원에서 40m 이내의 근거리에서는 폭속이 감소함에 따라 진동이 감소하였으나, 그 이상의 거리에서는 거의 유사하여 40m 이상의 거리에서는 진동 감소에 폭속이 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

핵심어: 에멀전폭약, 진동, 폭속

1. 서론

발파에 의한 지반진동은 화약류의 폭발로 생기는 것이므로, 진동의 크기와 화약류의 성능과의 사이에는 상관관계가 있다고 알려져 있다. 妹澤克推, 金井清씨¹⁾의 연구에 의하면 발파압력이 최고치가 되는 시간이 짧은 화약류를 사용하면 진동이 크고 주파수가 높게 되는 경향이 있고, 발파압력이 최고치가 되는 시간이 긴 화약류를 사용하면 진동이 감소되고 주파수도 낮아지는 것으로 나타난다. 한편, 발파압력의 시동시간은 폭속과 밀접한 관계가 있으며, 일반적으로 폭속이 빠른 화약류일수록 발파압력이 최고치가 되는 시간이 짧게 되므로 발파에 의한 지반진동의 크기나 주파수도 사용하는 화약류의 폭속과 밀접한 관계가 있음을 이해할 수 있다.²⁾ 예를 들어 藤井喬, 谷本親伯씨³⁾는 폭속이 다른 3종류의 폭약을 커트발파를 실시할 때의 진동을 측정하여 폭속이 낮으면 발파에 의한 지반진동이 어느 정도 감소되는가를 연구 나타내고 있다. 그러나 일반적으로 에멀전 폭약의 위력 및 에너지를 높이고자 하는 연구는 국내·외에서도 꾸준히 연구 개발이 진행되고 있으나, 이와는 반대로 에멀전폭약을 이용하여 폭속 및 에너지를 낮추고자 하는 연구는 거의 없는 실정이다. 본 연구에서는 동일약경의 에멀전폭약을 사용하여 폭속이 다를 경우와 발생하는 진동의 크기와 상관관계를 알아보고자 외국에서⁴⁾ 폭약의 위력 저감용으로 주로 사용된 발포폴리스티렌 구체를 사용하

1) 동아대학교 지구환경공학부 교수

2) 동아대학교 자원공학과 박사 수료

여 폭속을 낮춘 에멀전 폭약을 사용하여 발파시 발생하는 지반진동을 측정 폭속과 진동과의 상관관계를 알아보았다.

2. 대상지역의 지질

본 대상지역에 분포하는 지질은 백악기 경상계의 상부유천층군과 불국사 화강암류로 대별되며, 안산암류가 주구성암석이며 지표지질조사시 대규모의 단층과쇄대는 발견되지 않았고 절리면의 분포는 N20°E/90°, N50°W/90°의 2방향이 주류를 이루고 그 외 불규칙한 절리면의 발달이 있고 암회색의 색조를 띤다. 구성암석의 물성치 실험결과는 일축압축강도가 1,260kg/cm², 인장강도가 130kg/cm²이다.

3. 화약류의 특성

3.1 폭속

일반적으로 폭속은 화약류의 폭발속도를 말하며, 약포의 지름, 약약의 양, 약약의 성분, 폭발할때의 저항, 장전밀도, 뇌관의 힘, 장전방법등에 의해 지배를 받는다. 국내에서 폭속시험은 KS-M-4802에서 규정하는 방법이 있다. 그러나 본 시험에서는 세계적으로 공인되고 국내화약 제조사에서 사용하고 있는 Instantel사의 VM0122측정기(Fig 1.)를 사용하였다. 이 측정기는 Timer식과 저항식을 두 가지 방식으로 측정할 수 있는 기계이며 본 시험에서는 저항식을 기준으로 시험을 실시하였다.5)



Fig 1. VM0122(VOD test machine)

3.2 폭발압력S

원칙적으로 폭발에너지는 폭약이 폭발할 때 발생하는 고온, 고압 등을 고려한 에너지를 열역학적으로 구하는 것으로, 이를 특수 계산이라고 하며, 일반 물질과 화약류가 다른 점은 일반물질이 화학적 변화를 하기 위해서는 외부로부터 산소를 공급 받아야 하는데 비해서 화약류는 자체가 산소를 공급하거나 기폭의 도움으로 화학적 변화를 일으킨다는 점이다. 화약류가 방출하는 에너지는 밀폐된 상태에서 화학적 반응으로 생성된 가스의 최종상태의 에너지이므로 시간적 개념은 없으며 화학반응이 빠르거나 늦거나에 따른 차이를 나타내지 못하는 결점이 있다. 화약이 폭발할 때 폭발가스의 압력을 p_1 , 그때의 가스가 점유하는 부피를 v_1 이라 하면 기체의 상태방정식에 따라 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$p_1 v_1 = nRT_1$$

위의 식에서 $p_1 v_1$ 나 nRT_1 의 값은 폭약이 폭발한 후 외부에 대하여 일할수 있는 능력을 에너지 차원으로 표시한 것이므로 화약의 힘(force of explosive)또는 비에너지(specific energy, f)라고 하고 비에너지의 계산은 다음과 같이 한다.

$$p_1 v_1 = nRT_1$$

화약 1Kg이 폭발할때의 생성가스 압력 $p_0=1$, 온도 $T_0=0^\circ\text{C}=273^\circ\text{K}$ 에서 얻어지는 용적을 v_0 라 하면 기체법칙으로부터 $p_0 v_0 = nRT$ 가 되고, 이것으로부터 $nR = p_0 v_0 / T_0 = v_0 / 273$ 이 된다. 이것을 $T_1 - T_0 = Q/nC_V$ 에 대입하면 비에너지 f 는 $f = nRT_1 = v_0 T_1 / 273$ 으로 표시되며 이 식의 단위는 atm-l이다.6)

화약류의 폭발압력을 실제 측정하기란 상당히 어려우며 외국의 경우 대규모의 수조에서 폭약을 폭발시켜서 발생하는 기포를 이용하여 구하는 방법도 있으나, 일반적으로 화약 반응분석 프로그램을 이용하여 화약 조성물에 따른 반응결과를 구한다. 본 연구에서는 스웨덴 Dyno nobel사의 화약류 반응결과 분석 프로그램인 Nitrodyne을 이용하여 폭발압력을 구하였다.

4. 폭속에 따른 반응결과 분석

폭속변화에 폭약의 폭발압력, 폭발온도, 가스량등의 상관관계를 비교하기 위해 Nitrodyne 프로그램을 사용하여 구한 각각의 반응 결과는 Fig 2와 같으며, 폭약의 폭발속도는 폭발압력과는 비례적인 관계가 나타났지만 폭발열, 폭발온도, 가스량등은 폭속보다는 OB(옥시젠밸런스)에 더욱 더 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

NITRODYNE CONSTANT VOLUME THERMOCHEMICAL CALCULATION FOR ----- SPECIES AMMONIUMNITRATE SODIUM NITRATE WATER DODECAN (FO) INERT MATERIAL DENSITY 1130.00 KG/M3		OXYGEN BALANCE 2.19 % GAS VOLUME (NTP) 889.24 L/KG EXPLOSION PRESSURE 25454.29 ATM EXPLOSION TEMPERATURE 2248.92 K HEAT OF EXPLOSION 783.32 KCAL/KG HEAT OF REACTION (CONSTANT PRESSURE) 679.83 KCAL/KG 2.84 MJ/KG
V O · D 4,300m/s		
NITRODYNE CONSTANT VOLUME THERMOCHEMICAL CALCULATION FOR ----- SPECIES AMMONIUMNITRATE SODIUM NITRATE WATER DODECAN (FO) INERT MATERIAL POLYSTYRENE DENSITY 810.00 KG/M3		OXYGEN BALANCE -2.40 % GAS VOLUME (NTP) 986.65 L/KG EXPLOSION PRESSURE 13794.22 ATM EXPLOSION TEMPERATURE 2338.73 K HEAT OF EXPLOSION 745.84 KCAL/KG HEAT OF REACTION (CONSTANT PRESSURE) 721.89 KCAL/KG 3.02 MJ/KG
V O · D 2,400m/s		
NITRODYNE CONSTANT VOLUME THERMOCHEMICAL CALCULATION FOR ----- SPECIES AMMONIUMNITRATE SODIUM NITRATE WATER DODECAN (FO) INERT MATERIAL POLYSTYRENE DENSITY 720.00 KG/M3		OXYGEN BALANCE -5.14 % GAS VOLUME (NTP) 921.30 L/KG EXPLOSION PRESSURE 11165.51 ATM EXPLOSION TEMPERATURE 2269.66 K HEAT OF EXPLOSION 717.18 KCAL/KG HEAT OF REACTION (CONSTANT PRESSURE) 692.84 KCAL/KG 2.90 MJ/KG
V O · D 2,100m/s		
Emulsion explosives species ratio		Reaction result

Fig 2. Result using the nitro dyne program

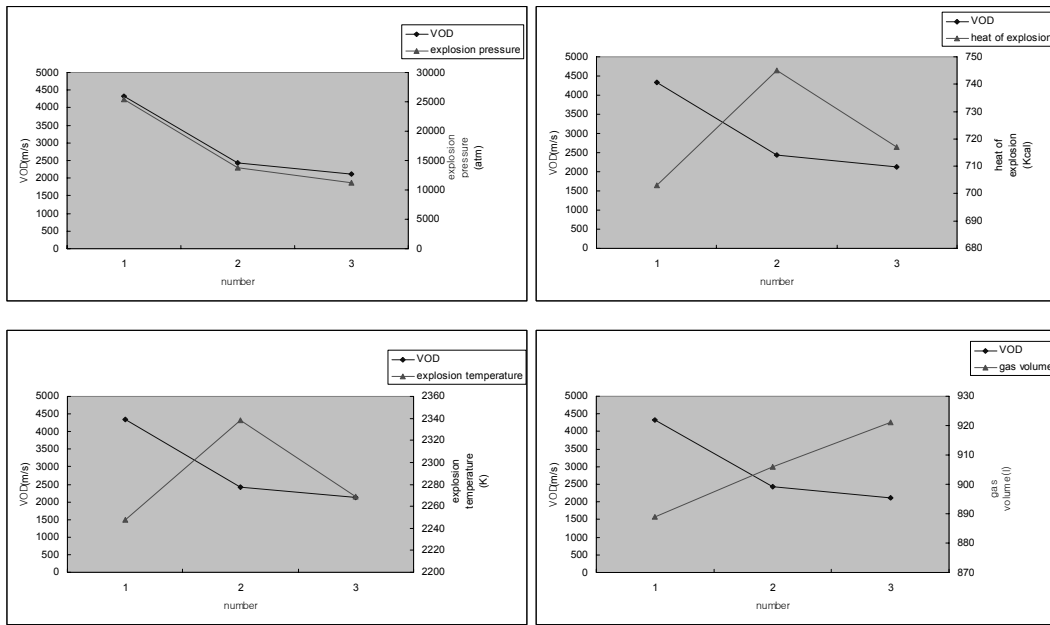


Fig 3. Relationship of VOD and emulsion explosives specific

5. 현장 발파실험에서의 폭속에 따른 진동계측결과

시험발파는 안산암으로 구성된 암반에 폭속이 다른 17mm 약경의 에멀전폭약을 천공장 1.5m~1.8m에 공당장약량과 공수를 변경하여 순발 및 지발너관을 사용하여 폭속별로 각각 30여개의 진동측정자료를 획득하였으며, 측정된 진동자료는 자승근과 삼승근 환산거리에 대한 단순회귀분석(Regression Analysis)을 실시하여 분석하였다. 약경이 동일한 에멀전 폭약의 폭속변화에 따른 발파진동의 크기를 비교하기 위하여 평균회귀식을 사용하여 자승근, 삼승근 환산거리에 대하여 비교하였고 그 결과 환산거리의 범위를 10~100으로 설정하면 폭속이 정상폭속(4,300m/s)인 에멀전폭약보다 폭속이 44% 감소된 에멀전폭약이 자승근에서 0.73~0.84배, 삼승근에서는 0.70~0.81배 정도로 진동이 낮게 나타났고, 폭속이 51% 감소된 에멀전폭약은 자승근에서 0.66~0.87배, 삼승근에서는 0.60~0.83배 정도로 진동이 낮게 전파되는 것으로 나타났다. 그러나 폭속 감소된 에멀전 폭약만의 비교에서는 자승근에서는 40m, 삼승근에서는 46m이내의 거리에서는 폭속이 낮아짐에 따라 진동도 낮게 나타났으나, 그 이상의 거리에서는 오히려 진동이 높게 나타났다.

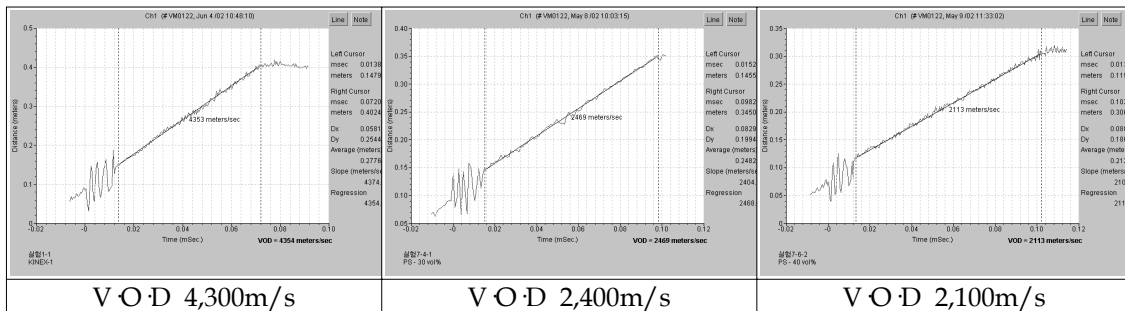


Fig 3. V·O·D graph of three kind of emulsion explosives

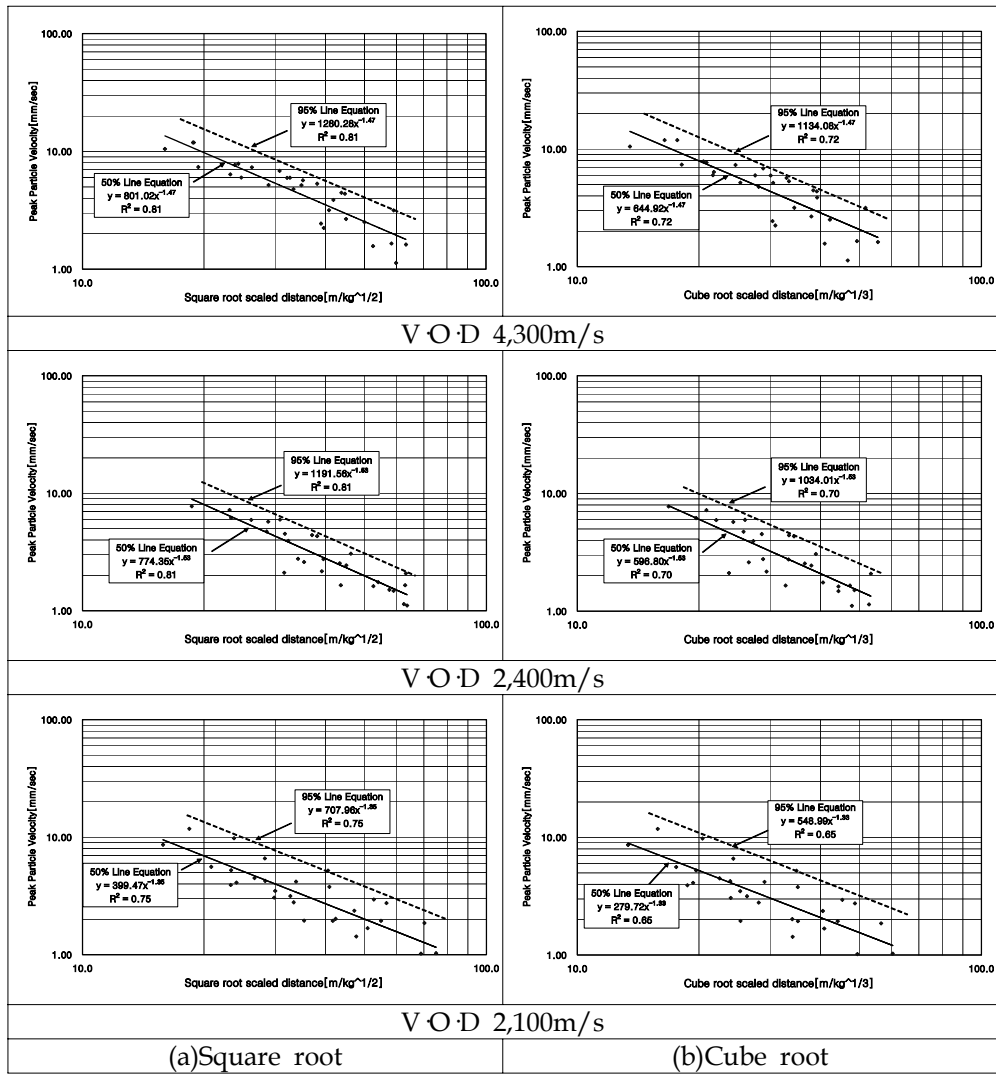


Fig 4. Regression Analysis of different velocity emulsion explosives

Table 1. Result of regression analysis

		VOD 4,300m/s		VOD 2,400m/s		VOD 2,100m/s	
		Square root	Cube root	Square root	Cube root	Square root	Cube root
K	50%	801.02	644.92	774.35	596.80	399.47	279.72
	95%	1280.28	1134.08	1191.56	1034.01	707.96	548.99
n		-1.47	-1.47	-1.53	-1.53	-1.35	-1.33
r ²		0.81	0.72	0.81	0.70	0.75	0.65

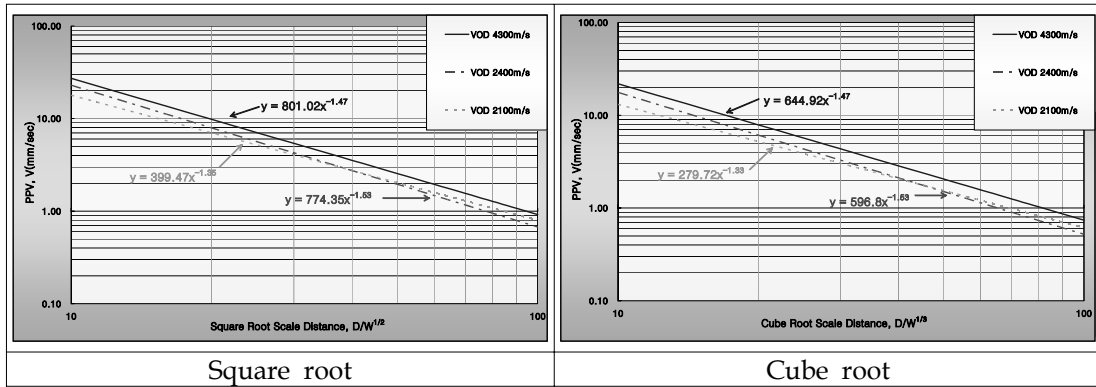


Fig 5. Comparison to regression line regarding three kind of emulsion explosives

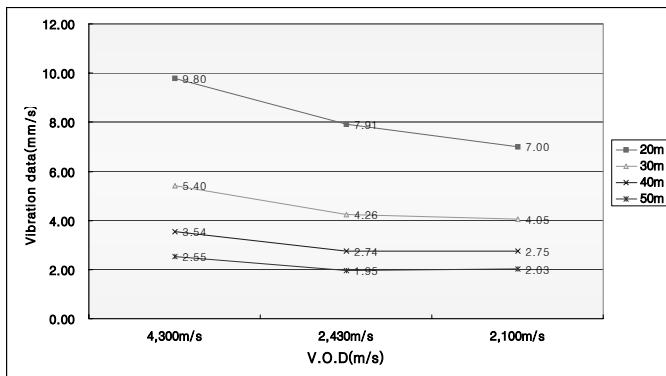


Fig 6. Comparison to vibration data of three kind of emulsion explosives

6. 결론

본 연구에서는 약경17mm의 폭속이 다른 3종류의 에멀전폭약을 사용하여 폭약의 특성값과의 관계를 계산적으로 구하였고 또한 발파진동에 어떤 영향을 미치는지 현장 실험을 통해서 알아보았으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 폭약의 폭속변화와 특성값의 상관관계를 폭발반응 계산으로 알아본 결과 폭속이 폭발압력과는 비례적인 관계가 있었으나, 그 외 특성값들은 별다른 상관관계가 없는 것으로 나타났다.
- 2) 에멀전폭약의 폭속이 44~51%정도 감소함에 따라 거리별(10~100m) 자승근에서 16~34%, 삼승근에서 17~40%정도로 진동이 낮게 나타났다.
- 3) 발파원에서 거리가 40m이내에는 폭속이 낮으면 진동도 낮게 나타났으나, 40m이상에서는 폭속이 낮음에도 진동이 오히려 크게 나타나는 경우가 있었다. 이는 거리가 멀어짐에 따라 지질학적인 및 암석의 특성등이 진동감쇠에 더 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 사료됩니다.

참고문헌

- 1) 妹澤克惟, 金井清 : 東京帝國大學地震研究所彙報, 14-1, (昭和11年) 10
- 2) 원기술 편집부 역, “신 발과 핸드북”, 원기술, pp.466-467.
- 3) 藤井喬, 谷本親伯 : 土木建設, 19-12, (昭和 45年) 33
- 4) Stig O Olofsson, "Applied explosives technology for construction and mining", Applex AB. p36(1997)
- 5) Instantel, “Vodmate operator manual”, 2-1.
- 6) 원기술 편집부 역, “신 발과 핸드북”, 원기술, pp.569-570.