

건설교통부 「암발파 설계 및 시험발파 잠정지침(안)」에 대한 공정흐름의 구조적 개선에 대한 제언

최병희 · 류창하¹⁾

1. 서 언

건설교통부는 2003년 도로건설 현장에서의 암발파로 발생하는 진동 및 발파소음으로 인한 민원의 예방과 경제성 있는 시공을 통한 예산 절감을 목적으로 암발파 설계 및 시험발파, 시공 등에 관한 사항을 정리하여 「암발파 설계 및 시험발파 잠정지침(안)」 [건설교통부, 2003](이하 잠정지침)으로 제정, 공포하였다. 이 지침은 건설교통부 산하의 지방국토관리청에서 시행하는 일반국도 건설공사구간 중 노천에서 시행되는 암발파 설계 및 시공에 적용하도록 한 잠정안으로서 발파진동을 토대로 발파공법을 제시한 것이 특징이다. 아울러 지난 몇 년간 국내의 여러 발파현장에 실제적으로 적용됨으로써 기본적인 발파설계나 시공 상의 효율성을 제고시켰으며, 제어발파의 설계나 공법변경, 환경피해의 저감 등의 측면에서도 큰 역할을 수행한 것으로 평가되고 있다.

잠정지침에도 명시된 바와 같이 본 지침은 일정기간의 시행을 통해 발파관련 자료를 수집하고, 자료 분석을 통해 미비점들을 보완하여 최종 지침을 확정하도록 하고 있다. 본 논문에서는 잠정지침이 제정된 이래 지난 3년간의 현장적용 과정에서 나타난 문제점들과 지침 자체가 지니고 있는 기술적인 문제점들을 공정흐름이라는 구조적 견지에서 짚어 보고 한 가지 개선안을 제시함으로써 최종지침의 수립이나 방향설정에 도움이 될 수 있도록 하였다.

2. 잠정지침 및 지침의 적용과정에서 나타난 문제점 고찰

2.1 암발파 업무 흐름도에 대한 고찰

잠정지침에서 제시하고 있는 암발파 업무 흐름도를 그림 1에 보였다. 암발파 업무 흐름도는 사실상 잠정지침의 골격이 되는 부분으로서 지침의 주요내용을 거의 망라하고 있으며, 비교적 상세하게 공정내용까지 기술하고 있다. 하지만 흐름도의 구성이 암발파 공

1) 한국지질자원연구원 지반안전연구부

정 전체를 쉽게 파악하기 어렵게 되어 있으며, 흐름도와 함께 잠정지침의 세부적인 규정들을 살펴보면 어디까지가 암발파의 일반적인 공정절차이고, 어디까지가 지침인지 명확하지 않은 것을 알 수 있다. 예를 들어, 시험발파와 관련된 III장 2절 2항 시험발파 세부절차의 경우를 보면 시험발파와 관련된 사항 외에도 본 발파 공법의 선정과 공사실시 사항까지 규정하고 있어 공정흐름이 종횡의 양방향에서 구분이 불명확함을 알 수 있다. 기술적으로도 시험발파의 방법은 현장여건이나 발파전문가의 주관에 따라 얼마든지 다른 방법이 적용될 수 있으므로 지침에서는 시험발파의 전형 내지 표준이 될 수 있는 공법이나 '지침'만을 일목요연하게 제시하는 방안을 고려해 볼 수 있을 것이다.

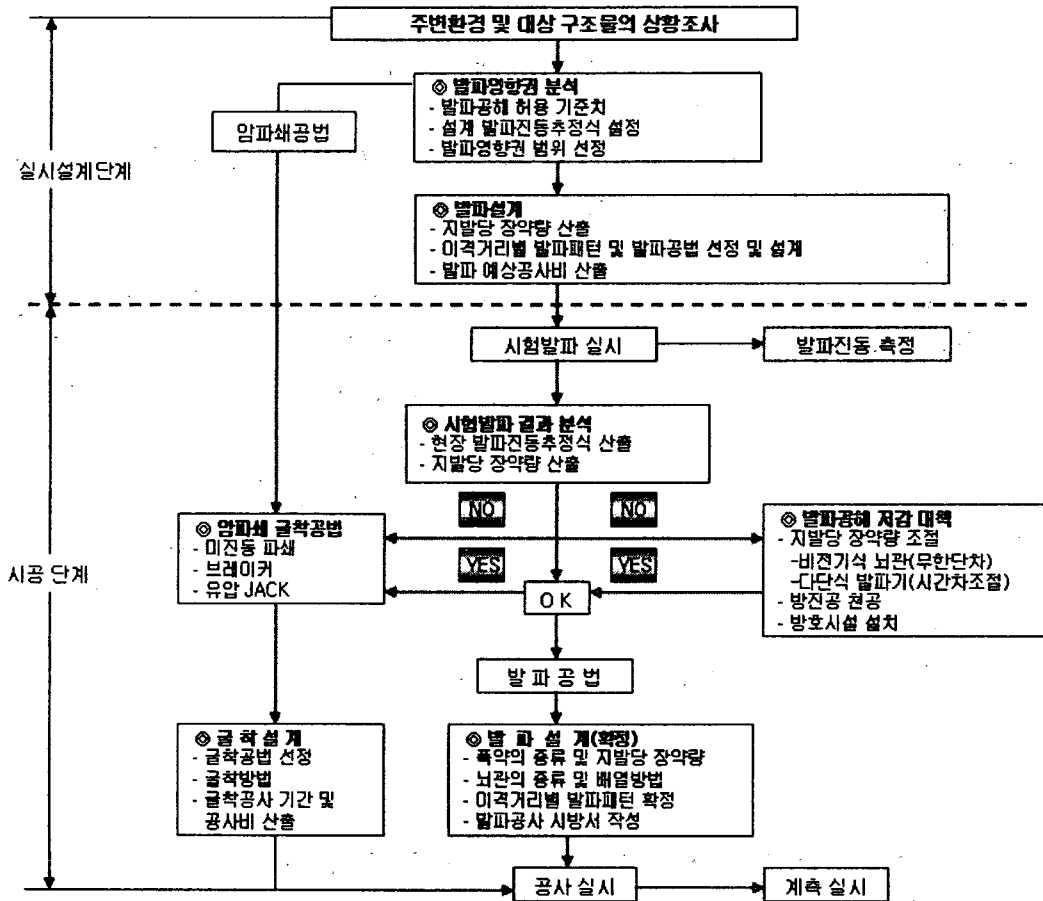


그림 1. 잠정지침의 암발파 업무 흐름도

2.2 표준발파공법에 대한 고찰

잠정지침의 경우 서두에서 언급한 바와 같이 진동제어의 개념에서 출발하여 발파공법

을 도출하는 독특한 방법을 사용하고 있다. 즉, 임의의 '설계 발파진동추정식'인 다음 식 (1)을 이용하여 허용기준(사실상 진동수준) 및 이격거리별 지발당 장약량을 계산한 후 계산된 장약량 규모에 따라 발파공법의 종류를 구분하여 총 6가지 유형의 표준발파공법으로 규정하는 방법을 사용하였다.

$$V = 160 \left(\frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.6} \quad (1)$$

이 접근법은 식 (1)로 표현되는 '설계 발파진동추정식'을 임의로 제안한 단점은 있으나 이는 설계단계에서는 시험발파를 통하여 진동영향을 평가하기 어려우므로 설계시 추정 용도로 사용할 수 있는 식을 제시하였다는 점과 국내의 도로건설 현장에서 통상 적용되고 있는 발파수준에 맞는 발파공법들을 규모별로 적절히 구분하였다는 긍정적인 측면이 있다. 식 자체의 적용성과 공법 구분의 적정성에 관하여는 잠정지침에 명시된 대로 시험 발파 및 시공 자료의 분석을 통해 문제점을 보완하게 될 것이다. 그동안 잠정지침의 적용과정에서 나타난 문제점들 중의 하나는 지침안의 사용자들이 각 현장에서 측정한 시험 발파 결과를 위의 식 (1)에 적합(fitting)시키려는 경향을 보인다는 데 있으며, 실제로 처리결과를 대비하기도 하였는데, 이런 작업은 사실상 무의미한 것이다. 왜냐하면, 식 (1)은 당해 현장에서의 진동전파식과는 전혀 무관한 것으로서 어디까지나 시험발파를 할 수 없는 상황에서 최적의 발파설계를 위해 참고용으로 제시된 것일 뿐이기 때문이다. 따라서 식 (1)과 유사한 결과를 보이기 위해 정말 중요한 실측치를 버리거나 조작하는 등의 위험성을 배제하기 위해서는 지침에서 제공되는 식의 의미와 적용에 대하여 명확하게 언급할 필요성이 있을 것으로 보인다.

2.3 시험발파에 대한 고찰

잠정지침 상의 공정흐름에 따라 시공단계에 속하는 시험발파 공정에 들어가게 되면 진동이나 발파소음에 대한 영향평가나 민원과 관련하여 중대한 문제가 될 수도 있는 시험 발파의 규모나 방법의 문제가 대두하게 된다. 즉, 잠정지침의 II장 3절에서는 「발파공사 시행 전에는 반드시 설계에 적용된 표준발파패턴 및 공법을 기준으로 하여 시험발파를 시행...」 하도록 규정하고 있다. (물론, 잠정지침에서는 시험발파의 적용대상을 발파규모 별로 규정하여 일반발파와 대발파는 기본적으로는 시험발파 대상에서 제외하고 있으나 보안물건에 영향이 있다고 판단될 때는 모두 시험발파를 실시하도록 규정하고 있다.) 이 규정은 사실 실시설계단계에서 설계되는 발파공법은 잠정지침이 제시하는 표준발파공법 중의 하나가 될 것이지만 이 표준발파공법은 당해 현장의 실제적인 진동 영향평가를 통해 설계된 것이 아니고 '설계 발파진동추정식'을 근거로 구해진 것이기 때문에 실제 시공

최병희, 류창하

에 들어가기 전에 안전을 확보할 수 있도록 시험발파를 직접 실시하도록 규정하고 있는 것에 다름 아니다. 이 과정에서 시험발파의 규모 및 절차와 관련하여 다음과 같은 두 가지의 문제점을 지적할 수 있다.

시험발파의 규모에 관한 문제

결론부터 말하면, 시험발파의 규모는 실시설계공법(본 발파)의 규모를 최대한도로 하여야 한다는 점이다. Dowding[1996]에 의하면 환산관계는 비슷한 자승근 환산거리($D/W^{1/2}$) 보다는 비슷한 에너지(장약량 W)와 거리(D)로부터 유도될 때 가장 정밀한 것으로 보았지만 일반적으로 환산거리의 개념 자체가 바로 발파의 영향을 거리와 장약량의 2변수 함수로 보는 것이므로 거리를 멀리할 수 없다면 보안물건에 영향을 미치지 않도록 가능한 한 장약량을 줄이는 것이 바람직하다. 간혹 민원현장에서 민원인들이 장약량 규모를 본 발파 규모로 고집하는 경향이 있으나 이들을 설득해나가는 것은 국가와 발파기술자들의 몫이며, 이런 경우에도 장약량의 결정에는 여전히 협상의 여지가 있게 마련이다. 더욱이 잠정지침의 표준발파공법이 '설계 발파진동추정식'을 근거로 설정된 것이므로 실시설계단계에서 이미 과장약 설계가 되었을 가능성도 높으며, 따라서 민감한 곳에서는 가능한 한 장약량을 줄이고, 발파를 하기 전에 보안물건에 대한 균열조사를 하는 등 각별한 주의를 요한다.

시험발파의 절차에 관한 문제

잠정지침 III장 2절 2항의 시험발파 세부절차를 보면 「주변 보안물건에 피해 없는 안전한 곳에서 실시」하도록 규정하고 있으며, 또한 같은 절 3항의 시험발파 방법을 보면 「각종 시설물에 피해가 미치지 않는 보안물건과 근접된 지점에서 실시」하도록 규정하고 있다. 하지만 이 단계에서는 보안물건에 대한 피해여부를 전혀 판단할 수 없으므로 어느 곳이 안전한 곳인지 도무지 알 수가 없다. 따라서 실시설계공법이 아무리 '설계 발파진동추정식'에 근거한 표준발파공법이라 하더라도 처음부터 본 발파 규모로 시험발파를 수행해서는 안 되며, 이 경우에도 위의 시험발파 규모상의 문제와 같이 되어 가능한 한 가장 적은 장약량부터 적용하여야 안전을 확보할 수 있을 것이다.

2.4 진동추정식의 제시문제에 대한 고찰

잠정지침의 I장 2절, II장 4절을 보면 「향후 발파진동추정식에 대한 미비점을 보완」하여 최종 지침을 확정할 예정이라는 구절이 있다. 우리나라 실정에 맞는 진동추정식의 제시문제는 시급하게 결정지을 수 있는 사항이 아니며, 국가가 인정하는 연구진이 장기간에 걸쳐 계측 및 평가한 후 그 결과를 제시하는 것이 바람직하다고 판단된다. 설계용 지반진동 예측식은 과거 미국에서 광산발파로 인한 주거용 구조물의 손상수준, 곧 허용

수준을 결정할 목적으로 미광무국(USBM)이 주도한 여러 프로젝트들[Duvall, 1962; Siskind, 1980]을 통해 도출한 바 있으며 이를 토대로 시험발파자료가 없는 설계단계에서의 진동영향 평가과정에서 하나의 표준으로 사용하도록 하였지만 어디까지나 시험발파와 계측을 통한 수식의 도출 '과정'을 표준으로 보아야지 '수식'(소위 k, n 값) 자체를 표준으로 보아서는 안 된다는 점에 유의하여야 한다. 따라서 국내의 여러 지역에 대한 많은 진동계측을 통해 표준적인 예측식이 수립되었다 하더라도 특정 현장에서의 발파문제에 대해서는 반드시 당해현장에서의 시험발파를 통해 도출된 예측식을 사용하는 것을 원칙으로 하여야 하며, 표준 예측식은 오로지 시험발파의 설계와 같은 중간과정에서 참고 자료로 사용하는데 국한하여야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 잠정지침에서 '예측식(추정식)을 보완'할 것이란 문구는 사용자들에게 위의 식 (1)자체가 어느 정도 신빙성이 있어서(건설교통부의 지침에서 제시된 것이므로) 자신의 현장에서도 적용 가능할 것이란 잘못된 판단을 하도록 유도할 우려가 있으므로 향후 수립될 지침에서는 이 문제에 대하여 명확하게 언급하여야 할 것이다.

2.5 허용수준에 대한 제언

진동이나 소음에 대한 영향평가를 위해서는 반드시 평가대상이 되는 구조물이나 인체에 대한 손상이나 피해 기준을 토대로 하여 수립된 허용수준이 제시되어 있어야 한다. 세계적으로 이와 같은 허용수준이 규제법규로서 제정되어 있는 나라들도 있으나 우리나라를 포함한 많은 나라들에서는 아직까지 법적인 규제기준이 마련되지 않고 있다. 건설교통부의 잠정지침에서는 II장 3절 발파공법 설계에서 현장조사 과정에서 허용기준을 설정하도록 규정은 하고 있으나 어떻게 결정하라는 지침은 제시하지 않고 있다. 따라서 발파현장에서는 사용자들이 각국, 각 기관의 경험적인 허용수준을 제각기 인용하여 적용하고 있는 실정이다. 하지만 허용수준의 설정문제는 당장의 필요성에 따라 외국의 기준을 그대로 차용하여 설정할 문제는 아닌 것으로 판단되며, 국내의 암반조건과 발파여건, 건물이나 구조물의 재료나 건축양식에 따라 우리 실정에 맞는 허용수준을 수립할 수 있도록 국가적인 차원에서 중장기 과제로서 시급히 추진되어야 할 것으로 판단된다.

3. 암발파 공정흐름에 대한 개선안의 제언

앞에서 언급한 바와 같이 잠정지침을 구조적인 관점에서 살펴보면 각각의 공정내용 또는 규정들이 편재되어 있어 명확히 구분되지 않으며, 이 때문에 지침에서는 가능한 많은 내용을 실으려 하고 있으나 오히려 중요한 사항을 빠뜨리게 되는 결과가 나타나기도 한

다. 일례로, 건물과 같은 구조물에 대한 진동영향을 평가할 때에는 건물의 진동을 유발하는 여기진동(excitation vibration)을 건물에 인접한 지반이나 건물의 지하실 바닥에서 측정토록 하는 것과 같은 내용은 계측의 기본적인 방법으로서 매우 중요한 사항이나 잠정 지침에서는 빠져있는 점을 들 수 있다. 이와 같은 문제점은 사실 기존의 공정흐름의 기본 틀은 거의 그대로 유지하면서도 지침의 골격구조를 보다 치밀하게 재구성함으로써 대부분 해소할 수 있을 것으로 판단된다.

이런 맥락에서 공정흐름상의 문제를 극복할 수 있는 개선안을 마련하기 위해 앞의 그림 1의 암발파 업무 흐름도를 본 논문의 주제에 맞게 간략히 요약해보면 그림 2와 같이 된다. 이 그림은 원도에서 세부적인 사항들은 제외시키고 중요한 공정절차들만 도시한 것으로서 거의 모든 발파현장에서 공통적으로 적용할 수 있을 것이므로 새로운 개선안에서는 이와 같은 기본 틀을 새로운 공정절차로 정의하고, 각각의 공정절차에 대응되는 표준이나 지침을 마련할 것을 제안한다.

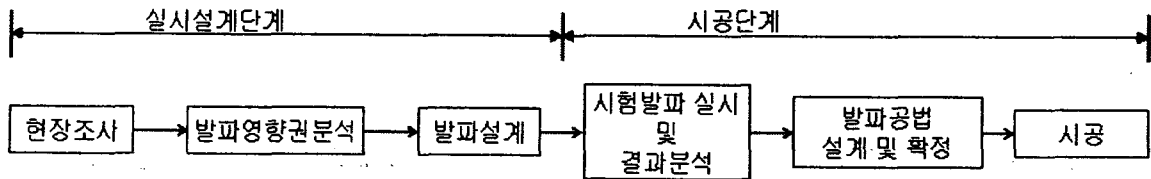


그림 2. 잠정지침의 암발파 업무 흐름도의 개략도

제안된 개념에 따라 암발파 설계 및 시공에 관한 지침의 구조적인 공정흐름을 작성한 것을 그림 3에 보였다. 그림에서 보듯이 제안된 공정흐름의 개선안은 크게 2개의 '표준'

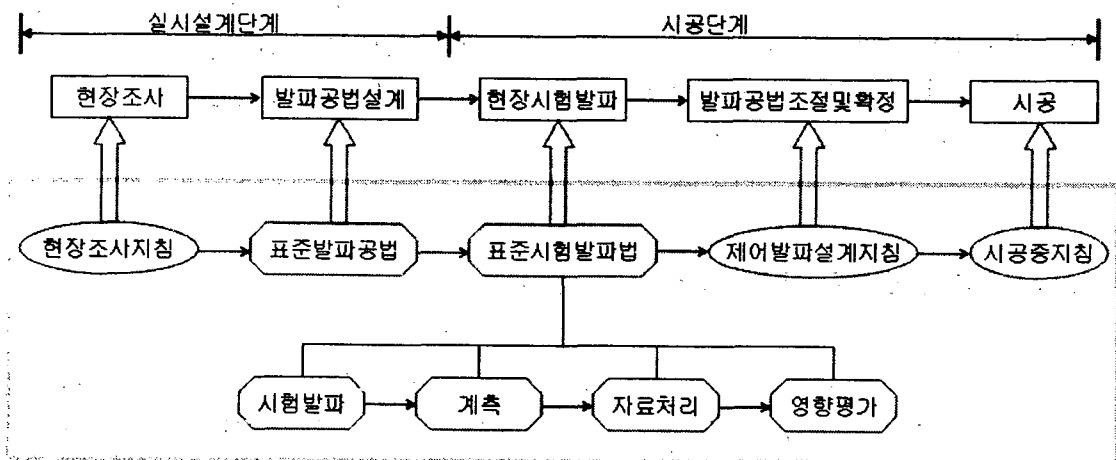


그림 3. 암발파 공정흐름 개선안

과 3개의 '지침'으로 이루어져 있다. 2개의 '표준'으로는 표준발파공법과 표준시험발파법이 있으며, 이 가운데 표준시험발파법은 다시 시험발파, 계측, 자료처리, 영향평가의 하위 '표준'들로 구성된다. 3개의 '지침'으로는 현장조사 지침, 제어발파설계 지침, 시공 중 지침이 있다. 즉, 그림 3의 굵은 선으로 된 큰 사각형 내부가 새로운 지침(안)이 되며, 그 위의 공정절차들은 일반적인 암발파 공정이 된다.

제안된 개선안의 핵심은 일반적인 암발파 과정에서 예상되는 여러 공정들에 대하여 세부적인 사항까지 일일이 규정하기 보다는 이들 공정들이 시행될 때 반드시 고려되거나 수행되어야 할 사항들을 '표준'이나 '지침'의 형태로 규정한다는 데 있다. 예를 들면, 현장 시험발파의 경우 실험실에서의 재료시험에 대한 KS 규정에서와 같이 반드시 준수해야 할 필수사항과 적어도 참조는 해야 할 선택사항을 묶어 '표준'으로 정의하며, 시험발파에 대한 개괄적인 정의나 내용들, 현장여건에 따른 대응방안 등과 같은 일반적인 사항들은 '권고사항'으로서 다른 표준이나 지침의 '권고사항'들과 함께 묶어 별도로 취급한다. 다른 예로서 제어발파설계지침과 같은 '지침'의 경우에도 필수사항이 있을 수 있으나 '표준'의 경우에 비해 비교적 자유로운 선택사항들로 주로 구성될 것이며, 이 경우에도 일반적인 내용들은 '권고사항'으로 하여 별도로 취급한다.

이와 같은 방식으로 지침이 요구하는 필수사항 및 선택사항을 '표준' 및/또는 '지침'으로 규정하고, 기타 일반적인 사항들은 '권고사항'으로서 별도로 관리하거나 사용자들에게 일임함으로써 지침의 내용을 보다 단순·명료하게 하여 사용상의 혼란을 줄이고 편의를 증진시킬 수 있을 것이다. 아울러 기술의 발전에 따라 규정을 변경하거나 보완할 때에도 상호 연관되는 항목의 수가 적어 지침의 변경에 따른 사용상의 혼란을 최소화할 수 있을 것이다. 무엇보다 제안된 개선안은 기존 잠정지침의 내용을 크게 변경시키지 않으며, 단지 기존의 항목을 새로운 위치로 옮겨 재배치하면 되므로 소모적인 중복작업도 줄일 수 있고 기존 사용자들의 혼란도 최소화할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 언

본 논문에서는 2003년도에 건설교통부가 제정, 공포한 「암발파 설계 및 시험발파 잠정지침(안)」의 내용과 이 지침이 현장에 적용되면서 나타난 문제점들을 살펴보고, 공정흐름의 측면에서 개선이 필요한 사항들을 고찰하였다. 발파패턴의 표준화는 설계, 감리 측면에서의 긍정적인 효과와 함께 화약발파가 갖고 있는 지질학적 환경 변화에 대한 대처방법으로서의 유연성을 제한함으로써 다양한 발파기법의 개발 및 적용을 저해할 수 있는 부정적인 면도 가질 수 있다. 따라서 지침 제정의 원래 취지중 하나인 '현지여건에 적

최병희, 류창하

합한 다양한 발파기법의 적용'을 저해하는 요인이 될 수 있으므로 암발파 작업을 일정한 틀로 규격화하는데 따른 문제점을 최소화하고 발파 전문가의 판단에 따라 유연하게 시공할 수 있도록 하는 방안을 마련해 주는 것이 중요할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 건설교통부, 2003, 암발파 설계 및 시험발파 잠정지침(안).
2. Dowding, C. H., 1996, Construction Vibrations, Prentice Hall, p. 50.
3. Duvall, W. I. and E. E. Fogelson, 1962, Review of Criterion for Estimating Damage to Residences From Blasting Vibrations, USBM RI 5968, p. 19.
4. Siskind, D. E., M. S. Stagg, J. W. Kopp, and C. H. Dowding, 1980, Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting, USBM RI 8507, pp. 14-17, p. 73-74.