

인프라사운드를 이용한 한반도일원에서 인공발파 식별

진정수¹⁾ · 제일영¹⁾

인공지진은 특정지역에서 분석된 자연지진목록에 포함되어 지진 활동도 분포 연구, 지진파 특성 연구와 지진 발생 통보 등에 주요한 오염원이 된다. 지진관측소에 기록된 지진파에 대한 직접적인 파형 분석으로 인공지진을 식별하는 연구가 다양하게 수행되고 있으나 아직까지 명확한 방법이 제시되지는 못하고 있다. 한국지질자원연구원은 1999년 8월부터 2000년 12월까지 철원 지진-공중음파(인프라사운드) 관측망의 운영과 예비분석으로 약 300 여 개의 인공발파를 자연지진목록에서 식별하였다.

지진-공중음파에 대한 예비분석은 국내 지진관측소의 지진자료를 이용한 정확한 진앙 위치와 철원 공중음파 관측망 내의 정밀기압계에 기록된 공중음파자료를 이용하였다. 발파장에서 인공발파로 발생한 인프라사운드는 음파의 속도로 본 관측망에 도달하므로, 발파시간 후 음파의 도달시간은 진앙(발파)에서 본 관측망까지의 거리의 함수로 도달하게 된다. 또한 본 관측망은 약 1 km 간격의 4개 관측망으로 구성되어 있으므로, 일반적인 배열망 분석으로 관측망으로부터 인프라사운드 신호의 발생방향을 결정할 수 있다. 지진-공중음파 기록에서 인프라사운드 신호가 지진파 도달이후 적정시간에 도달하며 발생방향이 진앙과 일치하는 경우, 이들 지진파와 공중음파 신호를 하나의 발파에서 발생한 것으로 분류하여 자연지진이 아닌 인공발파로 식별하였다. 예비분석으로 식별된 인공발파의 상당수는 일부 지역에 한정되어 분포하고 있다. 또한 이들 인공발파의 시간대별 발생빈도를 도시하였을 때 일과시간에 집중되며, 특정 발파장에서는 주기적으로 비슷한 시간대에 발파를 수행하는 특징을 보이고 있다. 인공발파의 진앙이 집중되는 지역에 대한 현장조사결과 채석장, 석회석 광산, 대규모 토목공사현장을 확인하였으며, 이들 산업현장에서 지진파와 인프라사운드를 동시에 발생시키는 발파를 수행하는 것으로 조사되었다.

음원에서 발생한 인프라사운드의 전파경로와 전파시간을 계산하여 실제 관측된 인프라사운드의 도달시간과 비교하였다. 실제 기록된 인프라사운드의 도달시간과 모델링 결과와의 비교는 상기 예비분석에서 특정 지진파와 인프라사운드 신호를 하나의 발파장에서 발생한 것으로 연관시키는데 중요하게 이용될 수 있다. 대기에서의 인프라사운드가 전파하는 속도구조는 기상청이 관측한 실측 고층기상자료를 이용하였다. 고층기상자료를 이용한 하부대기층에서의 속도구조는 지구적 규모의 대기경험모델이 제공하지 못하는 국부적이고 실질적인 음파의 속도구조정보를 제공한다. 또한 실측 고층기상자료의 관측고도가 30 km 이하로 제한되나 대기 경험모델과 비교할 때 국부적인 바람의 효과로 인프라사운드가 하부대기층에서 반사되어 지표로 되돌아오는 속도구조를 형성하고 있다. 동두천에 위치한 채석장에서 발생한 지진-공중음파 기록에서 인프라사운드는 발파 후 140.1초 후에 도달하였으며, 이때의 실측 고층기상자료로 계산된 음파의 도달시간은 142.5초로 도달시간이 잘 일치하고 있다. 모델링 결과 발파장에서 발생한 음파는 수직으로부터 83.2°로 대기에 입사되어 고도 1.6 km에서 반사되어 본 관측망에 도달한 것으로 계산되었다.

본 연구는 기본적으로 지진-공중음파 예비분석으로 자연지진목록에서 인공발파를 식별하여 보다 정확한 한반도의 지진 활동 분포도를 제공할 수 있었다. 또한 인공발파로 식별된 이벤트의 지진파형은 국내에서의 지진파 전파특성 연구에 주요한 정보로 이용될 수 있다. 실측 고층기상자료를 이용한 전파시간 모델링 결과와 실제 기록된 인프라사운드 신호의 전파시간과 일치하고 있어, 국내 대기에서의 인프라사운드 전파특성을 이해할 수 있었다. 따라서 실측 고층기상자료를 이용한 한반도 내에서 인프라사운드 모델링에 의하여, 차후 공중음파 자료만을 이용한 음원의 위치결정, 공중음파 모델링 연구 등에 이용될 수 있을 것이다.

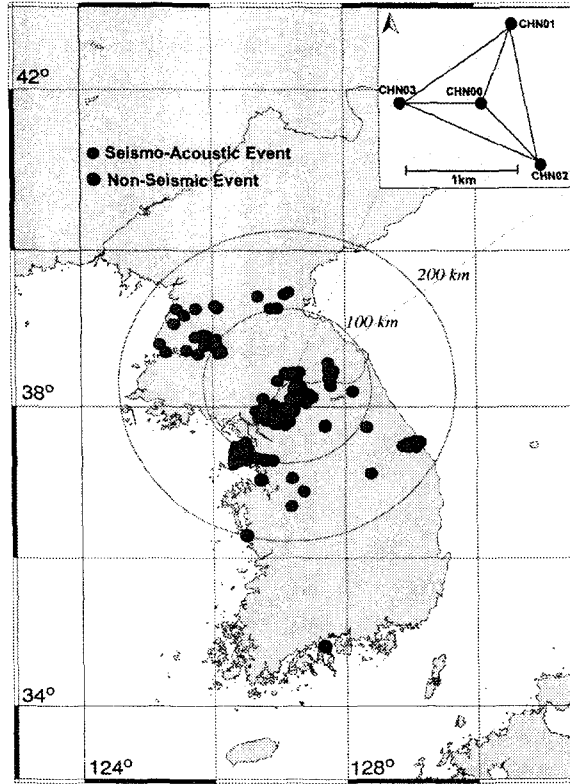


그림 1. 지진-공중음과 기록에 대한 예비분석으로 분류된 한반도 내의 인공발파 분포도.

주요어: 자연지진, 인공발파, 인프라사운드

1) 한국지질자원연구원 탐사개발연구부 지진연구센터