

감 사 원

주 의 요 구

제 목 수리자극에 따른 유발지진 관리 부실

소 관 기 관 산업통상자원부

조 치 기 관 산업통상자원부

내 용

< 국민 및 공익감사청구사항 >

- ☆☆ 컨소시엄은 당초에는 규모 2.0 이상 지진 발생 시 정부(산업부, 예기평, 포항시, 기상청)에 보고하고, 웹사이트에 게재하는 것으로 “신호등체계”를 마련하였으나
 - 2016년 12월 “신호등체계”를 변경하면서 정부 보고기준 완화(규모 2.5 이상 지진 발생 시), 웹사이트 게재 삭제, 포항시와 기상청을 보고대상에서 제외

☆☆ 컨소시엄은 EGS 방식의 지열발전을 위한 수리자극 과정에서 필연적으로 유발되는 지진 위험성을 관리하기 위해 2015년 12월 “신호등체계(Traffic Light System)”라는 안전관리 방안을 마련한 뒤 1차 수리자극(2016. 1. 29.~2. 18.)을 실시하였고, 2차 수리자극(2016. 12. 15.~12. 28.¹⁾) 기간 중인 2016. 12. 26. 위 신호등체계의 내용을 수정하였다.

그런데 “☆☆ 컨소시엄이 ‘포항 EGS 프로젝트 미소진동 관리방안’을 수립하는 과정에서 지진규모나 보고대상을 완화한 것이 부적절하다”라는 등의 주장이 이번 감사청구에서 제기되어 관련 사실관계를 확인하였다.

1) 2차 수리자극은 2016. 12. 15.부터 12. 22.까지 실시한 이후 12. 23. 규모 2.2 지진 발생 이후 수리자극을 중단했다가 12. 26.부터 12. 28.까지 3일간 재개

1. 신호등체계 수립 및 보고 경위

산업부(※과)가 발주하여 2009. 9. 30. 완료²⁾된 정책기획연구인 “한국형 지열 발전 시스템의 기술개발 타당성 연구” 보고서에 따르면 지열발전 사업을 추진하는 과정에서 스위스 바젤 등에서 관측된 것과 같은 미소지진이 발생할 수 있다고 명시(230쪽)되어 있고, ☆☆ 컨소시엄에서 2015년 12월 작성한 “포항 EGS 프로젝트 미소진동 관리방안” 보고서에도 인공 저류층을 생성하기 위해 수리자극을 가할 때 기존 균열이 팽창하거나 새로운 균열이 형성되면서 미소진동이 발생하고, 미소진동의 잠재적 위험성에 대한 우려가 증가하면서 큰 규모의 지진 또는 유감(有感)지진의 발생 가능성이 EGS 지열발전의 큰 도전과제라고 하였다.

미소진동 용어 설명

- 학계에서는 EGS 방식의 지열발전 과정에서 유발되는 지진을 자연지진이 아닌 인간의 활동에 따라 발생하는 측면을 강조하여 “induced seismicity” 혹은 “induced earthquake”라고 표현
 - 그리고 유체주입 시 발생하는 수천개에 이르는 지진의 규모가 2.0 혹은 3.0 이하로 작기 때문에 “micro-seismicity” 혹은 “micro-earthquake”라고도 표현
- ☆☆ 컨소시엄은 위 영문 표현에 대해 지진이라는 표현 대신 “미소진동”이라는 표현을 사용
 - 이는 2012년 지자연 E 박사가 발표한 논문³⁾에 “미소지진 혹은 미세지진이 영문 원어에 대응되지만, ① 인공적인 원인에 의해 발생되고, ② 자연지진에 비해 고주파대역을 보이고, ③ 흔들림의 규모가 대부분 2.0 이하이므로 사회적으로 받아들이는 통념상 미소진동이 적절하다”고 되어 있어 이를 근거로 하였다고 답변

이와 관련, 미국 에너지부(Department of Energy)는 2012년 “EGS로 인한 유발지진 관리 프로토콜”을 수립하였고 이를 통해 EGS 지열발전에서의 지진을 줄일 수 있는 직접적인 방법으로 신호등체계 운영을 제안하였다. 여기서 신호등체

2) 한국에너지기술연구원 수행

3) E, N, O, P, S, G, 2012, 지열저류층 모니터링을 위한 시추공 가속도계 방식 미소진동 관측망 구축, 한국지구시스템공학회지, 49(4):487-497

계는 실시간으로 관측된 지진의 규모, 지반의 진동 수준 등에 따라 녹색, 황색, 적색 등 3단계로 구분하여 물 주입을 중단하거나 배수 등으로 주입된 양을 낮추어 지진피해를 줄이는 안전관리 방안이다.

그리고 ☆☆ 컨소시엄도 미국 에너지부의 “유발지진 관리 프로토콜” 사례를 참고하여 2015년 12월 “미소진동 관리방안”을 수립하였고, 이 방안에서 스위스 바젤 “심부지열개발(Deep Heat Mining)⁴⁾ 프로젝트”와 엘살바도르 “베를린 지열 발전 프로젝트”에서 사용했던 신호등체계를 참고하여 포항 EGS 지열발전에 적용할 신호등체계를 제안하였다.

그 내용을 구체적으로 보면, 신호등체계를 5단계의 위험등급으로 나누기 위해 “지진규모(M_L)”와 “최대지반속도(PGV)”의 두 가지 기준을 사용하면서 발파작업 시 건축물에 대한 피해를 예방하기 위한 지반진동 규제기준을 적용하여 신호등체계의 적색단계 기준을 “최대지반속도 2.0cm/s^5 ”로 정하였다. 또한, 2004년부터 2015년까지 포항 지열발전 부지 반경 50km 이내 지역에서 발생한 규모 2.0 이상인 지진 30건의 자료를 분석하여 지진규모와 최대지반속도 사이의 관계를 도출하였고, 이에 따라 최대지반속도 2.0cm/s 에 대응하는 지진규모는 4.1이라는 결과를 반영하여 [표 14]와 같은 신호등체계를 우선 검토하였다.

4) 2006년 스위스 바젤에서 진행된 EGS 프로젝트의 초기명칭으로 광산의 개념을 도입하여 심부에 열을 채굴한다는 명칭을 사용하였으나 나중에 EGS라는 명칭을 주로 사용

5) PGV값 2.0cm/s 는 건물에 피해를 입힐 수 있는 수준을 의미하며, 구 건설교통부 「터널설계기준」(2009년)에 따라 지하기초와 콘크리트 슬래브를 갖는 조적식 건물의 허용기준임

[표 14] 적색단계 기준이 규모 4.1인 신호등체계(2015. 12.)

(진동속도 단위: cm/s)

단계	기준		조치내용		
	지진규모(M_L)	최대지반속도(PGV)	펌핑	주입압력	보고
적색	$4.1 < M_L$	$2.0 < PGV$	펌핑 중단	초과압력 제거	수리자극팀에 경고: 운영진에게 보고
황색3	$3.8 < M_L < 4.1$	$1.0 < PGV < 2.0$	펌핑 중단	초과압력 제거	수리자극팀에 경고: 운영진에게 보고
황색2	$3.4 < M_L < 3.8$	$0.5 < PGV < 1.0$	펌핑 속도 감소 또는 펌핑 중단 또는 압력 강하	지표수리자극 압력 이하로 정두압 유지	수리자극팀에 경고
황색1	$2.4 < M_L < 3.4$	$0.08 < PGV < 0.5$	일정한 펌핑 속도	일정한 압력	수리자극팀에 보고
녹색	$M_L < 2.4$	$PGV < 0.08$	일반적인 작업	일반적인 작업	기준 보고

주: 녹색을 제외한 모든 단계의 지진규모를 웹사이트에 게재하여 대중에게 공개

자료: 감사대상기관 자료 재구성

그러나 ☆☆ 컨소시엄은 스위스 바젤 심부 지열개발 프로젝트가 규모 3.4의 지진이 발생하여 중단되었으므로 [표 14]보다 강화된 신호등체계가 필요하고, 또한 수리자극이 이루어진 적이 없어 지진규모에 따른 지반의 진동속도를 쉽게 단정할 수 없다는 등의 이유로 지진규모 기준을 지반진동속도와 별개로 제시⁶⁾하되 기상청에서 지진발생 사실을 일반 대중에게 알리는 지진규모인 2.0을 적색단계의 기준으로 하는 [표 15]의 신호등체계를 수립하였다.⁷⁾

6) 향후 수리자극을 통해 두 기준의 상관성을 검증한 후 보정하기로 함

7) 서울대학교 B 교수는 2015. 12. 4. 이메일을 통해 ☆☆ 컨소시엄 구성원에게 규모 2.0을 적색단계로 하는 신호등체계가 포함된 “미소진동 관리방안” 보고서 최종안을 회람하게 하였고, 2015. 12. 8. 지자연 회의에서 서울대가 이 보고서를 설명하며 [표 15]의 신호등체계를 적용하기로 발표하였고 컨소시엄 구성원들의 추가 이견이 없어 사실상 합의한 것으로 생각하였다고 답변함. 반면, ☆☆ K 대표는 [표 15]의 신호등체계는 현장에서 참조하였을 뿐 적용되지는 않았으며 수리자극을 통해 지진규모와 지반진동속도 사이의 상관관계를 확인한 후 신호등체계를 확정하기로 하였고 2016. 12. 26. 수립된 신호등체계가 이후 수리자극 기간 동안 적용되었다고 답변. 한편, ☆☆ 컨소시엄의 연구진이 2018. 4. 14. 『Renewable and Sustainable Energy Reviews』에 발표한 논문과 2017. 3. 14.~3. 17. 워크숍에서 발표한 『Induced Seismicity Protocol for the First Enhanced Geothermal Systems Project in Pohang, Korea』에는 1차 수리자극 기간에 [표 15]의 신호등체계를 사용했다고 되어 있음

[표 15] 적색단계 기준이 규모 2.0인 신호등체계(2015. 12.)

(진동속도 단위: cm/s)

단계	기준		조치내용		
	지진규모(M_L)	최대지반속도(PGV)	주입유량	주입압력	보고
적색	$2.0 < M_L$	$2.0 < PGV$	중단	초과압력 제거	수리자극팀에 경고 과제연구기관에 보고 과제 관계기관에 보고 (기상청, 포항시청, 산업부, 예기평)
황색 3	$1.7 < M_L < 2.0$	$1.0 < PGV < 2.0$	중단	초과압력 제거	수리자극팀에 경고 과제연구기관에 보고 (서울대학교, 한국건설기술연구원, 지자연, ⚡, ⚡)
황색 2	$1.4 < M_L < 1.7$	$0.5 < PGV < 1.0$	감소 또는 중단	감소 또는 중단	수리자극팀에 경고 (수리자극팀, 미소진동관측팀, ☆☆ 운영진)
황색 1	$1.0 < M_L < 1.4$	$0.08 < PGV < 0.5$	일정 유지	일정 유지	수리자극팀에 보고 (수리자극팀, 미소진동관측팀)
녹색	$M_L < 1.0$	$PGV < 0.08$	일반 작업	일반 작업	일반적인 보고 (미소진동관측팀)

주: 녹색을 제외한 모든 단계에서 지진규모를 웹사이트에 게재하여 대중에게 공개
자료: 감사대상기관 자료 재구성

이후 ☆☆ 컨소시엄은 2016. 12. 26.⁸⁾ 1차 수리자극(2016. 1. 29.~2. 18.)과 2차 수리자극의 일부(2016. 12. 15.~12. 22.) 결과를 바탕으로 적색단계 기준을 지진규모 2.0에서 2.5로 조정⁹⁾하는 등 등급별 기준을 수정하고, 신호등체계의 목적·각 기관의 역할, 보고대상 등을 정하여 [표 16]과 같이 신호등체계를 변경한 후 2016. 12. 27. 변경 수립된 신호등체계를 이메일로 예기평에 보고하였고, 2017. 4. 15. 규모 3.1 지진 발생 이후인 2017. 4. 17. 지진발생 사실과 [표 16]의 신호등체계를 예기평을 통해 산업부에 최초 보고하였다.

8) ☆☆ K 대표는 신호등체계 확정을 위한 컨소시엄 내부회의는 2016. 12. 23. 개최하였으나, 보고주체 등 기관 간 역할 등에 대한 내용을 추가하여 2016. 12. 26. 최종 확정하였다고 답변

9) ☆☆ K 대표는 지진규모에 비해 최대지반속도 규모가 너무 낮아서 적색단계 지진규모를 2.5로 조정했다고 답변하였고, 서울대학교 B 교수와 ⚡ R 대표는 지진규모 2.0은 그 기준이 너무 엄격하여 현실적으로 수리자극을 진행하기 어렵기 때문에 사업진행을 위해 지진규모를 높였다고 답변

[표 16] 2016. 12. 26. 미소진동 관리 신호등체계

(진동속도 단위: cm/s)

단계	기준		조치내용		
	지진규모(M_L)	최대지반속도(PGV)	주입유량	주입압력	보고
적색	$2.5 < M_L$	$2.0 < PGV$	배수	감소	전담기관(에기평) 정부(산업부)
황색 3	$2.0 < M_L < 2.5$	$1.0 < PGV < 2.0$	배수	감소	전담기관(에기평) 연구단(☆☆ 컨소시엄)
황색 2	$1.5 < M_L < 2.0$	$0.4 < PGV < 1.0$	배수	감소	현장관측팀(지자연) 수리자극팀(☆☆) 주관기관(☆☆)
황색 1	$1.0 < M_L < 1.5$	$0.04 < PGV < 0.4$	설계주입유량 조정 (감소 또는 주입 중지)	설계압력 준수 또는 감소	현장관측팀(지자연) 수리자극팀(☆☆)
녹색	$M_L < 1.0$	$PGV < 0.04$	설계주입유량 준수	설계압력 준수	현장관측팀(지자연)

주: 1. 모든 단계에서 웹사이트 게재를 삭제함
 2. 지진규모(M_L)를 기준으로 주입유량, 주입압력 등을 현장 조치 및 보고
 자료: 감사대상기관 자료 재구성

2. ☆☆ 컨소시엄의 미소진동 관리방안 수립 부실

☆☆ 컨소시엄과 에기평이 체결한 협약서¹⁰⁾ 제3조에 따르면 기술개발 참여자들은 「기술혁신사업 운영요령」 등의 규정과 사업계획서에 근거하여 기술개발을 성실히 수행하도록 되어 있고, 「기술혁신사업 운영요령」 제11조에 따르면 주관기관인 ☆☆는 과제 수행에 대한 종합적인 관리를 하도록 되어 있다.

「기술혁신사업 운영요령」 제44조에 따르면 에기평은 과제 수행이 극히 불량 또는 연구개발의 결과가 극히 미흡하여 평가에 따라 중단 또는 불성실수행으로 결정된 경우 등에는 귀책사유에 따라 사업에 참여하는 기관, 기업 또는 소속 임직원 등에 대하여 5년 이내의 범위에서 국가연구개발사업의 신규 참여를 제한할

10) 2010. 12. 20. 1단계 협약을 체결하였고, 2012. 12. 21. 2단계 협약을 체결하였음

수 있고, 이미 지급한 출연금의 전부 또는 일부를 환수할 수 있도록 되어 있다.

가. 산업부·에기평·포항시와의 협의 및 보고 부실

☆☆ 컨소시엄은 [표 17]과 같이 2014. 3. 28. 산업부(☞과), 에기평 담당자와 회의¹¹⁾를 하면서 스위스 바젤에서 규모 3.4 지진이 발생하여 사업이 중단된 사례, 미국 에너지부에서 유발지진에 따른 피해발생을 예방하기 위해 7단계 관리방안을 수립한 사례, 포항 지열발전 과제에서도 유발지진이 발생할 수 있다는 사실, 수리자극으로 인한 피해를 최소화하기 위해 수리자극을 실시하기 전까지 관련 대책을 수립하겠다는 계획 등을 보고하였다.

[표 17] 산업부 ☞과 회의(2014. 3. 28.) 내용

구분	내용
참석자	- 산업부 Q, T - 에기평 연구원 U, ☆☆ 대표이사 K, 서울대학교 교수 B
발표 내용 (B 교수)	- 미소진동의 정의 - 해외사례: 스위스 바젤 프로젝트(규모 3.4 지진 이후 프로젝트 중단) 등 - 미소진동 관리방안 소개: 미국 에너지부 EGS 미소진동 프로토콜 - 포항 EGS 현장 미소진동 관리방안: 수립 중에 있으며 수리자극 실시 이전에 확정 예정 (산업부 사무관들이 미소진동 관리방안 수립에 만전을 기하도록 당부^{주)})

주: 서울대학교 B 교수 출장보고서에는 “Q, T가 수립에 만전을 기하도록 당부했다”고 기록되어 있으나, B 교수도 만전을 기하도록 당부한 산업부 담당자가 두 사람 중 누구인지는 정확히 기억나지 않는다고 답변

자료: 감사대상기관 자료 재구성

이후, ☆☆ 컨소시엄은 [표 18]과 같이 2015년 12월 “포항 EGS 프로젝트 미소진동 관리방안”¹²⁾(이하 “미소진동 관리방안”이라 한다)를 마련하였으며, “미소진동 관리방안”은 미국 에너지부의 유발지진 프로토콜과 유사하게 사전조사, 지역주민들과 의사소통, 미소진동 관리계획(이하 “신호등체계”라 한다) 수립 등 지열발

11) 회의 개최 경위는 “4. 산업부의 유발지진 관리방안 검토 소홀”에서 자세히 기술

12) “포항 EGS 프로젝트 미소진동 관리방안” 보고서는 1. 서론 2. EGS와 수리자극 기술, 3. EGS와 미소진동, 4. 미국 에너지부 미소진동 관리방안 검토, 5. 포항 EGS 프로젝트 소개, 6. 포항 EGS 프로젝트 미소진동 관리방안 제안, 7. 시사점 및 향후 연구방향으로 구성(총 95page 분량)되어 있음

전 과정을 7단계로 나누어 미소진동을 관리하도록 작성되었다.

[표 18] 미소진동 관리방안(2015. 12.)

단 계	내 용
1단계	사전조사 실시
2단계	지역주민들과의 대화프로그램 실행
3단계	지반진동에 대한 사전검토 및 허용한계 설정
4단계	미소진동 모니터링 시스템 구축
5단계	자연지진 및 미소진동에 따른 영향 정량화
6단계	미소진동에 의한 영향 특성화
7단계	미소진동 관리계획(신호등체계) 수립

자료: 감사대상기관 자료 재구성

그리고 위 [표 18]의 “미소진동 관리방안” 2단계에서 포항 EGS 프로젝트 관련 지역주민과의 대화 프로그램 실행 방안으로 지역주민을 대상으로 공청회 및 설명회¹³⁾를 개최하여 체계적인 미소진동 관리방안을 제시하고, 미소진동 발생 원인 및 자연지진의 차이를 설명하여 안전성을 확보할 것을 제안하고 있다.

한편, 스위스 바젤 “심부지열개발 프로젝트”에서는 수리자극 전에 유발지진으로 인한 진동 관리방안에 대한 연구가 이루어졌으며 국외 전문가의 검토를 거쳐 바젤 주(州)정부의 승인을 받아 확정¹⁴⁾한 바 있고, “유럽 지열발전사업 모범 사례 핸드북”¹⁵⁾에서도 유발지진 가능성, 그에 따른 피해정도, 저감계획 등을 지방정부(local authority)에 설명하여야 하고 이와 관련한 진행과정, 변경사항 및

13) ☆☆ 컨소시엄은 2011. 11. 9. 흥해읍사무소에서 흥해읍 이장 등을 대상으로 주민설명회를 개최하고, 포항 [] [] 등을 통해 다수 언론에 기사를 배포하며 연구과제의 연구내용과 진행상황을 수시로 알렸다고 하나, 지진 위험성 및 안전관리 방안에 대한 언론 보도 내용은 없음

14) 서울대학교 B 교수는 바젤의 “심부지열개발 프로젝트”에서 사용한 신호등체계의 지진규모 및 PGV 임계값, 유체주입 등 기술적인 부분을 중심으로 검토하였으며 위와 같은 행정 및 규제 관련 내용은 중점을 두지 않아 자세한 내용을 알 수 없었다고 답변

15) “Best Practice Handbook for the development of unconventional geothermal resources with a focus on Enhanced Geothermal System”(2008년), 서울대학교 B 교수는 이 보고서가 유럽에서 수행된 []의 연구결과로 발간되었다는 것은 인지하고 있었던 것으로 기억하나, 본인이 개별 프로젝트의 모든 상세 내용을 파악하였는지는 불확실하다고 답변

문제점이 발생하면 관계당국에 즉각 알릴 것을 추천한다고 되어 있다.

따라서 ☆☆ 컨소시엄은 2014년 3월 회의에서 산업부와 예기평에게 수리자극 실시 전에 미소진동 관리방안을 수립한다고 보고하였던 점, 미국의 경우 중앙정부인 미국 에너지부가 수리자극으로 인한 유발지진을 관리하는 대책을 수립한 점, 유럽에서는 지방정부가 유발지진 관리방안을 승인하는 점, 자신들이 수립한 “미소진동 관리방안”에서도 지역주민을 대상으로 미소진동에 대해 설명할 필요가 있다는 것을 제안한 점 등을 감안하여 포항시, 산업부 등 관계기관들이 지진 발생 시 제대로 대응할 수 있도록 신호등체계가 포함된 “미소진동 관리방안”을 수립하는 과정에서부터 과제 전담기관인 예기평 외에 산업부, 포항시와도 지속적으로 협의하여야 했고, “미소진동 관리방안”을 수립한 이후에는 이를 즉시 산업부와 예기평, 포항시에 보고·공유하여야 했다.

그런데 ☆☆ 컨소시엄은 2015년 12월 “미소진동 관리방안”을 수립하는 과정에서 예기평과 산업부, 포항시에 수립 관련 진행상황을 보고하거나 세부내용 등에 대해 협의하지 않았으며, 2015년 12월 “미소진동 관리방안”을 수립한 이후에도 이를 보고하지 않았다.¹⁶⁾

[예기평에는 2016년 12월, 산업부에는 2017년 4월에야 신호등체계 보고]

이후 ☆☆ 컨소시엄은 2016. 12. 26. “미소진동 관리방안” 내 미소진동 관리계획인 신호등체계를 변경하고 다음 날인 2016. 12. 27. 예기평에 신호등체계를 최초로 보고하면서도 신호등체계를 수립하게 된 배경, 신호등체계의 의미, 지진 발생 시 산업부와 예기평이 해야 할 역할 등을 설명하거나 이에 대한 산업부의

16) ☆☆는 “미소진동 관리방안”을 포항 지열발전사업이 2017년 11월 규모 5.4 지진이 발생하여 중단될 때까지 보고하지 않고, 신호등체계만 2016년 12월 예기평에, 2017년 4월 산업부에 보고함

검토를 요청하지 않은 채¹⁷⁾ 에기평 과제 담당자에게 이메일로 “예비수리자극 결과를 포함한 그간의 연구성과를 바탕으로 신호등체계를 확정하였다”는 내용과 함께 신호등체계를 첨부하여 보고하였다.

또한, ☆☆ 컨소시엄은 2017. 4. 15. 규모 3.1 지진이 발생하자 같은 해 4. 17. 지진 발생 사실 및 자체 대응내용을 산업부에 문서로 보고하면서 공문에 신호등체계를 처음 첨부¹⁸⁾하였으나, 이때에도 공문을 전달하는 에기평 과제 담당자에게 산업부에 신호등체계를 수립하게 된 배경, 신호등체계의 의미 등을 설명하여 줄 것을 구체적으로 요청하지 않은 채 공문을 보고해 달라고만 요청하였고, 포항시와는 신호등체계를 공유하지 않았다.

그 결과, 에기평과 산업부가 신호등체계를 보고받고서도 이에 대한 검토를 제대로 하지 못하게 되었고, 2017. 4. 15. 규모 3.1 지진이 발생한 후에도 산업부, 에기평, 포항시가 추가지진 위험성 분석을 하지 못하는 등 적절하게 대응하지 못하는 원인이 되었다.

나. 신호등체계에 수리자극 중단 후 재개조건 미포함

☆☆ 컨소시엄이 2013년부터 “미소진동 관리방안”을 수립하는 과정에서 참고한 스위스 바젤 「심부지열개발 프로젝트」의 신호등체계에는 적색단계에 해당하는 지진이 발생하면 수리자극을 중단하고 규제당국의 승인이 있어야 수리자극을 재개한다¹⁹⁾는 내용이 포함되어 있다.

17) 다만, ☆☆ K 대표는 이메일로 신호등체계 보고 시 신호등체계 제정의 목적과 각 기관의 역할을 기재하였고 “검토 부탁드립니다”라고 명시해 에기평에 검토를 요청한 것이라고 주장하나, 이메일을 받은 에기평 W 연구원은 ☆☆ V 이사가 이메일을 발송하면서 본인에게 전화로 이메일을 보냈다는 사실을 알려준 것으로 기억하지만 신호등체계가 가지는 의미나 이를 보내는 이유에 대해 구체적으로 설명하지 않았고 신호등체계에 따라 에기평이 지진발생 사실을 보고받은 경우 산업부나 에기평이 구체적으로 어떤 내용(예를 들어, 지진 위험성 평가 등)을 어떻게 조치(예를 들어, 기상청이나 포항시 등 관계기관 통보 등)하여야 하는지에 대해 설명을 해준 사실이 없다고 답변

18) ☆☆ V 이사가 2017. 4. 17. 10:00경 에기평 과제 담당자 W 연구원의 이메일로 공문과 함께 신호등체계를 제출하였고 같은 날 10:32경 W 연구원이 산업부 X에게 이메일로 이를 전달

그리고 바젤 주정부는 2006. 12. 8. 지열발전 프로젝트에서 수리자극 도중 규모 3.4의 지진이 발생하자 프로젝트를 잠정 중단하고 프로젝트의 지속 여부를 결정하기 위해 스위스, 독일, 프랑스의 전문가그룹(SERIANEX: SEismic RIsk ANalysis EXpert)에 지진 위험성을 분석하도록 하였고, 3년간의 분석결과 최대 규모 4.5의 지진이 발생할 수 있다는 결론²⁰⁾에 도달하여 2009. 11. 30. 최종적으로 사업을 중단시킨 바 있다.

따라서 ☆☆ 컨소시엄은 지진피해를 경감하기 위한 신호등체계의 수립 목적을 고려하여, 적색단계에 해당하는 지진이 발생하면 정부기관 등의 객관적이고 전문적인 지진 위험성 평가를 거쳐 위험성이 없다는 분석결과를 확인하고 산업부나 포항시 등 관계기관의 승인을 받은 후 수리자극을 재개하도록 하는 조건을 산업부, 포항시, 예기평 등과 협의하여 신호등체계 등 미소진동 관리방안에 포함하는 것이 바람직했다.²¹⁾

[정부 승인 등 수리자극 재개조건을 포함시켜야 한다는 내부 의견 미반영]

그런데 이번 감사원 감사과정에서 ♡♡ R 대표가 2016. 12. 23. 신호등체계

-
- 19) 이와 관련 스위스 지진국(Swiss Seismological Service)에서 발간한 보고서 “Good practice guide for managing induced seismicity in deep geothermal energy project in switzerland”(2017년 10월)에 따르면 신호등체계에서 적색단계에 해당하는 수준의 유발지진이 발생하여 사업이 중단되었더라도 지진 위험성이 없거나 감소했다고 판단되는 경우 수리자극을 재개할 수 있으므로 중단 이후 사업을 재개할 것인지 여부 및 재개하기 위한 조건이 중요하다고 되어 있음
- 20) 구체적으로 개발단계에서는 30개의 유감지진이 발생하여 이 중 9개가 규모 3.4를 초과하고 이후 30년간의 운영 단계에서는 14개 내지 170개의 유감지진이 발생한다는 결과
- 21) 참고로 포항 지열발전 과제의 4차 수리자극에 참여한 ♡♡팀이 작성한 논문 “Cyclic soft stimulation: a new fluid injection protocol and traffic light system to mitigate seismic risks of hydraulic stimulation treatment”(2018년 5월)에는 적색단계에 해당할 경우 지진 발생이 완전히 감소하고 지진의 위험성을 분석한 이후 수리자극을 재개하도록 되어 있음. 한편, ▼▼(스위스 취리히에 소재하는 지열발전 사업자로 포항지열발전의 4차 수리자극 때 ♡♡팀의 공식 참여자)가 수행한 심부지열파일럿 프로젝트(The deep geothermal pilot project of Haute-Sorne, 2015년 스위스 쥐라 주 정부 승인)의 조건 제60조에 따르면, 수리자극 수행 중 일정 규모(규모 2.6) 이상의 지진이 발생한 경우 지열발전 사업자는 수리자극을 즉시 중단하고 지진의 원인을 파악하기 위해 지진 위험도를 분석하여야 하며 정부는 위 분석결과와 이에 대한 전문가그룹의 검토의견을 토대로 향후 프로젝트 진행 여부를 결정하도록 되어 있음. 다만, 이에 대해 서울대학교 B 교수는 2016년 3월 ▼▼와 교류하기 시작하여 2015년 12월 “미소진동 관리방안” 작성 당시에는 해당 자료를 파악할 수 없었으며 그 이후에도 해당 문건을 본 적이 없다고 답변

를 변경하기 위한 컨소시엄 내부회의에서 “TLS stage별 기준을 높이기보다, stage별로 조치 후의 작업재개 기준을 만들어야 한다”라고 의견을 제시한 기록²²⁾이 있어 이에 대해 R 대표에게 문의한 결과, 기록된 내용에 대해 기억은 정확히 나지 않으나 “지열발전 사업자가 자체지침에 대해 스스로 평가를 하게 되면 객관성이 결여될 수 있어 전문성이 다소 떨어지더라도 예기평가 산업부, 포항시 등 제3의 객관적인 규제당국에 보고하여 수리자극을 재개할 수 있어야 한다.”라는 취지로 의견을 제시했을 것이라고 답변하였고, 같은 날 서울대학교 B 교수의 연구노트에 “언제 재가동”, “재개조건 → 지역주민, 발주처”라는 기록²³⁾이 있는 등 내부적으로 수리자극 재개조건의 필요성에 대해 의견이 제시된 정황이 있는데도 신호등체계 변경 시 지진발생으로 수리자극이 중단된 이후 예기평가, 산업부, 포항시 등 관련기관의 승인을 받아 수리자극을 재개하는 내용을 반영하지 않았다.

그 결과 2017. 4. 15. 규모 3.1 지진이 발생했는데도 ☆☆ 컨소시엄은 예기평가 및 산업부, 포항시 등 감독당국으로부터 재개승인을 받지 않고 4차 및 5차 수리자극을 재개하였다.

다. 지진 정보 공개를 신호등체계에서 부당하게 제외

[지열발전으로 인한 유발지진 발생 사실 공개 필요성]

22) 당시 회의 내용을 기록한 서울대학교 Y의 연구노트에 기재되어 있는 기록이며, ☆☆ K 대표이사는 회의에서 이와 같은 발언 내용이 있었던 것으로 기억하나 신호등체계에 구체적인 재개조건을 포함해야 한다는 생각을 하지 못했다고 답변하였고, 서울대학교 B 교수는 위와 같은 발언이 있었는지 기억나지 않으며 지금 생각하면 부족한 부분이라고 생각하며, 당시에는 최대 허용기준을 지진규모 2.0에서 2.5로 올리는 것이 타당한지가 주요 이슈였고 재개조건의 중요성에 대해 미처 고려하지 못하였다고 답변

23) 이 기록에 대해 서울대학교 B 교수는 2016. 12. 23. 회의 중 본인이 작성한 것이며, 당시 이에 대한 언급을 회의에서 하였는지 구체적인 기억은 나지 않고, 2015년 12월 “미소진동 관리방안”에서 제안한 신호등체계를 수립할 때는 적색단계에서 수리자극을 중단한 후 재개하기 위한 요건에 대해서는 고려하지 못하였으나 2016. 12. 23. 신호등체계를 변경할 때는 연구노트 기록을 볼 때 수리자극 재개기준에 관한 생각을 하였던 것으로 추정된다고 답변

포항시가 2011. 4. 26. ☆☆와 맺은 「MW급 지열발전 상용화 기술개발을 위한 업무협약서」²⁴⁾ 제5조에 따르면 “본 사업의 직접적인 원인으로 주민 및 시설의 안전을 위협할 수준의 진동 피해가 발생할 경우” 협약을 해지할 수 있도록 되어 있고, 포항시는 「재난 및 안전관리 기본법」 제4조 제1항에 따라 포항지역 주민의 생명·신체·재산을 보호할 책무가 있기 때문에 ☆☆ 컨소시엄은 포항시에 포항 지열발전 과제에서 발생한 유발지진에 대한 구체적인 정보를 제공할 필요가 있다.

또한, ☆☆ 컨소시엄이 작성²⁵⁾한 “Basel EGS Project의 미소진동관리 사례 연구”(2013년 12월)에 따르면 “EGS 프로젝트가 성공적으로 착수되었다고 해도 향후 진행과정에서 발생하는 문제에 대해 지역사회와 지속적으로 소통하는 것이 필요하며 이 문제는 기술적 난관을 해결하는 것 못지않게 중요하다”고 되어 있고, “미소진동 관리방안”(2015년)에도 “프로젝트 진행과정을 지역주민을 포함한 이해관계자들에게 잘 숙지시키고 이들과 프로젝트 관계자들은 개방적이고 유익한 의사소통을 통해 긍정적인 관계를 형성해야 한다”고 되어 있다.

그리고 컨소시엄에 참여한 지자연 E 연구원은 2010. 3. 5. 지열발전소 건설 사업을 검토 중이던 한국동서발전주식회사로부터 ‘EGS 지열발전소 건설을 위한 인공 저류층 생성 시 지진 발생 여부’에 대한 견해를 공문으로 요청받은 데 대해 같은 해 3. 8. “간혹 있을지도 모를 미소진동에 의한 민원 발생 소지를 방지하는 차원에서 프로젝트 추진 초기에 지방자치단체 및 주민들에 대한 충분한 설명 기회를 가지는 것이 추천된다”고 회신하였다.

24) 포항시는 인허가, 부지 확보, 용수 확보 등의 행정 지원과 민원 해결을 위해 협조하고 ☆☆ 컨소시엄은 지열에너지 개발·보급을 위한 투자 촉진 등을 목적으로 협약을 체결. 다만, 포항시와 ☆☆의 업무협약서는 당초 과제 종료기간인 2015. 11. 30.까지 유효한 것으로 되어 있으나, 4차례의 사업기간 연장에도 불구하고 업무협약은 별도로 연장한 사실이 없음

25) ☆☆ 컨소시엄의 구성원인 ♡♡ R 대표가 작성

게다가 미국 에너지부의 “EGS로 인한 유발지진 관리 프로토콜”(2012년) 자료에도 7단계 프로토콜 중 2단계가 “지역주민들과의 대화프로그램 실행”으로 되어 있어 지역사회에 수리자극과 관련된 유발지진 모니터링 절차 및 결과를 설명하고 사업의 위험성과 이점을 모두 제공할 것을 권고한다고 되어 있고, 이를 근거로 수립한 “미소진동 관리방안”에도 포항 지역주민들에게 체계적인 미소진동 관리방안 제시, 진동발생 원인 등을 설명하여 안전성을 확보하는 등의 내용을 포함하고 있다.

한편, 기상청은 지진업무를 총괄하는 중앙행정기관으로서 지진관측망 구축·운영 및 지진 관측·감시, 관측자료의 수집·분석·관리 업무를 수행하고 있는데, 수리자극과 같은 물 주입으로 발생한 지진은 자연지진의 지진파와 특성이 유사하므로 지진파만으로는 지열발전 등으로 인해 인위적으로 발생한 지진인지 여부를 분석하는 데 한계²⁶⁾가 있기 때문에 유발지진과 관련한 정보를 제공받을 필요가 있다.²⁷⁾

더욱이 ☆☆ 컨소시엄은 2015년 12월 수립한 “미소진동 관리방안”의 신호등체계에 황색1 단계(지진규모 M_L 1.0) 이상의 지진이 발생할 경우 웹사이트를 통해 지진규모를 공개하고, 적색단계(지진규모 M_L 2.0)에 해당하는 지진이 발생할 경우 산업부와 예기평 외에 포항시와 기상청에도 지진 발생 사실을 보고하는 내용을 포함한 바 있다.

따라서 ☆☆ 컨소시엄은 포항시와 기상청이 “MW급 상용화 과제”에서 발생하

26) 실제로 3차 수리자극(2017. 3. 16.~4. 14.) 직후인 2017. 4. 15. 포항에서 규모 3.1의 지진이 발생하였을 때 기상청은 통상적인 자연지진으로 판단하여 지진경보를 발표

27) 기상청은 안전관리를 지원하는 차원에서 해당 과제에 관여했다면, 일정 규모 이상의 지진을 실시간으로 감시하고 객관적으로 분석한 지진정보를 사업의 안전성을 관리·감독하는 기관의 담당자에게 신속하게 전달하여 안전관리 차원의 의사결정을 지원하는 역할을 수행할 수 있을 것이라고 답변

는 유발지진에 대한 안전성 확보 및 지진 피해 예방 등에 필요한 조치를 하고 지역주민들이 지진 발생 사실을 직접 확인할 수 있도록 신호등체계에 일정 규모 이상의 지진이 발생한 경우 이들 관련기관이나 지역주민에게 지진 발생 사실을 알리는 내용을 2016. 12. 26. 신호등체계 변경 시에도 포함하는 것이 바람직했다.

[유발지진 발생 사실을 공개하지 않는 것으로 결정한 경위]

그런데 ☆☆ 컨소시엄은 2016. 12. 23. 내부회의²⁸⁾에서 지진 발생 정보를 알리기 위해 2013년 구축한 웹사이트의 방문자 수가 너무 적어 운영의 실효성이 없고 과제진행 및 평가관리에는 크게 연관이 없다는 사유²⁹⁾로 웹사이트를 통해 지진 발생 사실·지진규모를 공개하는 내용을 신호등체계에서 제외하였다. 그리고 보고대상 중 포항시와 기상청은 R&D 관리기관이나 규제기관이 아니라는 사유로 보고대상에서 제외하는 것으로 신호등체계를 변경³⁰⁾하였다.

그 결과 2017. 11. 15. 포항 지열발전 현장에서 규모 5.4의 지진이 발생하기 전까지 지진의 직접적인 이해당사자인 포항시민과 포항시 그리고 기상청 등 지진 관련기관에 포항 지열발전으로 인하여 유발지진이 발생하고 있다는 정보가 제공되지 않았다.

라. 신호등체계 미준수

28) 2016. 12. 23. 05:31경 규모 2.2 지진이 발생하자 ☆☆에서 서울대학교, ♀♀, 지자연 등 참여기관을 소집하여, 같은 날 13:00 부터 20:30 까지 포항 지열발전 현장에서 신호등체계를 변경하기 위한 회의를 개최

29) 위 회의에 참석한 서울대학교 B 교수는 시민들에게 웹사이트로 지진 발생 사실을 알려주는 등 대중수용성에 대해서는 회의에서 여러 번 이야기했으나, 컨소시엄 내부에서는 주민들과의 적극적인 소통과정을 부담스러워하였다고 답변

30) 위 회의에 참석한 서울대학교 B 교수는 포항시와 기상청에 지진 발생을 알리는 것은 부담스럽다는 취지의 의견이 있었다고 하였으나, ☆☆ 대표이사 K은 이와 같은 발언이 있었는지 기억이 나지 않는다고 답변. 그리고 서울대학교 B 교수는 K 대표이사가 회의를 주도하였는데 현재 신호등체계의 최고단계(지진규모 2.0)가 너무 엄격하여 현실적으로 사업을 진행할 수 없다고 읊소하면서 신호등체계를 변경해 줄 것을 부탁하여 현장 조치인 배수를 강화하는 조건으로 신호등체계에 동의하였다고 하고, ♀♀ 대표이사 R은 정부 보고 기준인 최고단계 지진규모가 낮은 기준이라 계속 멈추고 보고를 해야 하므로 현실적인 사업진행을 위해 조정되었다고 답변하나, ☆☆ 대표이사 K는 현재의 신호등체계로 사업 진행의 어려움을 말했던 것은 예비수리자금 결과 지진규모 대비 낮은 PGV값으로 인한 신호등체계의 문제점 등에 대한 취지로 의견을 제시했던 것이라고 답변

☆☆ 컨소시엄이 2016. 1. 29.부터 2017. 9. 18.까지 5차례의 수리자극을 수행하는 동안 신호등체계를 준수하였는지 여부를 점검³¹⁾하였다.

그런데 ☆☆ 컨소시엄은 2016. 12. 23. 05:31 규모 2.0³²⁾의 적색단계에 해당하는 지진이 발생하여 [표 15]의 신호등체계에 따라 산업부, 예기평, 포항시, 기상청 등 4개 기관에 지진발생 사실을 통보하여야 하는데도 예기평에만 유선 보고³³⁾하고 산업부 등 나머지 3개 기관에는 지진발생 사실을 보고하지 않았고 웹사이트에 지진규모를 공개하지 않는 등 신호등체계를 준수하지 않았다.

다만, [별표 5]의 “신호등체계에 따른 조치와 관련한 논란 사례”와 같이 위 2016. 12. 23. 05:31 발생한 규모 2.0 지진을 제외한 8회의 지진에 대해서는 신호등체계를 따르지 않은 의혹이 있지만, ① 지자연이 지진 발생 당시 현장 수리자극팀에 실시간으로 통보한 지진규모 기록이 남아 있지 않고, ② 신호등체계에서 단계별로 주입압력 및 배수량을 어느정도 조절해야 하는지 등에 대한 조치기준이 불명확한 점 등을 감안할 때 신호등체계를 위반했는지 여부를 명확하게 단정할 수 없었다.

3. 산업부의 미소진동 관리방안 수립업무 부실 처리

「지진·화산재해대책법」 제3조에 따르면 재난관리책임기관(중앙행정기관 및 지

31) 2016. 12. 26. 이전에는 [표 15]의 신호등체계를, 같은 해 12. 27.부터는 [표 16]의 신호등체계를 적용. 한편, 감사 과정에서 ☆☆ 컨소시엄 내 지진관측 업무를 수행한 지자연의 지진규모 산정 업무 추진 과정을 확인한 결과 지진 발생 당시 현장 수리자극팀에 통보한 최초 지진규모 자료가 없고, 지자연에서 2019. 5. 10. 제출한 지진규모와 이후 감사 중 확인된 지진규모가 상이함을 확인하였음. 이에 [별표 4] “지진규모”와 같이 2019. 11. 12. 감사 중 확인된 지진규모를 기준으로 규모 1.0이상의 지진이 총 54회 발생한 것으로 추정됨(지자연은 2019. 5. 10. 제출한 감사자료에서 규모 1.0이상의 지진이 총 63회 발생했다고 답변)

32) 기상청에서 규모 2.2로 발표하여 지자연이 측정한 지진규모의 불확실성이 해소 됐기에 현장조치 사항인 주입압력 감소나 배수조치와 관련한 조치기준의 불명확성을 고려할 필요 없이 신호등체계 준수여부에 대해 판단 가능

33) ☆☆ V 이사가 유선으로 예기평 W 연구원에게 보고를 하였다고 하고, ☆☆에서 기간연장과 관련하여 예기평에 보고한 자료에 따르면 2016. 12. 23. 규모 2.2 지진 발생을 유선으로 예기평에 보고하였다고 기재되어 있으나, W 연구원은 기억이 나지 않는다고 진술하는 등 보고 여부가 불분명. 단, 위 내용은 중요도를 감안할 때 문서로 명확히 보고하는 것이 적절

자체)의 장은 지진·화산재해를 줄이기 위하여 지진·지진해일 및 화산활동의 관측·통보, 지진·화산재해 대응 및 긴급지원체계의 구축 등에 대하여 필요한 조치를 하도록 되어 있다.

또한, 「재난 및 안전관리 기본법」 및 산업부의 「재난 및 안전관리 지침」(2009년 11월)에 따르면 산업부장관은 소관 산업·에너지 및 우주 관련 시설 또는 지역(민간 소유 시설 또는 지역 포함)의 재난 예방과 피해 경감을 위해 노력하여야 한다고 되어 있다.

[산업부도 2014년 3월 지열발전으로 인한 유발지진 관리 필요성 인지]

한편, 미국 에너지부는 2012년 EGS 개발에서 필연적으로 발생하는 유발지진을 적절하게 관리하고 지진피해를 경감하기 위한 안전관리 방안으로 “유발지진 관리 프로토콜”을 발간하였고, 이 자료에서는 지열발전으로 인한 유발지진 발생 가능성, 지진관리의 필요성 등을 포함하고 있다. 산업부도 2014년경 “유발지진 관리 프로토콜”을 확인하여 에기평에 “MW급 상용화 과제”에도 이와 유사한 관리방안이 있는지 문의하였고, 에기평은 ☆☆ 컨소시엄에서 관련된 연구를 진행 중이라고 보고하였다.

이에 따라 산업부는 2014. 3. 28. ☆☆ 등이 참여한 회의를 개최³⁴⁾하여 스위스 바젤에서 규모 3.4 지진이 발생하여 사업이 중단된 사례, “MW급 상용화 과제”에서도 미소진동이 발생할 수 있다는 사실, 수리자극으로 인한 피해를 최소화

34) 산업부 T(신재생에너지 R&D 총괄관리 담당)는 에기평에서 ☆☆와 함께 직접 방문해 보고하겠다고 하여 회의를 개최하게 되었다고 답변하였으나, 서울대학교 B 교수가 ☆☆ 컨소시엄 구성원들과 공유한 이메일 기록에는 “제가 산업부 방문하였습니다. 사유는 포항에서 미소진동 관리계획에 대해 알려달라는 것”이라고 설시되어 있고, 에기평 U 연구원은 “산업부 연락을 받고 회의를 가졌으며 산업부 출장은 자주 있는 일이 아니기 때문에 특별히 산업부에서 수리자극으로 인한 미소지진과 관련된 관리의 필요성을 느껴서 개최했던 것 같습니다.”라고 답변하였으며 ☆☆ O 이사가 산업부 회의에 참여하기 위해 서울대 교수와 일정을 조율하는 이메일 기록에는 “산업부 T와 직접 연락하셔서 일정을 잡으셔도 무방할 것 같습니다.”, “산업부 방문은 가능하면 에기평도 함께 가겠다고 합니다.”라고 기재되어 있음

화하기 위해 수리자극을 실시하기 전 “미소진동 관리방안”을 확정하겠다는 계획 등을 논의하였다.

또한, 산업부(☼과)는 심부지열발전의 상용화 이전에 법체계 및 지원방안 수립에 참고하기 위해 2013년부터 ☆☆ 컨소시엄의 참여기관인 ♡♡에 연구용역을 수행하게 한 “심부지열 개발·이용·보급을 위한 법제화방안” 진행 상황을 논의하기 위해 2014. 4. 1. ♡♡ R 대표가 참여한 회의³⁵⁾를 개최하여 지열발전이 환경에 미치는 상황인 미소진동의 발생 위험과 미소진동 관리기준을 포함한 환경영향평가에 대한 법령 개정 필요성 등을 논의하였다.

그리고 2014. 6. 30. 산업부에 제출된 위 연구용역의 최종보고서에는 바젤의 유발지진 관리방안을 소개하며 “수리자극은 필연적으로 미소진동을 유도하게 되는데 완벽한 모니터링 시스템을 갖추고 지진 발생 즉시 상황별 대응 매뉴얼에 따라 주입압력을 줄이거나 유량을 즉각 감소시키는 적절한 조치를 취함으로써 미소진동의 위험을 차단하는 미소진동 위험관리 시스템의 수립과 적절한 운영 매뉴얼은 각 사이트별 개발사업자의 중요한 의무로 규정되어야 할 것이다”라는 내용(340~344쪽)이 명시되어 있다.

따라서 산업부는 EGS 지열발전에서 미소진동이 발생할 수 있다는 사실과 이에 대한 관리방안이 필요하다는 것을 알게 되었으므로 미국 에너지부와 같이 피해 예방을 위한 안전관리 방안을 직접 수립하거나, 2014. 3. 28. 회의에서 ☆☆

35) 산업부 Q(지열에너지지원 담당)와 ☆☆ 컨소시엄 참여기관인 ♡♡ R 대표가 ☼과에서 회의를 함. 이후 “심부지열 개발·이용·보급을 위한 법제화방안” 연구용역은 산업부 ☼과 AA(담당업무: 지열에너지지원)가 담당. 한편, 산업부(☼과)가 지원하고 한국에너지공단이 전담한 2017년 6월 “한국의 지열 부존 현황 및 지열자원 정책지원사업” 보고서(126쪽~127쪽)에도 “바젤, 란다우, 술츠 등 해외 EGS 사이트에서 유발지진이 발생했으므로 EGS 개발 중에 발생하는 유발지진에 대한 연구가 필요하다”는 내용이 명시되어 있으며, 이 연구용역은 산업부 ☼과 X(담당업무: 지열에너지지원 및 신재생에너지 R&D)가 담당하였고, 주관기관은 지자연(연구책임자: AB)임

컨소시엄으로 하여금 “미소진동 관리방안”을 수립하도록 지시하였으므로 ☆☆ 컨소시엄과 에기평의 보고가 없을 경우 유발지진 피해를 최소화할 수 있도록 “미소진동 관리방안”이 수리자극 실시 전까지 수립되었는지 여부를 직접 확인하거나 에기평을 통하여 확인하도록 하여야 했다. 또한, 이후 신호등체계를 보고받았을 때는 그 걱정 여부를 검토하여 미소진동 관리방안 실질적으로 유발지진으로 인한 피해를 예방할 수 있도록 하여야 했다.

[산업부는 2014년 3월 이후 유발지진 관리방안 수립 여부에 대한 검토 미실시]

그런데 산업부는 EGS 지열발전에서 미소진동이 발생할 수 있다는 사실과 이에 대한 관리방안의 필요성을 인지하고서도 정부 주도로 안전관리방안을 수립하지 않았고, 2014. 3. 28. 산업부 회의 이후 사업 진행과정에서 R&D 담당자가 교체되면서 인수인계가 제대로 이루어지지 않아³⁶⁾ ☆☆ 컨소시엄으로 하여금 미소진동 관리방안을 수립하도록 하고서도 “미소진동 관리방안”이 일정에 맞게 수립되는지를 점검하거나, 에기평을 통하여 이를 확인하도록 하지 않았다.

또한, 후임자인 R&D 과제 총괄관리 담당 X는 2017. 4. 17. 에기평으로부터 2017. 4. 15. 발생한 규모 3.1 지진에 대한 보고를 받는 과정에서 [표 16]의 신호등체계 내용을 확인하였는데도 신호등체계의 의미, 유발지진 발생 시 산업부의 역할 등을 문의하거나 신호등체계의 내용을 검토하는 등의 조치를 하지 않았다.

그리하여 지진 발생 후 수리자극 재개조건과 포항시민들에 대한 유발지진 발생사실 공개 등이 신호등체계에서 누락되는 등 미소진동 관리방안이 부실하게 수립되었고, 2017. 4. 15. 규모 3.1 지진이 발생한 후에도 산업부 등이 적절한 대

36) T는 2014년 6월 후임자인 AC에게 미소진동 관리방안을 ☆☆ 컨소시엄측에서 검토중이라는 것에 대해 인수인계를 하였다고 답변하였으나, AC는 이에 대해 인수받은 바 없다고 답변

응을 하지 못하는 등 실질적으로 유발지진으로 인한 피해를 예방할 수 없게 되었다.

관계기관 의견 및 검토결과

1) ☆☆의 경우

① [표 15] “적색단계 기준이 규모 2.0인 신호등체계”(2015. 12.) 적용 관련

☆☆ K 대표이사 등은 ㉠ 2015년 12월 “미소진동 관리방안” 작성 당시 지열발전 현장의 지진규모와 최대지반속도 사이의 상관관계를 확인할 수 없어 [표 15]의 “적색단계 기준이 규모 2.0인 신호등체계”를 적용할 수 없었고 ㉡ 예비수리자극을 통해 지진규모와 최대지반속도 사이의 상관관계를 확인하고 이를 바탕으로 [표 16]의 신호등체계를 확정하여 2016. 12. 26. 이후 신호등체계를 운영한 것이라고 주장하였다. 또한, ㉢ [표 15]의 신호등체계를 참고하되 지진 발생 즉시 현장 수리자극팀의 논의를 통해 대응조치 내용을 결정하는 방식으로 수리자극을 수행하였다는 의견을 제시하였다.

그러나 이번 감사기간 중 확인한 결과, ㉠ 2015년 12월 ☆☆ 컨소시엄이 작성한 “미소진동 관리방안” 보고서에서 “지진규모에 따른 지반진동의 세기를 쉽게 단정할 수 없어 지진규모에 대한 기준은 최대지반속도 기준과 독립적으로 새로 제시하였다”는 내용을 결론으로 제시한 점과 ☆☆ 컨소시엄에서 2016. 12. 26. 확정했다고 주장하는 신호등체계에도 지진규모와 최대지반속도 사이의 명확한 상관관계를 반영하지 않은 점을 보면 지진규모와 최대지반속도 사이의 상관관계를 확인하지 못했더라도 신호등체계를 수립·운영하는 것에는 문제가 없는 것으로 판단되고, ㉡ 2014. 3. 28. 산업부에서 실시한 회의에서 ☆☆가 수리자극 실시 전까지 미소진동 관리방안(신호등체계)을 확정하겠다고 보고한 점³⁷⁾, 컨소

시엄 내 서울대학교 B 교수 예비수리자극을 통해 지진 규모 및 최대지반속도를 반영하여 이후 수리자극 과정에서 신호등체계를 변경할 수는 있겠으나 실제 상당량의 물을 주입하고 상당한 주입압력이 가해지므로 수리자극으로 인한 지진 발생 및 위험 가능성에 대비하여 예비수리자극 시에도 준수해야 할 신호등체계가 필요하다고 진술한 점, 감사원 감사과정에서 서울대학교 교수 B, ☆☆ 부회장 AD, ♠♠ 대표이사 R 등이 [표 15]의 신호등체계가 1차 수리자극에서부터 적용되었다고 진술한 점, 미소진동 관리방안 보고서에도 “미소진동 관리방안 계획 수립”이라고 명시된 점, ☆☆ 컨소시엄의 연구진이 2018. 4. 14. “Renewable and Sustainable Energy Reviews”에 발표한 논문³⁸⁾과 2017. 3. 14.~3. 17. 워크숍³⁹⁾에서 발표한 “Induced Seismicity Protocol for the First Enhanced Geothermal Systems Project in Pohang, Korea”에 1차 수리자극은 [표 15]의 신호등체계를 사용했다고 되어 있는 점 등을 감안할 때 2016. 12. 26.부터 신호등체계를 적용했다는 주장은 받아들이기 어렵고, ☆☆ 컨소시엄은 수리자극 시 유발되는 지진 위험성을 관리하기 위해 2015년 12월 신호등체계를 마련하고도 이를 준수하지 않는 등 지진 위험성 관리가 미흡했던 것으로 판단된다. 또한, ㉔ 지진 발생 즉시 현장상황팀의 논의를 통해 대응조치 여부 및 내용을 결정하였다고 하나, 논의내용이나 논의결과에 대한 자료가 존재하지 않으며, 서울대학교 교수 B는 이러한 논의에 참여한 적이 없다고 답변하고 있는 점과 ☆☆ 대표이사 K도

37) ☆☆ 컨소시엄이 미소진동 관리방안을 수립하면서 참고한 미국 에너지부의 “EGS 유발지진 관리 프로토콜”에서도 신호등체계와 각 조치가 수행되는 기준값들은 작업이 수행되기 전에 정해져야 한다고 되어 있음

38) 제목: Protocol for induced microseismicity in the first enhanced geothermal systems project in Pohang, Korea (Received 6 January 2017; Received in revised form 21 October 2017; Accepted 14 April 2018)
저자: B, AE(서울대학교), AF(한국건설기술연구원), V, AD, K(☆☆), AG, G, E(지자연)

39) 스위스 다보스에서 개최된 제2회 유발지진 워크숍(Schatzalp 2nd Induced Seismicity Workshop)

수리자극 기간 중 현장에 계속 상주하지 않은 점을 고려할 때 현장의 논의를 거쳐 대응조치를 결정했다는 주장도 인정하기 어렵다.

② 신호등체계 준수 여부 관련

☆☆ 대표이사 K 등은 신호등체계가 2016. 12. 26. 확정되었으므로 2016. 12. 23. 발생한 지진에 대해서는 [표 15]의 신호등체계를 적용할 수 없다고 주장하고 있으나 위 “① [표 15] 적색단계 기준이 규모 2.0인 신호등체계(2015. 12.) 적용 관련”의 내용과 같이 신호등체계는 2015년 12월부터 수립되어 적용된 것으로 판단되고 산업부, 포항시, 기상청 등 3개 기관에 지진 발생 사실을 통보하지 않고 웹사이트에 지진규모를 게재하지 않은 것은 서울대학교 교수 B, ☆☆ 부회장 AD, ♀♀ 대표이사 R의 진술 등을 고려할 때 사업추진이 어려워져 공개 규정을 삭제한 후 비난을 피하기 위한 것으로 판단된다.

2) 산업부의 경우

산업부는 소관 시설 또는 지역의 재난 예방 및 피해 경감을 위해 노력해야 한다는 지적에는 동의하나 ① R&D 시설이 안전관리계획의 수립 대상 분야에 포함되지 않아 안전관리 대책이 마련되지 못하였고, ② 미국 에너지부에서 제시한 “EGS로 인한 유발지진 관리 프로토콜”의 목적이 진동에 따른 주민의 민원을 관리하기 위한 것이며 해당 프로토콜에 EGS 개발 시 발생하는 유발지진은 자연 지진과 달리 작은 규모라서 물리적 피해의 위험성이 작다고 기술되어 있고, ③ 2014. 3. 28. 산업부 회의에서 ☆☆로부터 지열발전예 따른 지진재해 위험성 및 대책 마련의 필요성에 대한 언급과 보고가 없어 안전관리 대책을 마련할 필요성을 인지하기 어려웠으며, ④ 산업부 담당자가 ☆☆에 유발지진 관리방안을 수립

하도록 당부하였으나 산업부와 전담기관 간 통상적인 역할분담에 근거해 전담기관이 추후 과제관리·평가 과정에서 진행 상황을 점검할 것이라고 판단하였고, ⑤ 산업부 소관인 “심부지열 개발·이용·보급을 위한 법제화방안” 연구용역 보고서가 심부지열 산업 활성화를 위한 관련 법령 개정방안을 제안하는 등에 맞춰져 있어 미소진동 관리방안의 진행상황을 확인할 필요성을 인지하지 못하였으며, ⑥ “한국의 지열 부존 현황 및 지열자원 정책지원사업” 연구용역 보고서도 미소진동 관리방안 마련이 필요하다는 언급은 없었고, ⑦ 규모 3.1의 지진이 수리자극과 연관성이 있는 유발지진이라는 점을 보고받지 못하였으며, 그 이후 수리자극이 중단되었고 추가 보고된 지진이 없었기에 담당 사무관이 통상적인 주의를 기울였음에도 미소진동 관리 신호등체계의 적정성을 검토할 필요성을 인지하기 어려웠다고 주장하고 있다.

그러나 ① 비록 재난안전관리집행계획 수립 대상에는 R&D 시설이 포함되어 있지 않지만 「재난 및 안전관리 지침」(산업부) 제6절에 따르면 산업부장관은 소관 에너지 시설 또는 지역(민간 소유 시설 또는 지역 포함)의 재난 예방과 피해 경감을 위해 노력하여야 하는 재난관리 의무가 있으므로 에너지 시설로 분류할 수 있는 “MW급 상용화 과제”의 지진 위험성 등을 고려할 때 안전관리 방안을 마련했어야 하고, ② 미국 에너지부의 “EGS로 인한 유발지진 프로토콜의 목적”은 단순히 민원관리 차원이 아니라 EGS 개발에서 필연적으로 발생하는 유발지진을 적절하게 관리하여 지열발전을 안전하게 추진하기 위한 것이며, 동 자료는 지열발전으로 인한 유발지진 발생 가능성, 지진관리의 필요성 등을 담은 매뉴얼인데도 지열발전 주무부처로서 정확한 사실관계 확인도 없이 답변한 것으로 판단되

고, 2014. 3. 28. 산업부 회의에 참석한 후 ☆☆ 컨소시엄 구성원인 서울대학교 B 교수가 이날 논의사항을 ☆☆ 컨소시엄의 다른 연구자들에게 이메일을 통해 공유한 기록에는 “제가 산업부 방문하였습니다. 사유는 포항에서 미소진동 관리 계획에 대해서 알려달라는 것인데 첨부자료와 같이 설명을 드렸습니다. Q는 이미 해외 사례 등에 대해서 공부를 많이 해서 관련 내용에 대해서 비교적 잘 파악하고 있습니다. 미국 DOE 관련 자료-프로토콜-도 밑줄 쳐가면서 공부했고, 스위스 바젤 관련 이코노미스트지 기사 등 관련 자료를 잘 알고 있습니다. 그날은 정부 담당자들이 우려하는 사항에 대해서 우리도 이미 준비를 하고 있다는 정도로 대응하였고”라고 실시되어 있는 등으로 볼 때 미국 에너지부의 “EGS로 인한 유발지진 관리 프로토콜” 목적이 유발지진 관리방안이라는 점을 인지하고서도 일부 문장만 발췌하여 진동에 따른 민원관리 차원이라고 하는 것은 사후에 책임을 회피하기 위한 답변이고, ㉔ 2014. 3. 28. 산업부 회의에서 발표한 ☆☆의 자료를 보면 스위스 바젤에서 지열발전으로 규모 3.4 지진이 발생하여 사업을 중단한 사례, 포항 현장에서 운영할 미소진동 안전관리 방안을 수립 중이며 수리 자극 실시 전까지 미소진동 관리방안을 확정할 계획임을 보고받았고, 산업부 담당자는 계획대로 잘 진행할 것을 당부하였으며, 당시 회의에 참여한 예기평 담당자 U가 감사원 감사 시 “산업부, 예기평, ☆☆가 미소진동 관리방안 마련의 필요성에 대해서는 모두 인정하였다”라고 답변한 점을 고려할 때 안전관리 대책의 필요성을 인정한 것으로 추정되고, ㉕ 전담기관인 예기평이 과제관리 과정에서 진행 상황을 점검할 것이라고 답변하고 있어 점검의 필요성에 대해서는 인정하고 있고, ㉖ “심부지열 개발·이용·보급을 위한 법제화방안” 연구보고서에는 심부지열산업 활성화를 위한 법령 개정 등 발주목적과 관련된 내용 외에도 바젤의

미소진동 관리방안을 소개하며 미소진동 위험관리 시스템과 운영 매뉴얼의 필요성을 사업자들의 의무로 규정할 것을 명확히 서술하고 있으며, 당시 용역을 발주하였던 Q는 2014. 4. 1. 연구용역 진행상황과 관련된 논의를 하기 위해 ☆☆ 컨소시엄 구성원인 ♡♡ R 대표와 회의를 하였고, 이날 논의된 사항을 R 대표가 ☆☆ 컨소시엄의 다른 연구자들에게 이메일을 통해 공유한 기록⁴⁰⁾에는 “Q는 지열발전이 환경에 영향을 미치는 상황(미세진동 발생)이 발생하면 끝장이라는 표현을 반복해 쓰면서 환경영향평가에 대한 법령 개정안을 요청하고 있습니다.”라고 기재되어 있고, 이에 대해 Q는 감사원 감사 중 “지열발전 과정에서 미소지진은 필연적으로 발생하여 이에 따른 관리가 필요하기 때문에 미국 에너지부의 “EGS로 인한 유발지진 관리 프로토콜”을 포항지열 과제관리 담당자인 T에게 전달하였고, 제안요청서(RFP)에 미국사례를 연구하여 법제화에 반영할 것을 주요 연구 내용으로 하였기 때문에 미소진동 관리방안이 당연히 법제화방안 용역결과에 포함될 것이라고 판단하였을 것으로 짐작됩니다.”라고 답변⁴¹⁾한 점 등을 볼 때 지진재해 위험성 및 대책 마련의 필요성을 인식한 것으로 추정되고,

㉠ “한국의 지열 부존 현황 및 지열자원 정책지원사업” 연구용역 보고서에도 바젤, 란다우, 슐츠 등 해외 EGS 사이트에서 유발지진이 발생했으므로 EGS 개발

40) 본문 내용 외에도 ☆☆ 컨소시엄의 ♡♡ R 대표가 2014. 4. 2. 컨소시엄의 다른 연구자들에게 보낸 이메일에는 “이번 법제화방안에 미소진동 관리기준을 포함한 환경영향평가 방안이 들어가야 한다는 것입니다. 심부지열 개발·이용·보급 추진을 위해서는 환경영향평가법에서 연료전지, 태양력, 풍력과 같이 환경영향평가를 완화해야 한다고 했습니다만, 지열은 우려하는 사람이 많아서 오히려 강화해야 하지 않느냐는 의견입니다.”라고 기재되어 있음

41) Q는 위와 같이 답변한 후 이를 반복하며 추가로 제출한 확인서에 “본인이 미세진동이 발생하면 끝장이라는 표현을 쓴 것은 미소진동으로 인해 인접 토지나 도로의 침하, 균열이 발생하여 인접 토지 지주들과 민원, 분쟁, 소송을 야기하게 된다면 실증사업이 중단되어 실패하는 등 최초 실증사업이 실패에 이르지 않도록 사업관리를 철저히 할 필요가 있음을 강조하기 위한 표현이었다고 생각합니다”라고 의견을 제출하였으나 별도의 민원관리 방안 역시 마련하지 않은 점, 서울대학교 B 교수의 이메일에 “Q는 스위스 바젤 관련 이코노미스트지 기사 등 관련 자료를 잘 알고 있다”, “정부 담당자들이 우려하는 사항”이라는 기록과 스위스 바젤은 규모 3.4 지진으로 지열발전 사업이 중단된 대표적인 사례라는 점 등을 고려할 때 단순히 민원차원의 우려라고 보기 어려움

중에 발생하는 유발지진에 대한 연구가 필요하다는 내용이 명확히 기재되어 있어 사실과 다른 답변을 하고 있고, ㉔ 산업부 담당 X는 유발지진과 수리자극의 연관성 인지 여부와 무관하게 미소진동 관리 신호등체계를 보고받고도 예기평이나 ☆☆에 신호등체계의 의미나 산업부가 보고대상에 포함된 사유 등에 대해 문의하거나 추가 확인을 하지 않는 등 아무런 조치를 하지 않았다는 면에서 통상적인 주의를 기울였다고 보기 어려운 점 등을 종합적으로 고려할 때 산업부의 주장을 정당한 사유로 인정하기 어렵다.

조치할 사항 산업통상자원부장관은 “MW급 지열발전 상용화 기술개발 과제”와 같이 재난위험이 있는 연구과제에 대해서는 해당 연구과제 수행으로 인한 재난을 예방할 수 있도록 안전관리 방안 수립 업무를 철저히 하시기 바랍니다.(주의)