

서울복합화력 1,2호기 토건공사 중 배수관로공사 발파안정성
기술자문 조치계획서

2016. 03.

한국중부발전(주)

자문위원 검토의견서

- ◎ 안 건 : 서호교 인접공사(수중발파)에 따른 기술자문
- ◎ 자문위원 : 임 대 규 (서명)
- ◎ 시설물명 : 서호교

순번	검토의견 사항	검토의견 답변
1	진동해석을 위한 지반의 동적 물성치를 Downhole test 검증을 하여 획득하고 반영한 것은 매우 적절한 것으로 판단됨.	
2	시험발파 위치는 검토 대상인 서호교 교각으로부터 충분히 이격된 지점을 선정하였으며, 이는 시험발파의 목적에 부합된 것임.	
3	수중발파의 특성상 각각의 발파공에 대하여 2개의 뇌관을 사용하도록 계획을 한 것은 타당하며, 시험발파 시 뇌관 각선 연결부에 대하여 구리스 도포 또는 방수 커넥터 등을 사용하여, 전류의 누설을 방지할 수 있는 조치를 취할 것을 제안함.	시험발파 시 뇌관 각선 연결부에 대하여 구리스 도포 또는 방수 커넥터 등을 사용하여, 전류의 누설을 방지할 수 있는 조치를 취하여 사압 및 누설전류에 대비토록 하겠음
4	진동관리 기준으로 우물통 하부 기초 암반(경암)과 교각에 대하여 1.0 cm/sec를 설정하였는바, 이는 매우 높은 안전율이 고려된 것으로 평가되며, 본 공사에서도 이를 준수한다면 서호교 안정성에 대해서는 문제가 없을 것으로 판단됨.	

순번	검토의견 사항	검토의견 답변
5	<p>발파지점으로부터 30m 이격된 지점의 우물통 기초암반과 교각의 최대 예상 진동 수준은 0.378 cm/sec(경암 근입부), 0.454 cm/sec(교각 상부)로 관리기준인 1.0 cm/sec 보다 매우 낮게 해석되었으므로 시험발파 시 서호교의 안정성은 담보할 수 있으리라 판단됨. 그러나 시험발파에서 획득된 진동 자료를 바탕으로 역해석을 실시해서 전산해석 예측 결과 값과 비교하고, 그 결과에 따라 본 발파 패턴을 재설정하기를 제안함.</p>	<p>시험발파에서 획득된 진동 자료를 바탕으로 역해석을 실시하여 전산해석 예측 결과 값과 비교하고, 그 결과에 따라 본 발파 패턴을 재설정하도록 하겠음.</p>
6	<p>시험발파 계획서에서는 진동 예측을 위한 추정식으로 국토교통부 표준식을 적용한 것으로 보이는바, 해당 현장은 이미 발전소 본관 터파기 공종에서 시험발파 및 본 발파 시 지속적인 진동계측 행위를 한 것으로 판단됨. 따라서 해당 현장의 지반조건이 반영된 진동 추정식을 바탕으로 예상 진동 수준을 재평가하여 전산해석된 것과 상호 비교하기를 제안함.</p>	<p>기존의 중부화력발전 본 발파작업시 도출되진 시험발파진동식에 $V_{95\%} = 164.983(SRSD)^{-1.587}$ 에 의하여 진동을 예측할 경우 서호교 교각 P25에서의 진동속도는(50m이격시 3kg/delay 패턴) 0.794cm/sec이며, 국토교통부식에 의한 진동예측값은 0.921cm/sec로써 국토교통부식에 의한 예측값이 더 보수적으로 검토되었음.</p>
7	<p>이는 일반적으로 수중발파는 육상부계단식발파에 비하여 자유면 확보와 발파공의 구속상태가 상대적으로 불량할 수 있기 때문에 육상부계단식 발파 자료를 바탕으로 만들어진 국토부 표준 발파 진동 추정식(신뢰도 84%)을 바탕으로 진동을 예측, 평가를 한다면 과 안정적으로 결과가 도출될 수도 있으므로 해당 현장에서 획득된 진동 추정식(신뢰도 95%)으로 검토하는 것이 타당할 것으로 사료됨.</p>	<p>시험발파 결과에 의한 진동추정식(신뢰도 95%)을 이용하여 발파진동 검토를 재평가·설계토록 하겠음.</p>

순번	검토의견 사항	검토의견 답변
8	<p>시험발파 계획서에서 제시된 본 발파 영역은 서호교 교각에 인접된 영역에 대하여 비발파공법(무진동 다루다)을 적용하는 것으로 되어 있으며, 이는 바람직한 방향으로 판단됨. 그러나 수중조건에서 활암공법을 시행하는 것은 많은 어려움이 예상될 것으로 판단되며, 차후 시험발파 결과를 분석하여 적절한 미진동 발파공법을 검토하기를 권고함.</p>	<p>본 발파 영역은 서호교 교각에 인접된 영역에 대하여 비발파공법(무진동 다루다)을 적용하는 것으로 되어 있으나, 수중조건에서 활암공법 적용이 어려울 경우, 시험발파 결과를 분석하여 적절한 미진동 발파공법을 검토하겠음.</p>
9	<p>예를 들면 교각부 방향 발파지역 경계부에 대구경 방진공(line drilling)을 미리 형성하고 미진동 발파를 실시하거나, 선균열 발파(Pre-splitting)로 발파지역 경계부에 인공 방진용 균열을 형성하는 등의 조치를 고려할 수도 있음</p>	<p>무진동다루다공법의 적용이 곤란하여 미진동 발파공법을 적용할 경우 제안하신 방진공법을 검토 후 본 작업을 시행토록 하겠음.</p>

자문위원 검토의견서

- ◎ 안 건 : 서호교 인접공사(수중발파)에 따른 기술자문
- ◎ 자문위원 : 류 기 정 (서명)
- ◎ 시설물명 : 서호교

순번	검토의견 사항	검토의견 답변
1	시험 발파 시 서호교 교각 (P. 25, 26)에 대한 균열 및 침하량을 측정할 수 있도록 계측기기를 설치하여 교각의 안정성을 확인할 것.	서호교 교각은 암반을 기초로 하고 있으며, 암반기초의 경우 침하의 영향은 없을 것으로 판단되나, 시험발파에 의한 진동속도 검토 후 추가적인 계측여부를 재검토 하겠음.
2	발파진동으로 인한 서호교 교각 기초의 세굴방지에 대한 영향 검토가 필요할 것으로 사료됨.	본 현장의 발파 영향 검토 결과 서호교 교각(P25)에 미치는 진동속도는 약 0.378cm/sec이며, 발파의 특성상 지속시간도 2.0초 이내에 사라지므로 진동으로인한 세굴의 영향은 크지 않을 것으로 판단되며, 서호교 교각에 인접된 영역에 대하여는 비발파공법(무진동 다루다)을 적용하는 것으로 계획하므로 세굴영향은 없을 것으로 판단됨.
3	본 의견은 시험발파 계획서를 근거로 작성하였으며, 시험발파 후 발파 계측치와의 비교검토를 통하여 현장 특성에 맞는 발파진동 추정식을 재검토하고 거리 및 장약량 변화에 따른 감쇠지수 등을 파악하여 본발파 설계를 수행하여야 함.	시험발파 후 발파 계측치와의 비교검토를 통하여 현장특성에 맞는 발파진동 추정식을 재검토하고 거리 및 장약량 변화에 따른 감쇠지수 등을 파악하여 본발파 설계를 수행하도록 하겠음.

자문위원 검토의견서

- ◎ 안 전 : 서호교 인접공사(수중발파)에 따른 기술자문
- ◎ 자문위원 : 임 경 호 (서명)
- ◎ 시설물명 : 서호교

순번	검토의견 사항	검토의견 답변
1	<p>발파 지점으로부터 약 30~50m 내외에 근접한 서호교 P25와 P26에 대해서는 본 발파에 water borne shock wave pressure에 대한 영향 검토와 필요시 이에 대한 저감 대책의 고려가 추가로 필요하다고 판단됩니다.</p>	<p>수중발파로 붙이기 발파를 수행할 경우 폭발로 인한 대부분의 에너지는 수중충격파와 머블펄스를 생성하며 전파되지만, 본 공사에 있어 발파는 수중에 천공 발파법으로 수행하므로, 토피 및 수압으로 인해 발파의 대부분은 지반과쇄에 관여하며, 일부는 지중으로, 나머지는 수중에서 반사되어 작용할 것으로 판단됨. 따라서, 물을 매개체로 하는 충격파 (water borne shock wave pressure)에 의한 구조물의 직접적인 영향은 크지 않을 것으로 판단됨. 다만, 시험발파 결과에 따라 필요시 에어커튼(bubble screen) 등의 대책을 강구하도록 하겠음.</p>
2	<p>발파 대상 지점으로부터 약 30~50m 이격된 서호교 교각의 발파진동 관리 기준치 1cm/sec로 할 경우의 표준발파공법 적용 권역(type-3: 20~30m, type-4: 30~60m,..)보다 약 120m 이격되어 있는 변전소의 발파진동 관리 기준치 0.2cm/sec를 대상으로 할 경우의 표준발파공법 적용 권역(type-3: 50~90m, type-4: 90~170m,..)이 더욱 보수적으로 변화되는 양상을 나타내므로 이의 반영이 필요하다고 봅니다.</p>	<p>발파에 따른 진동으로 인한 구조물 손상의 법적 허용 수준은 없으나, 발파영향 검토시 철근콘크리트 구조물에 대해 일반적으로 1.0~5.0cm/sec를 적용하고 있으며, 본 검토 대상인 서호교(P25, P26)에 대해서는 교통량이 많은 강변북로임을 감안하여 허용진동속도 기준을 1.0cm/sec 미만으로 수행하였음. 발파영향권 내의 또 다른 보안물건인 120m 이격된 변전소의 경우 현재 공사가 진행중으로서, 본 공사인 배수로 발파시 영향은 별도로 검토하지 않았으나, (첨부#.1)과 같이 해석 상에서 거리별-진동속도를 분석한 결과 이격거리 120m에 대한 허용진동속도 기준인 0.2m/sec 미만에 대해 만족할 것으로 판단됩니다.</p>

순번	검토의견 사항	검토의견 답변
3	<p>발파안정성 검토 보고서의 p.15 본 발파 적용 계획 영역(type-1: 20m 이내, type-2: 20~30m, ..)은 시험 발파 종료 후 발파 진동식 산출 결과를 토대로 재 산정이 되어야 합니다.</p>	<p>본 발파 적용 계획 영역(type-1: 20m 이내, type-2: 20~30m, ..)은 시험 발파 종료 후 발파 진동식 산출 결과를 토대로 재 산정 하도록 하겠음.</p>
4	<p>서호교 교각에 설치 예정인 발파진동 측정기는 운행중인 차량으로 인한 기존 진동의 영향을 가능한 배제할 수 있는 위치에 설치하도록 함이 바람직할 것으로 사료됩니다.</p>	<p>서호교 교각에 설치 예정인 발파진동 측정기는 운행중인 차량으로 인한 기존 진동의 영향을 가능한 배제할 수 있는 위치에 설치하도록 하겠으며, 시험발파전 차량의 통행진동을 측정하여 발파진동과 구분될수 있도록 트리거레벨을 설정하여 측정 관리토록 하겠음.</p>

자문위원 검토의견서

- ◎ 안 전 : 서호교 인접공사(수중발파)에 따른 기술자문
- ◎ 자문위원 : 박 정 용 (서명)
- ◎ 시설물명 : 서호교

순번	검토의견 사항	검토의견 답변
1	<p>기 수행한 2014년 1월 서호교 정밀 안전진단 용역 자료 중 내하력 평가 부분을 참조하면 PSC 박스 거더구간의 상부구조물 정모멘트부에 최소 기본 내하율이 2.27정도로 안전성을 확보하고 있는 상태이다.</p>	
2	<p>PSC 박스 거더구간의 발파시공에 따른 구조물의 안전성 평가는 다음과 같은 절차를 거쳐 수행한다면 합리적인 것으로 판단된다.</p> <p>시험발파를 통해 PSC 박스 거더구간에 전달되는 충격파(가속도파)를 계측장비(가속도계)를 사용하여 측정 후 범용 해석프로그램을 이용하여 측정된 데이터를 시험발파에 의한 가속도파로 입력하여 해석을 수행한 후 이 결과를 이용하여 기존 교량의 안전성 평가 및 기존 교량의 계측(변위) 한계기준을 제시함으로써 발파 시공시 PSC 박스 거더구간의 전체 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.</p>	<p>시험발파결과 측정시 진동속도가 발파안전기준(1.0cm/sec) 이내로 측정되는 경우 충분한 안전성을 확보한 것으로 판단되므로, 시험발파시 진동측정 결과를 검토 후 충격파(가속도파)에 의한 재검토 여부를 검토하겠음.</p>
3	<p>시험발파 위치는 Pier에 근접한 곳에서 실시하면 계측자료를 이용하여 구조물의 안전성 평가 및 변위 기준 제시에 적용할 수 있을 것으로 판단됨.</p>	<p>시험발파 위치는 Pier에 근접한 곳에서 실시하고 이러한 계측자료를 이용하여 구조물의 안전성 평가 및 변위 기준 제시에 적용하겠음.</p>

자문위원 검토의견서

- ◎ 안 전 : 서호교 인접공사(수중발파)에 따른 기술자문
- ◎ 자문위원 : 이 채 규 (서명)
- ◎ 시설물명 : 서호교

순번	검토의견 사항	검토의견 답변
1	발파진동에 대한 기준을 기존의 자료를 참고하여 결정하였습니다.	
2	<p>암반을 굴착하기 위하여 발파를 하는 경우 모암의 진동을 유발하여 교량에는 지진과 같은 진동을 유발할 수 있습니다. 도로 교량중에서 내진1등급은 규모 5.7~6.3 (0.154g) 규모에 대해 안전성을 확보하도록 되어 있지만 이는 교각의 유효강성의 연성도를 갖는다는 기준으로 평가한 것입니다. 그러나 공용 중 교각 주변에서 발생하는 발파 진동은 유효강성이 아니라 전단면 강성 조건에서 진동이 발생하는 것입니다. 따라서 교각 주변에서 발생하는 진동은 교각의 안전성의 영향 여부 뿐만 아니라 균열 유발 여부를 판단하여야 합니다. 즉 균열 발생여부 및 안전성은 연성변위를 고려하지 않은 조건에서 동적해석을 시행하여 검토하여야 할 것입니다.</p>	<p>시험발파에 의한 계측 후 진동속도가 발파허용기준(1.0cm/sec) 이내로 측정되는 경우 충분한 안전성을 확보한 것으로 판단되므로, 시험발파 시 진동측정 결과를 검토 후 이의 결과에 따라 안정성이 확보되지 않는 경우 발파진동에 따른 구조물 안정성을 재검토 하겠음.</p>
3	이러한 과정을 통해 발파 진동 기준을 설정하여야 할 것입니다.	