ENCI 채석장의 저수위 대비 저류시설 기술 대안 연구

Technische variantenstudie laagwaterbuffer ENCI-groeve

Witteveen+Bos · Rijkswaterstaat | 최종보고서 2024.07.12 | 140081/24-010.204

한국어 발췌 번역 및 설계 연구용 정리

이 문서는 사용자가 제공한 원문을 바탕으로 작성한 비공식 한국어 자료다. 68쪽 본문 전체 번역이 아니라, 2024년 9월 18일자 첨부 메모의 본문 번역과 주요 본문 절의 발췌 번역·요약이다. 원문 쪽수는 보고서에 인쇄된 페이지를 기준으로 하며, 그림과 원본 지도는 재수록하지 않았다. 수치·단위·공식 명칭은 원문 대조가 필요하다. NAP는 네덜란드 수직 기준면(Normaal Amsterdams Peil)이다.

첨부 메모 1/2 · 2024년 9월 18일 (본문 번역)

본 보고서는 Maas강의 저수위 상황에 대비하여 ENCI 채석장을 저류시설로 조성하는 기술적 대안을 검토한 연구다. 이 연구는 Maas강의 물 가용성을 높일 방안을 찾는 담수 델타 프로그램에서 시작되었다.

여름철 (Grens)Maas의 유량은 Maas 유량 협약에 규정된 최저 유량인 초당 10m^3 까지 낮아질 수 있다. 이는 선박 운항과 식수 공급뿐 아니라 자연에도 부정적인 영향을 미친다. Grensmaas는 Natura 2000 보호구역에 해당한다. 물이 충분해야 할 뿐 아니라 유량이 낮으면 순환이 부족해 산소가 풍부한 물이 줄고 용존물질 농도가 높아지며 더운 여름에는 수온이 상승할 수 있다. 이러한 이유로 협약은 Grensmaas와 Julianakanaal 각각의 최소 유량을 초당 10m^3 로 유지하는 것을 목표로 한다.

기후변화에 따라 앞으로 저수위가 더욱 빈번하고 장기간 발생할 것이다. Maas강의 물 가용성을 높이거나 유지하기 위해 강을 따라 저류시설을 조성할 가능성을 검토하고 있다. Grensmaas로의 공급을 늘리려면 가능한 한 상류에 위치한 저류시설이 필요하다.

첨부 메모 번역 (계속)

Rijkswaterstaat, 2024.09.18 · 원문 메모 1 - 2쪽

ENCI 채석장은 상류에 위치해 이론상 저류시설 후보가 될 수 있다. Rijkswaterstaat는 이곳의 활용 방안에 대한 논의에 앞서 Natuurmonumenten과 WML의 협조를 받아 적합성과 고려사항을 기술적으로 조사했다. 연구 목적은 장기적 관점(2050년)에서 채석장 저류의 가능한 효과 및 물 가용성, 주변 환경, 기존 자연·여가 공간에 대한 장단점을 파악하는 것이다. 이 연구는 대안의 필요성, 바람직함, 실현 가능성을 확정하지 않는다.

연구 결과, ENCI 채석장을 저류시설로 활용하는 것은 기술적으로 가능하다. Grensmaas 유량에는 긍정적 효과가 있으나 채석장 안에서는 경관 및 생태에 부정적 영향이 발생하며, 기존 전환계획(Plan van Transformatie)과도 부합하지 않는다.

현재도 채석장이 물에 잠기지 않도록 매년 90만m^3의 지하수를 펌프로 배출한다. 펌프 가동을 여름에 집중하고 채석장 수위를 몇 미터 탄력적으로 높이는 등 제한적 조치로 물을 더욱 효율적으로 활용할 수 있다.

2050년 델타 프로그램의 미래 시나리오에 따르면 여름철 Maas 유량은 추가로 최대 30% 감소할 수 있다. 장기적으로 더 많은 물이 필요할 가능성이 있다. 이를 위해서는 더 크고 강력한 펌프를 설치하거나 채석장 수위를 더 높이는 등 큰 조치가 필요할 수 있다. 자연 및 여가 목표의 피해를 최소화한 대안들과 최대 대안을 검토했으나 Maas강 물의 유입은 매우 바람직하지 않다.

이 연구를 토대로 지역 관계자들과 다음 단계의 가능성을 논의하고자 한다. 결과를 Zuidelijk Maasdal의 MIRT 탐색 연구에 담수 가용성 문제의 일부로 포함하는 것이 바람직하다. 해당 탐색 연구의 시작 문서에는 물 가용성과 (식수) 공급을 확보하거나 개선할 필요가 있는지를 조사하도록 되어 있다. 이를 통해 IRM 방식에 따라 홍수 안전, 신속하고 안전한 수운, 자연 강화, 공간적 질과 개발 등 지역의 다른 과제를 통합하여 검토할 수 있다.

번역 주의: 첨부 메모의 행정 연락처·서식은 제외했다. 원문에서 “technisch mogelijk”는 기술적 가능성을 뜻하며, 사업 승인이나 건축 가능성을 의미하지 않는다.

02 / TERRAIN & GEOLOGY

지형과 지질·수문 조건

본문 §2.1 – 2.4, pp. 8 – 20 · 주요 문단 발췌 번역 및 수치 정리

ENCI Maastricht는 1926년에 설립된 ENCI의 가장 오래된 생산 거점이다. 노천 석회석 채굴, 중간재인 클링커 생산, 클링커 분쇄를 통한 시멘트 제조의 전체 공정이 이루어졌다. 채석장은 시간이 지남에 따라 넓고 깊어졌으며, 2018년 7월 1일 채굴이 종료되었다. 2020년부터 Natuurmonumenten이 채석장을 관리한다. (pp. 8 – 9)

Fig. 2.5 · 연구지역 지표면 고도 (p. 12)

공간	보고서 기준 높이
Jekerdal	+48~+60m NAP
남서부 Sint-Pietersberg	약 +170m NAP
채석장 최저점	+8m NAP
공장 부지	약 +48m NAP
Maas 평균 수위 / 채석장 목표 수위	+44m / +14.5m NAP

Fig. 2.6 · 지하 지층 단면 (pp. 12 – 13)

연구지역의 기저에는 Vaals 층군이 있으며, 약 −80~−45m NAP 구간으로 제시된다. 그 위 −45~+45m에는 Gulpen 층군의 석회암이, Sint-Pietersberg 지역 +45~+75m에는 Maastricht 층군의 경질·연질 석회암이 나타난다. 지표부에는 세립~중세립 모래로 이루어진 Boxtel 층군이 있다. 채석장 주변의 표토는 뢰스, 모래, 자갈로 구성되며 일부는 D'n Observant에 적치되었다. 이 높이는 개략 단면의 설명이지 각 절벽에서 동일한 경계 높이를 보장하지 않는다.

지역적으로 지하수는 서쪽에서 동쪽의 Maas로 이동하지만, 채석장 내부의 인공적으로 낮은 수위 때문에 국지적으로는 채석장 쪽으로 흐른다. 주요 유입 경로는 Jekerdal 및 Maas 측 지하수, 강수 침투와 지표 유출, 석탄기 지층에서 솟는 물이다. 석회암의 균열은 암석 기질과 다른 투수 특성을 만든다. (pp. 13, 17 – 18)

원문 §2.3의 Maas 수위 한 곳에는 +4m로 기재되지만, 동일 절 및 §2.4에서 +44m를 명시한다. 본 정리는 반복 확인되는 +44m를 사용했다.

수위별 저류량과 시스템

본문 §3 - 4, §5.3, §7.3.1, §9.1 · pp. 21 - 26, 35 - 42, 47, 65 - 67

연구는 IBRAHYM 지하수 모델로 자연 유입 속도와 주변 지하수 영향 등을 검토했다. 채석장 저류 용량은 Natuurmonumenten이 제공한 2019년 측량 자료를 근거로 고도별 면적과 체적을 계산했다. 기존 목표 수위 +14.5m NAP를 기준으로 추가 저류량도 산정하였다. (p. 24)

Fig. 4.1 · 2019년 측량의 시각화: 파란 선은 집수구역 경계다. 표 4.1에 나타난 자연 유입량(지하수 용출 및 강수 잉여량)은 +14.5m에서 연 91만m^3, +22m에서 연 87만m^3, +44m에서 연 43만m^3 이다. 수위가 높아지면 채석장으로 들어오는 지하수가 줄어드는 모델 결과다.

저류 대안 비교 · 표 9.1 및 9.2, §7.3.1

대안	목표 수위	추가 저류량	공급 방식 및 지속기간
기준	+14.5m	0	기존 관리
1	+18m	290,000m^3	기존 펌프; 0.04m^3/s로 약 3개월/년
2A	+36m	3,900,000m^3	자연 재충전; 1m^3/s로 약 1.5개월/5년
2B	+36m	3,900,000m^3	Maas 보충; 1m^3/s로 약 1.5개월/년
3	+44m	6,500,000m^3	Maas 보충; 1m^3/s로 약 2.5개월/년

대안 1은 장비 변경이 적고 비용이 가장 낮지만 공급 효과가 작다. 2A는 자연적인 재충전 시간이 길다. 2B와 3은 매년 재충전할 수 있지만 새 유입시설과 수질 문제가 발생한다. 3은 가장 큰 용량을 확보하는 대신 생태 및 여가 공간 손실이 가장 크다.

해석 주의: 웹사이트의 저지대 계산은 이 보고서의 2019년 측량 및 IBRAHYM 모델과 다른 데이터·방법을 사용하므로 동일한 침수 면적이나 저류량을 재현하지 않는다.

04 / ECOLOGY

생태 유형과 수위의 공간적 관계

본문 §5.2 및 §7.3.5, pp. 27 – 34, 50 – 52 · 발췌 번역

채석장의 비생물적 환경은 양질의 자연이 발달하기에 유리하다. 백악질 지층과 깨끗한 지하수 및 빗물의 공급, 농업 영향이 적은 조건으로 인해 건조하거나 습윤하며 염기질이 풍부한 자연환경이 형성되었거나 앞으로 형성될 수 있다. 잠재적 생태 유형에는 석회암 절벽 식생, 석회질 초지, 습윤·건조 선구식생, 석회질 산림 및 용천림, 석회질 습지와 수역 등이 있다.

Fig. 5.1 · ENCI 채석장의 가치 있는 생태 환경 관리유형 목표도 (2024년 3월 25일 Natuurmonumenten 제공)

무엇이 발달할 수 있는지는 조성 방식과 관리에 달려 있다. 실제 미래 식생 또한 해당 공간의 자연 발달에 따라 달라진다. +16~17m 및 +39~44m NAP 주변에는 석회질 습지의 잠재성이 있으며, +38m 주변에는 습윤 석회질 초지의 잠재성이 크다. 채석장의 가장 깊은 부분에서는 주로 선구식생의 기회가 예상된다. 지하수위, 용출 압력 및 간헐적 침수에 따라 관리유형의 위치와 면적은 변할 수 있다.

Fig. 5.2 · 조성 조치 이후 ENCI 채석장의 자연 유형 (p. 30). 연구는 해당 지도의 상세 항목이 초기에 제공되지 않아 관리유형도를 사용하였다. 두 지도는 대체로 일치하지만 일부 구역의 분류는 다르다. 따라서 보고서의 면적 분석은 실제 자연 유형이 아니라 관리유형에 대한 근사다.

Fig. 7.1 · 여러 수위에서의 채석장 및 2024 – 2029 관리계획 유형 (p. 51)

대안 1은 상당한 선구식생을 잃을 수 있다. 대안 2는 산림 발달에 영향을 미치지만 +36m까지의 저류는 가치 있는 석회질 습지와 초지의 대부분을 피한다. +44m의 최대 대안에서는 다수의 습지와 초지가 Maas 물에 잠겨 해당 식생이 사라질 수 있다. Maas 물로 보충하면 영양염 및 원하지 않는 생물 유입 등으로 식생이 변할 수 있다. 수위 하강은 웅덩이를 말라붙게 해 수생 생물과 가장자리 식생에 영향을 줄 수 있다.

절벽 안정성 · 수질 · 접근성

본문 §7.3.6 – 7.3.12, pp. 52 – 60 · 주요 문단 발췌 번역 및 정리

§7.3.11 채석장 사면과 벽체의 불안정성 (p. 57)

채석장을 저류시설로 이용할 때 발생할 수 있는 위험으로 물가 사면과 벽체의 불안정성이 있다. 채석장 수위가 빠르게 낮아질 때 벽체 내부에는 아직 지하수 압력이 남아 있다. 수위가 빠르게 낮아져 채석장 물의 반대 압력이 사라지면 (물가) 벽체가 앞으로 밀려날 위험이 발생할 수 있다. 바람으로 인한 파랑이 이회암과 같은 연한 암석을 침식할 위험도 관련된다.

대안 1의 위험은 최소 수준으로 평가된다. 수위가 크게 높아지거나 더 빠르게 낮아지지 않으며, +14.5~+18m 사이에는 완만한 사면이 있고 아직 가파른 벽이 없기 때문이다. 중간 대안에서는 약 1.5개월 동안 +36m에서 +14.5m까지 수위가 낮아질 수 있어 위험이 더 크다. 2A는 약 5년에 한 번 배수하므로 매년 배수하는 2B보다 위험이 발생하는 빈도가 낮을 수 있다. 대안 3은 매년 2.5개월 동안 +44m에서 약 +14m까지 수위가 내려갈 수 있어 가장 위험하다.

보고서는 채석장 주변의 터널이 +48m NAP 위에 있어 이 수위 대안에 따른 침수·배수 불안정 위험은 문제가 되지 않는다고 평가한다. 이는 개별 터널의 구조적 안전성이나 건축 부착 가능성을 보증하지는 않는다.

수질 및 접근성 (pp. 52 – 57)

2022년 갱신 수관리계획은 2013 – 2022년 수질을 비교한다. 원문은 Maas의 질소 관련 농도가 채석장 측정치보다 높아 Maas 물 유입이 수질에 악영향을 줄 수 있다고 평가한다. 과거 시멘트 생산 또는 하부 오염 지층과 관련된 국지 오염이 강으로 유입되지 않도록 추가 조사가 필요하다. +18m에서는 기존 산책로가 대체로 유지되지만, 낮은 일부 공간은 물에 잠길 수 있다.

설계 해석 (번역자 정리): 절벽 부착 구조는 경사각만으로 판단할 수 없다. 균열, 층리, 암질, 국지적 지하수 압력, 수위 변동, 사면 안정성 및 생태·접근 제한을 별도 층으로 검토해야 한다. 보고서 자체는 특정 구조물의 시공 가능성을 인증하는 자료가 아니다.

06 / READING MAP

원문에서 추가 확인할 자료

본문 참고문헌 p. 68 및 §9.2 p. 67 · 설계와 직접 연결되는 자료의 색인

원문은 저류시설 대안의 선택을 목적으로 하지 않는다. 실제 추진 여부는 관계 당사자의 행정적 의사결정에 달려 있다. 후속 연구로는 진짜 생태 유형과 수문 변화, 급속한 수위 하강에 따른 생태·절벽 안정성, 여가 활용, 펌프 설비·유입관, 물 시료 채취 및 수질 검사, 허가 가능성 등이 제안된다. (pp. 65 - 67)

참고문헌	자료	활용 목적
[13]	AHN4	지표면 높이 및 절벽
[14]	DINOloket	지질, 시추, 지하수
[19]	Actueel Waterplan 2017	채석장 물관리 및 2013 계획 검증
[20]	Van groeve tot verborgen vallei — Beheerplan ENCI-groeve 2024 - 2029 (BJ2883-RHD-XX-XX-RP-EO-0001, 2024.03.05)	생태 관리 및 복원 공간 유형
[22]	Natura 2000-plan Sint-Pietersberg & Jekerdal (159), 2020 - 2026	서식지와 보호구역 관리
[23]	Natuurbeheerplan Limburg voorjaar 2025	생태 네트워크 및 관리 목표
[25]	RHDHV Actualisatie waterplan ENCI 2022	현장 수질 및 수관리
[8]	Ambitiedocument ENCI terrein Maastricht, Mecanoo & Rademacher de Vries, 2023	공장 부지 전환계획

원문 열람: Rijkswaterstaat Publicatie Platform

https://open.rijkswaterstaat.nl/zoeken/@275531/technische-variantenstudie/

개인 연구용 비공식 발췌 번역. 원문의 모든 장·표·부록을 번역한 것은 아니다. 외부 공개 및 인용 전에는 원문과 권리 조건을 확인할 것.