

원통형 구조물의 발파해체를 위한 사전취약화에 따른 구조적 안전성

김선희¹⁾ · 최 훈²⁾ · 박 훈³⁾ · 윤순중⁴⁾

1. 서론

사전취약화는 구조물의 일부를 기계적 절단하거나 발파하여 작업공간을 확보하고 구조물 전체의 발파해체시 붕괴거동을 유도하기 위해 임의로 취약화 하는 것을 말한다. 구조물이 노후화됨에 따라 구조물의 해체공사가 증대되고 있는 반면 아직까지 국내에는 사전취약화 작업에 대한 설계기준 없이 현장경험에 의존해 해체공사가 수행되고 있어 이에 따른 안전문제가 대두되고 있는 실정이다.

콘크리트 사일로와 유사한 원통형 구조물은 원통형 구조가 일체로 설계 시공되어 일반적으로 전도공법을 적용하여 발파해체한다. 그러나 이 연구에서 고려하고 있는 콘크리트 사일로 구조물의 경우 일반적인 굴뚝구조물과 달리 구조물의 높이-지름 비(높이/지름)가 크지 않고 내부의 링거더(Ring Girder)와 콘(Cone)이 콘크리트 사일로 내부에 분리 배치되어 전도공법이 용이하지 않다. 따라서 이러한 구조물의 발파해체는 구조적 특성을 고려하여 수행되어야 한다(Stangenberg, 1994).

이 연구에서는 원통형 콘크리트 사일로 구조물의 발파해체를 위한 시공계획의 일부를 소개하고 시공단계별 단면변화와 구조적 안전성을 조사하였으며, 전도공법의 적절성을 검토하여 발파해체를 위한 구조해석의 가이드라인을 제시하고자 한다.

2. 콘크리트 사일로

이 연구에서 고려한 콘크리트 사일로는 2009년 (주)코리아 카코에서 발파 시공한 구조물(인천광역시 영종도 소재)이다. 구조물의 외형은 그림 1에서 나타낸 바와 같으며 구조물의 치수는 외경 22.0m, 높이 33.8m로 내력벽식 철근콘크리트 구조물이다.



그림 1. 콘크리트 사일로

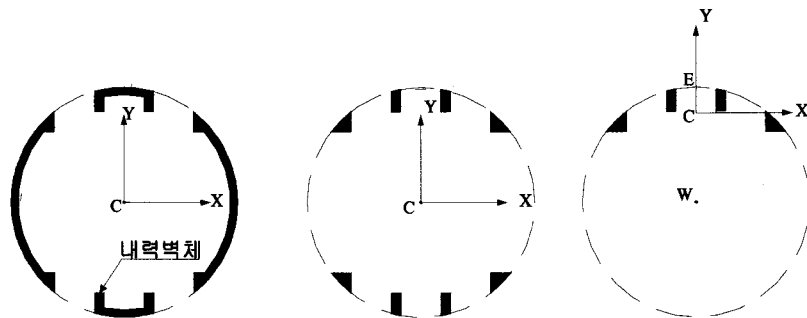
- 1) 홍익대학교 석사과정
- 2) 홍익대학교 박사과정
- 3) (주)코리아 카코 연구원
- 4) 홍익대학교 토목공학과 교수

3. 사전취약시공계획

사전취약화는 원통형 콘크리트 사일로 구조물의 구조형식 및 치수 등을 고려하여 전도공법을 적용할 수 있도록 계획을 하였다. 사전취약화 작업에서는 하단부의 기둥 및 일부 내력벽, 링거더 지지부, 원통형 셸에 대하여 각각 실시하고, 전도방향의 원통형 셸과 링거더의 일부도 취약화하였다. 또한 사일로 내부에 설치된 시설물이 붕괴거동에 영향을 미치지 않게 하기 위해 구조부재 및 계단의 일부를 절단 시공하였다.

3.1 단면계획

이 연구에서 고려된 콘크리트 구조물의 전도방향은 그림 2(c)의 Y축과 반대방향인 -Y축 방향으로 결정하였으며 결정된 전도방향에 따른 사전취약화를 계획하였다. 사전취약화 작업에 따른 시공 전, 후 및 발파 후의 단면을 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)는 사전취약전 콘크리트 사일로의 하부 단면의 모습이고 그림 2(b)는 사전취약화 후 콘크리트 사일로 하부 단면의 모습이다. 사전취약화가 종료된 후 그림 2(b)의 단면 하부 4개의 기둥부를 발파하여 -Y방향으로 구조물을 전도 시키도록 계획하였으며, 발파 후 구조물의 하부 단면의 모습은 그림 2(c)와 같다. 콘크리트 사일로의 설계도면을 참조하여 작성한 사전취약화 전, 후 및 발파 후 단면의 변화는 표 1에 정리하여 나타내었다.



(a) 사전취약화 전 (b) 사전취약화 후 (c) 발파 후
그림 2. 콘크리트 구조물의 전도공법 단계별 단면계획

표 1. 사전취약화에 따른 단면변화

	사전취약화 전	사전취약화 후	발파 후
단면적(A_g)(m^2)	46.67	17.90	8.95
철근단면적(A_{st})(cm^2)	2,270.82	870.96	435.48

3.2 사전취약 높이 계획

그림 3은 이 연구에서 고려되고 있는 콘크리트 사일로의 발파 후 구조물의 붕괴 거동을 예측한 그림이다. 발파 후 콘크리트 사일로는 총 3단계에 걸쳐 붕괴될 것으로 예측하였으

며, 이를 위해 사전취약화도 총 3단계에 걸쳐 실시하였다. 1단계에서는 전도방향에 따라 콘크리트 사일로의 하부로 부터 높이 약 11.80m로 링거더와 콘의 일부를 함께 전면파쇄하여 사전취약하였다. 2단계에서는 발파 후 전도방향 반대쪽 내력벽의 11.0m 지점의 일부를 절단하여 붕괴를 유도 하였으며, 3단계에서는 전도방향 반대쪽 내력벽의 약 7.0m 지점을 일부 절단하여 최종 붕괴가 유도되도록 계획하였다.

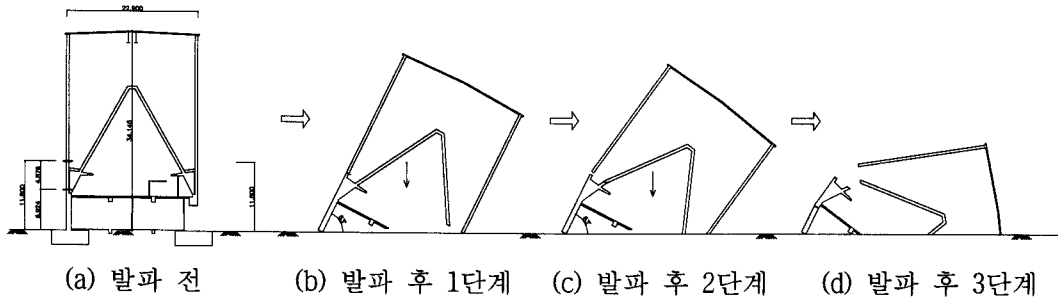


그림 3. 발파계획 후 전도계획

4. 구조안정성 검토

사전취약화를 통해 구조물의 일부가 절단되어 발파공법을 적용하기 전에 구조물의 안전성을 구조해석을 수행하여 검토하였다. 구조해석은 시공단계별로 수행하여 취약화 작업에 대한 안전성 및 취약화 공법의 적용성을 검토하였다. 구조해석 1단계에서는 사전취약 후 구조물의 자중 및 풍하중에 따른 구조물의 거동을 예측하였으며, 2단계에서는 발파 후 구조물의 자중, 풍하중 및 단면내 도심축의 이동에 따른 영향을 분석하여 공법의 적용성을 검토하였다. 1단계 사전취약화에서는 자중에 의한 압축응력, 풍하중에 의한 인장 및 조합하중에 대해 구조물이 모두 안전하여야 하며, 2단계에서는 발파 후 발파되지 않은 단면은 압축에 대해서 안전하여야 하며, 도심축의 이동에 따른 자중에 의한 휨 및 풍하중에 의한 휨에 대하여 구조물이 전도되어 휨파괴가 발생하도록 유도되어야 한다.

이러한 시공계획을 위해 콘크리트 구조설계기준(2007)에서 제안하고 있는 방법을 통해 구조물에 대한 구조해석을 수행하였다. 구조해석시 콘크리트 압축강도와 인장강도는 구조물 설계시 설계도서를 참조하여 압축강도와 인장강도를 각각 300kgf/cm^2 , $120\text{kgf/cm}^2(0.4f_{ck})$ 으로 가정하였다. 구조해석 결과 구조물 단면에 발생하는 응력을 정리하여 표 2에 나타내었다.

구조해석 결과 표 2에 나타낸바와 같이 사전취약화 시공 후, 발파 후의 각 단면은 압축에 대해 안전함을 알 수 있다. 또한, 휨에 대해서는 사전취약화작업을 수행하더라도 도심축의 이동이 발생하기 않기 때문에 자중에 의한 휨응력은 매우 미소하며, 발파 후 휨응력은 단면의 감소를 통해 도심축의 이동이 발생하여 자중에 의해 약 588.40kgf/cm^2 이 발생하여 휨에 의한 파괴가 발생할 것으로 예측되었다.

표 2. 발파 시공단계별 단면검토

	압축응력 (kgf/cm ²), ①	휨응력(kgf/cm ²)		조합응력(kgf/cm ²), ①+②+③	판정
		자중, ②	풍하중, ③		
사전취약 후	23.69	0.00	-5.60	18.09	ok
발파 후	47.39	-588.40	-47.05	-588.06	ok

5. 결론 및 향후 연구과제

이 연구에서는 콘크리트 사일로 구조물을 발파하기 위해 계획된 사전취약화 및 발파공정에서 안전성 및 붕괴거동의 유도를 위한 시공단계별 구조해석을 수행하였다. 구조해석에서는 설계시 설계도서에서 가정한 설계변수를 적용하였으며, 콘크리트 관련 설계기준을 참조하여 구조물의 안전성 및 파괴거동을 예측하였다. 사전취약화작업 후 구조물은 붕괴에 대해 안전함을 확인하였으며, 발파 후 단면감소에 의해 구조물은 휨에 의해 파괴되어 전도됨을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설핵심기술연구개발사업(과제번호:06건설핵심B04)의 연구비지원에 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 대한건축학회, “건축구조설계기준 및 해설,” 2006, pp 61-92.
2. 박훈, 석철기, 김승곤, “원통형 구조물의 발파해체를 위한 사전 취약화에 따른 구조물의 안전에 관한 수치해석적 연구,” 대한화약발파공학회지, 제26권 1호, 2008, 6월, pp. 1-5.
3. 박훈, 장성욱, 박형기, 김래희, 석철기, “원통형 사일로 발파해체 시공사례,” 대한화약발파공학회지, 제26권 2호, 2008, 12월, pp. 52-63.
4. 한국콘크리트학회, “콘크리트구조설계기준 해설,” 기문당, 2007.
5. Ansys Inc., “Release 11.0 Documentation for ANSYS,” Pennsylvania, 2008.
6. Stangenberg, F., 1994, “Blast Demolition of Reinforced Concrete Industrial Chimneys,” International Symposium Spatial, lattice and tension structures, pp. 290-299.