

Coal Silo Tunnel의 결함 발생 원인 분석을 위한 유한요소해석 FEM analysis to the defective factor of Coal Silo Tunnel

*송세암¹, #김철², 이현우¹, 김민수¹, 조태용³

*S. A. Song¹, #C. Kim(chulki@pusan.ac.kr)², H. W. Lee¹, M. S. Kim¹, H. Y. Cho¹

¹부산대학교 창의공학시스템학과, ²부산대학교 기계기술연구원, ³충북대학교 기계공학부

Key words : Coal Silo, Tunnel, Hydrostatic pressure, Deflection, Barreling, Fracture, FEM

1. 서론

사일로(Silo)는 주로 곡물, 시멘트, 석유화합물 및 석탄 등과 같은 알갱이 형태의 원료를 저장하기 위한 장치로서 다른 창고 등과 비교할 때 공간을 비교적 효율적으로 이용할 수 있는 장점이 있다. 국내에서는 탑형 사일로가 가장 많이 보급되어 있으며, 최근 설계 시공되는 사일로는 대형화 되어가고 있으며 발전·에너지 분야에 사용되는 석탄 사일로가 대표적이다. Fig. 1은 석탄 사일로의 도면 및 현장사진을 나타낸다.

석탄 사일로는 크게 석탄을 저장할 수 있는 사일로와 스크루(Screw)의 회전 및 공전을 통해 석탄을 배출시키는 추출기(Extractor) 그리고 추출기의 정비를 위한 터널(Tunnel)로 구성되어진다.

사일로의 경우 Janssen[1]와 Airy[1]에 의해 벽면압 산정식이 제안되었고, 이 식이 발표된 이후 지금까지 사일로 설계의 기본 식으로 폭넓게 사용하고 있다. 최근에는 사일로 설계 시 균일한 원주방향의 인장력이 아닌 불균등 하중(편심 배출)에 의한 원주방향의 인장력을 고려하여 원주방향 모멘트 산정식을 제안하기도 하였다.[2]

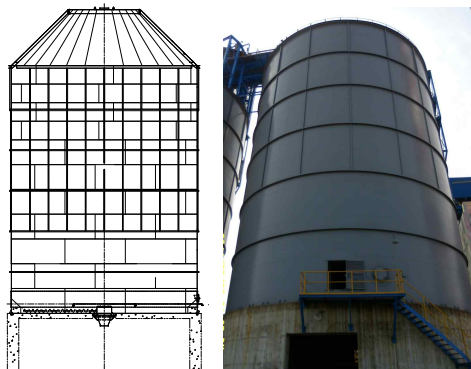


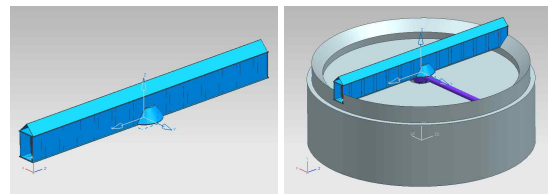
Fig. 1 Drawing and photograph of coal silo

한편 사일로 터널의 경우 최대 적재량 기준으로 5000톤의 석탄 하중으로 인하여 처짐 및 변형의 우려가 있음에도 불구하고 터널의 구조적 안정성에 대한 연구는 전무하다.

따라서 본 연구에서는 기존 설치된 사일로 터널의 구조적 취약 부위의 균열 원인을 규명하기 위하여 현장 분석과 정적상태의 FEM 해석을 통하여 실제 결함 발생 부위와 비교 분석하여 검증하였다.

2. 추출기 점검용 터널의 문제점

터널의 제원은 폭 1m, 높이 1.5m 그리고 길이 18.1m이며 사일로 내부의 하부에서 공전하는 스크루와 간섭을 피하기 위하여 사일로 양 끝에 양단지지 형태로 설치되어있다. Fig. 2는 터널의 형상 및 설치된 모습을 나타낸다. 터널은 상시 적재된 석탄에 의한 하중을 받기 때문에 처짐 및 변형 등으로 인하여 취약부위에 결함(Crack)이 발생하게 된다. Fig. 3은 현재 설치된 터널의 결함 발생 위치 및 모습을 보여준다. 이 크랙은 추출기에 의한 진동 및 새로 유입되는 석탄의 하중으로 인하여 계속해서 성장하여 결국 터널의 피로 파단으로 이어지기 때문에 설계 보안을 위하여 결함부위를 예측할 수 있는 해석기법이 요구되어진다.



(a) Drawing of tunnel (b) Assembled tunnel

Fig. 2 Tunnel and base structure assembled

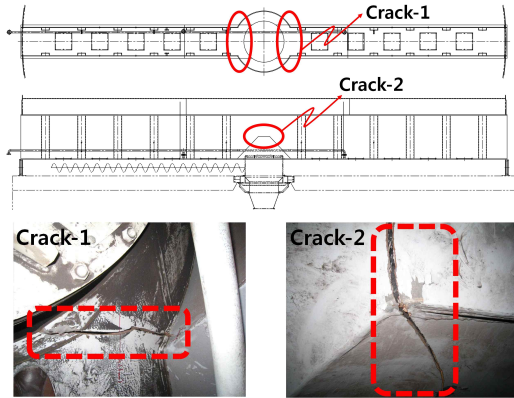


Fig. 3 Photograph of crack about silo tunnel

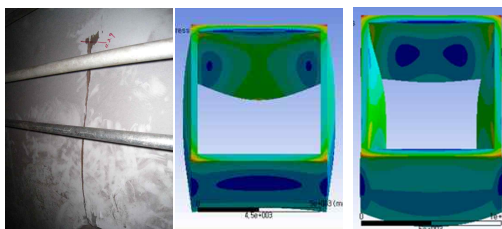
3. 유한요소 모델과 해석

본 구조해석은 범용 해석 프로그램 ANSYS를 이용하였으며, 터널 재질은 실제 적용된 일반 구조용 스틸(SS400)을 사용하였고 터널 양끝단부는 사일로 외벽과 완전 고정이 되므로 Fix 구속조건을 부여하였으며 자중에 의한 처짐을 고려하였다.

적재된 석탄이 터널에 미치는 하중형태에 따라 터널의 변형양상은 다르게 되는데, 터널의 상부에만 작용하였을 때는 터널의 상부 처짐과 벽면의 외측으로 배불림 현상이 발생하게 되었고, 터널 전면에 정수압형태로 하중이 작용하였을 경우에는 Fig. 4와 같이 벽면은 터널 내측으로 배불림 현상이 발생하였으며, 바닥면 철판은 길이 방향과 폭 방향의 하부로 처짐이 발생하였다.

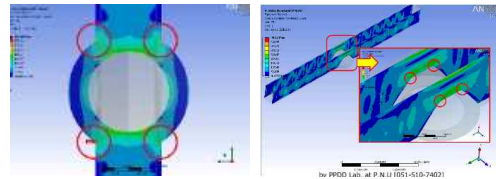
이는 실제 현장의 내측 배불림 변형 양상과 바닥면의 처짐으로 인한 하부 추출기와의 간섭현상과 동일하여 하중조건은 정수압 형태가 타당함을 알 수 있었다.

또한, FEM해석결과 Fig. 5와 같이 노치부(Notch)



(a) Field of silo wall barreling (b) Deflection load (c) Hydrostatic Pressure

Fig. 4 Comparison of Field and FEM



(a) Bottom plate

(b) Wall plate

Fig. 5 Stress concentration of Silo tunnel FEM

에서 응력이 집중되는 양상을 보였고 항복강도를 넘어선 노치부와 현장의 터널 균열 발생부위가 일치하였다.

노치부의 응력상태에 대한 FEM 해석결과는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Result of FEM data

Yield Stress	Bottom plate	Wall plate
245 MPa	267 MPa	241MPa

4. 결론

Coal Silo의 FEM해석 결과와 실제 결합부위를 비교하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 적재된 석탄이 터널에 미치는 하중형태는 정수압 형태가 지배적임을 확인하였다.
- 2) 각도가 급격하게 변화하는 노치부에서 응력 집중이 발생하여 균열이 생성되었고 터널의 변형양상에 따라 성장하였음을 확인하였다.
- 3) 지배적 하중 상태에 대한 적절한 보강방안과 응력집중부의 형상적 완화가 균열의 생성 및 전파 방지에 있어서 중요하다.

후기

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. Safarian, Sargis S. and Harris, Ernest C., Silos and Bunkers, Hand book of Concrete Engineering, Mark Fintel, Editor, Van Nostrand-Reinhold Co., New York, p.p. 491~535, 1974
2. Jeon, Seok-Hoon, Yoo, Seung-Kyu, Park, Bok-Man, "A Study on the Circumferential Moment by Discharging Granular-Materials in Silos."