

유압식 확장기가 내장된 오거 크레인의 특성 및 신뢰성 평가

논 문

59P-1-13

Evaluation of Characteristics and Reliability of an Auger Crane with Built-in Hydraulic Extender

김 점 식[†] · 권 신 원*
(Jeom-Sik Kim · Sin-Won Kwon)

Abstract - This study evaluated the characteristics and reliability of an auger crane with a built-in hydraulic extender. The field test of the hydraulic extender was performed with the hydraulic lines filled with hydraulic fluid and free of air. The pressure generated during the test was measured with a digital pressure gauge. The crane was considered to have undergone one cycle of the excavation process after it had performed excavation under three conditions at the same location. This process was performed three times in total. From the results of the excavation using the hydraulic extender, it was found that the maximum pressure and torque measured were 19.9 [MPa] and 895.4 [kgf·m], respectively. The rotation force of the auger crane generated at this time signifies a horizontal force. If the excavation diameter of the auger crane is increased, the rotation speed is reduced causing the circumferential speed to also be reduced. The torsional shear stress of the extendable auger crane was calculated to be approximately 23.5 [MPa]. However, the rotation shaft material used for this system was carbon steel for machine structural use (SM45C). Since the minimum torsional yield stress is greater than 150 [MPa] according to KS D 3752, it means the equipment has secured a safety factor greater than 6. Therefore, it was found that when performing work using the extendable auger crane, it exhibited no problems with the safety and reliability of its shaft.

Key Words : Auger Crane, Hydraulic Extender, Pressure, Torque, Safety, Reliability

1. 서 론

크레인(crane)은 기계장치 중에서도 가장 먼저 고안된 것으로, 약 5,000년 전 고대 이집트에서 피라미드를 만들 당시에 중량물 운반용으로 사용된 것으로 판단하고 있다. 처음에는 인력 또는 축력(畜力)이 사용되었으나 나중에는 수력(水力)이 사용되었고, 19세기 중엽부터는 증기 기관의 발달과 더불어 증기 동력이 사용되어 모바일 크레인(mobile crane)도 나타났다. 19세기 말경부터 전력(電力)이 사용되기 시작하면서 중량물 운반용 크레인이 급속히 발달하여 오늘날과 같은 여러 종류의 근대적인 크레인이 되었다. 크레인은 다양한 형태 및 목적으로 개발되었고, 이들 크레인 중에서 오거 스크류가 차량에 장착되어 기능을 수행하는 것을 오거 크레인(auger crane)이라 한다.

오거 크레인은 배전설비의 건주 공사를 할 때 건주용 오거 크레인을 이용하여 기계화 굴착을 시행하고 있다. 오거 크레인의 진입이 불가능한 곳은 건설 장비인 백호우를 이용한 건주 공사를 시행하고 있다. 그러나 오거 크레인만으로 건주 공사를 시행하는 경우 전주의 근입을 보강하기 위한 전주 근가는 그 형태가 길이 1.2[m]의 장방향인테 반하여 오거 크레인의 굴착

직경은 0.5[m]로 전주 근가 매설을 위한 굴착 작업이 불가능하다. 따라서 인력 또는 백호우를 추가 투입함으로써 공사기간이 과다하게 소요되고 시공 업체의 작업 능력 저하 및 발주처의 시공원가 상승의 요인으로 작용하고 있다. 또한, 접지를 필요로 하는 전주의 경우 접지동봉 매설을 위한 추가 굴착(깊이: 0.75[m], 길이: 1[m] 이상)으로 인해 굴착 면적의 증가로 작업 현장의 훼손이 발생한다, 즉 현재의 접지설비의 공사는 접지동봉을 사용하거나 심타형 접지봉을 타격식으로 시공하고 있어서 작업자의 안전사고 발생 가능성이 높고 시가지 또는 에너지 밀집 지역의 경우에는 지하 매설물의 손상 가능성이 높고 주변의 시설에 피해를 유발시키는 경우가 자주 발생한다[1,2].

따라서 본 연구에서는 전주 매설을 효율적으로 수행할 수 있을 뿐만 아니라 접지기능 아치형 전주근가의 매설이 용이하도록 개발된 신축성이 있는 오거 크레인용 유압식 확장기의 특성을 제시하고, 각각의 요소에 대한 신뢰성 평가 결과를 분석하여 산업 현장에서 안전하게 사용할 수 있도록 도움을 주고자 한다.

2. 이 론

그림 1은 오거 크레인용 확장기의 단면도를 나타낸 것이며, 그림 2는 분해도를 나타낸 것이다. 오거 크레인용 유압식 확장기는 확장 유니트, 단부 유니트, 굴착 투스, 안내관, 확장관, 보조 굴착날 등으로 구성되어 있으며, 주요 구성품의 재질은 표 1과 같다[3].

[†] 교신저자, 정희원 : 대원전기(주) 부설연구소 팀장
E-mail : jpoint@hanmail.net

* 정희원 : 대원전기(주) 이사
접수일자 : 2009년 11월 27일
최종완료 : 2009년 12월 5일



그림 3 신축형 유압식 확장기가 내장된 오거 크레인을 이용한 굴착 사진

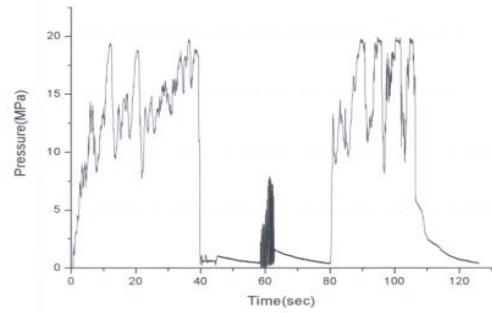
Fig. 3 Picture of Excavation by an Auger Crane with Built-in Extendable Hydraulic Extender.

4. 결과 및 고찰

4.1 측정압력 및 토크 특성 곡선 분석

그림 4는 신축형 오거 크레인용 유압식 확장기를 사용하여 굴착 직경 0.45[m], 깊이 2.5[m]를 굴착하였을 때의 특성 곡선을 나타낸 것이다. 굴착이 완료되었을 때 굴착투스, 굴착관 및 연장대 등의 물리적 변형 또는 손상은 발견할 수 없었다. 그리고 이때 측정된 압력은 최대 19.9[MPa]이었으며, 최대 발생 토크는 895.4[kgf·m]로 측정되었다.

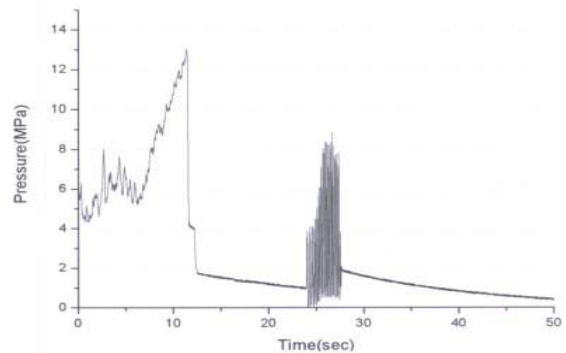
그림 5는 동일한 조건에서 시험 1이 끝나고 유압식 확장기를 이용하여 굴착 직경 0.8[m], 깊이 0.75[m]를 굴착하였을 때의 특성 곡선을 나타낸 것이다. 이때 측정된 압력은 최대 13.0[MPa]이었으며, 최대 발생 토크는 584.9[kgf·m]로 측정되었다. 또한, 굴착이 완료되었을 때 굴착투스, 굴착관 및 연장대 등의 물리적 변형 또는 손상은 발견할 수 없었다.



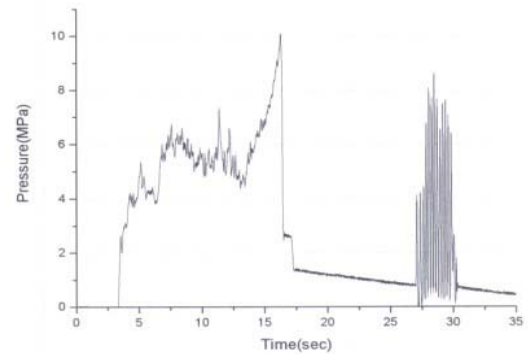
(c) third test

그림 4 시험 1일 때의 시간과 압력 특성 곡선

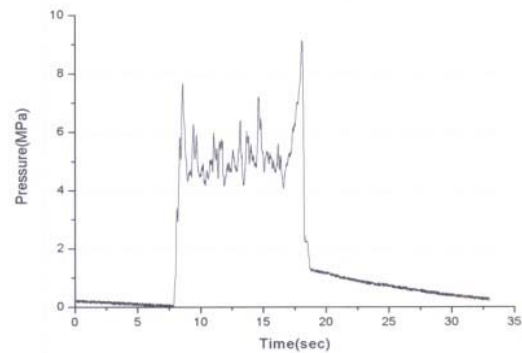
Fig. 4 Time-Pressure Characteristic Curve for Test #1



(a) 1st test



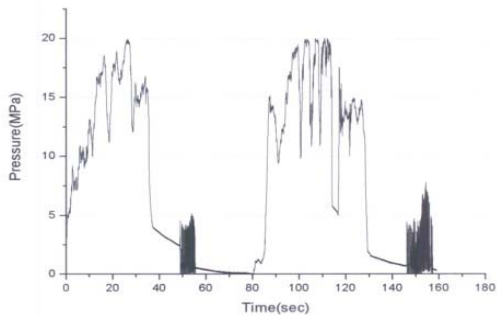
(b) 2nd test



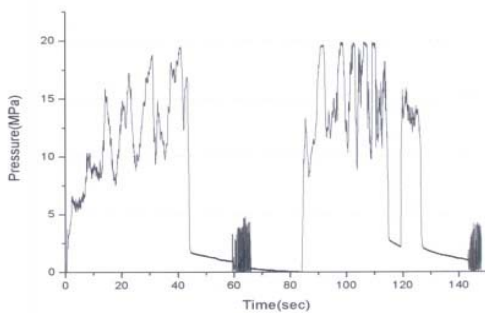
(c) third test

그림 5 시험 2일 때의 시간과 압력 특성 곡선

Fig. 5 Time-Pressure Characteristic Curve for Test #2



(a) 1st test



(b) 2nd test

그림 6은 신축형 오거 크레인용 유압식 확장기를 사용하여 굴착 직경 0.8[m], 깊이 0.75[m]를 굴착하였을 때의 특성 곡선을 나타낸 것이다. 이때 측정된 압력은 최대 19.2[MPa]이었으며, 최대 발생 토크는 863.9[kgf·m]로 측정되었다. 즉 이상의 결과에서 알 수 있듯이 본 시스템을 사용하여 굴착하는 경우 최대 측정 압력은 19.9[MPa]이었으며, 최대 토크는 895.4[kgf·m]로 확인되었다.

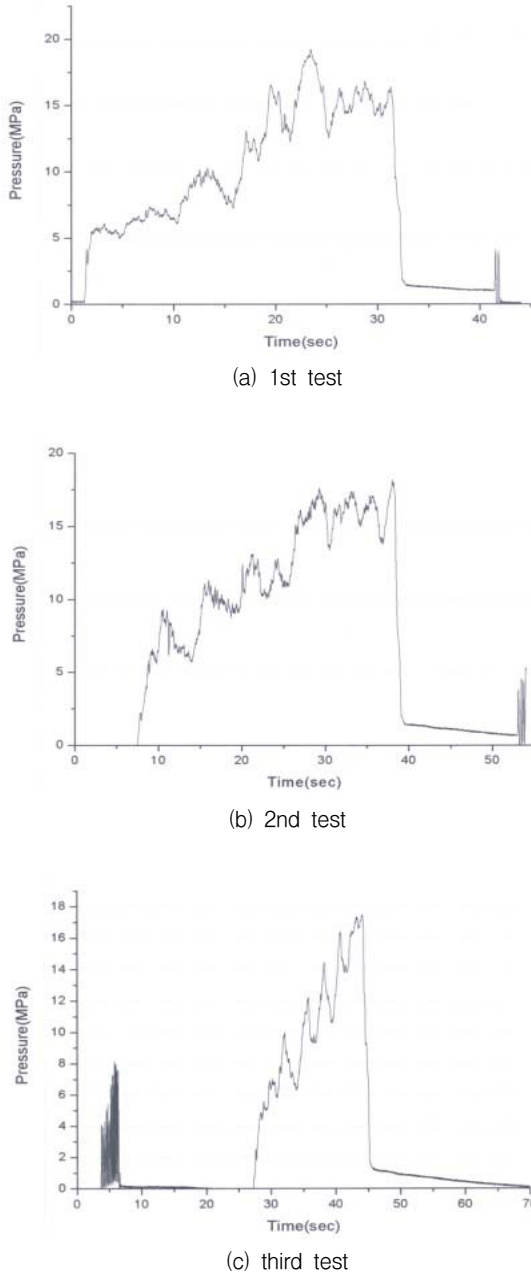


그림 6 시험 3일 때의 시간과 압력 특성 곡선
Fig. 6 Time-Pressure Characteristic Curve for Test #3

4.2 최대 토크와 충격 응력 관계

신축형 오거크레인(auger crane)용 유압식 확장기 현장 적용시 최대 토크와 충격응력과 관계의 해석은 다음과 같이 분석된다. 오거 크레인의 굴착 동력은 유압모터에 의해

구동되며 유압모터 출력은 유압모터 릴리프 밸브(relief valve)에 의해 상한치가 제한되고 있으므로 굴착직경이 증가할 경우 이에 따른 지지구조 각부 영향은 모터의 제한출력 이내에서 응력을 받게 된다. 오거 크레인의 지지구조가 받는 지배방정식은 기계설계학적으로 볼 때 유압모터의 동력(H), 토크(T) 및 회전속도(N)의 3변수로 연동된 아래의 방정식과 같은 식 (1)에 의해 지배된다[4-6].

$$T = 71620 \frac{H}{N} \tag{1}$$

여기서, T : Torque [Kg-cm]
 H : 유압모터의 동력 [kW]
 N : 회전속도 [rpm]

따라서 T 와 N 은 반비례 관계를 가지게 되어 T 와 N 이 동시에 H 의 한계치를 넘어 무한정 증가되는 것은 불가능하다. 일반적으로 동적응력이란 시간과 더불어 변화하는 동하중(dynamic load)을 받는 상태의 응력을 의미하며, 이 중 극히 짧은 시간에 격렬히 작용하는 하중 발생시의 응력을 충격응력(impact stress)이라 할 수 있다. 이 때 수평으로 이동하는 물체가 충격을 받을시 최대충격응력 σ_{max} 는 다음의 식 (2)와 같이 정의되며 속도 v 에 선형적으로 비례한다[7].

$$\sigma_{max} = \sqrt{\frac{mv^2E}{AL}} \tag{2}$$

여기서, m : 이동물체의 질량[kg]
 v : 속도[m/s]
 E : 탄성계수
 L : 길이[m]
 A : 단면적[m²]

즉 식 (2)에 나타낸 바와 같이 수평적 충격의 경우 속도에 선형적으로 비례하는 것을 알 수 있다. 그리고 오거 크레인 끝단의 원주 속도 증가에 따른 충격응력으로 인한 손상에 대한 의구심은 다음과 같은 물리함수의 관계를 통해서 해석이 가능하다. 오거 크레인 끝단의 원주 속도는 아래의 식 (3)과 같이 직경과 회전속도의 곱에 비례하므로 동일 회전속도의 경우 직경의 증가에 따라 비례해서 증가하게 된다.

$$v = \frac{\pi DN}{60 \times 1000} \tag{3}$$

여기서, D 는 직경[m]을 나타낸다. 그러나 이 수식은 무부하 운전시에 적용되며, 실제 오거 크레인의 작동이 시작되면 유압모터 압력시험 결과에서 보는 바와 같이 부하를 받은 상태에서는 작동부에서 토크(torque)가 걸려 식 (4)에서 계산되는 것처럼 직경이 커지면 토크도 비례해서 커지게 된다[4].

$$T = F \frac{D}{2} \tag{4}$$

여기서, F 는 회전시키려는 힘(수평력)을 의미한다. 그러므로 오거 크레인의 굴착 직경이 증가할 경우 식 (1)과 (4)에서 계산되는 바와 같이 회전 속도가 줄어들어 원주 속도 역시 작아지게 된다. 따라서 충격 부하에 따른 지지 각부의

응력 발생은 설계 허용치 이하에서 운용되므로 각 지지부의 신뢰성 저하 혹은 손상에 지장이 없다.

그리고 신축형 오거크레인(auger crane)용 유압식 확장기 현장적용시 장비의 안전성과 신뢰성에 문제점이 있는지 여부는 다음과 같이 해석이 가능하다. 앞에서 공학적으로 검토된 바와 같이 오거 크레인의 굴착 직경이 증가할 경우 충격 부하에 따른 지지 각부의 응력 발생에 관해서 무부하 운전과 구분되어 분석해야 한다. 또한, 실제 운전 상태에서의 충격 응력은 속도에 선형적으로 비례하며 동시에 토크의 크기에 반비례하게 되므로 결과적으로 부하운전 상태의 충격 응력으로 장비가 손상 및 파손될 가능성은 없는 것으로 판단된다. 또한, 축부의 손상 여부 안전성 평가 결과에서 알 수 있듯이 최대 토크는 약 895.4[kgf·m]로 분석되었고, 이때 축에 걸리는 비틀림 전단응력은 아래와 같이 식 (5)에 의해 계산될 수 있다[7-9].

$$\tau = \frac{T}{Z_p} \tag{5}$$

여기서, τ 는 비틀림 전단응력, Z_p 는 축의 극단면계수이다. 이 식에 의거 비틀림 전단응력을 계산하면 약 23.5[MPa] 정도로 계산된다. 본 시스템에 사용된 장비의 회전축 재질이 기계 구조용 탄소강(SM45C)인 것을 감안할 때 이 재질의 비틀림 항복강도가 최소 150[MPa] 이상(KSD 3752 참조)이 되므로 안전율이 6배 이상이 된다. 따라서 축부의 안전성과 신뢰성에 이상이 없다고 판단된다. 오거 크레인(auger crane) 유압모터 압력시험 결과를 볼 때 동적 상황에서 충격응력과 관계없이 현장적용이 가능하며, 각각의 시험 조건에서의 측정결과를 요약하면 표 2와 같다.

표 2 현장 실측 결과 및 분석

Table 2 Field Measurement Result and Analysis.

구 분		1차	2차	3차	평균
시험 1	측정압력 [MPa]	19.9	19.9	19.9	19.9
	최대토크 [kgf·m]	895.4	895.4	895.4	895.4
시험 2	측정압력 [MPa]	13.0	10.0	9.1	10.7
	최대토크 [kgf·m]	584.9	449.9	409.4	481.4
시험 3	측정압력 [MPa]	19.2	18.1	17.5	18.2
	최대토크 [kgf·m]	863.9	814.4	787.4	818.9

5. 결 론

전주 매설을 효율적으로 수행할 수 있을 뿐만 아니라 접지기능 아치형 전주근가의 매설이 용이하도록 개발된 신축형 오거 크레인용 유압식 확장기의 특성을 분석하고, 각각의 요소에 대한 신뢰성 평가 결과를 실시한 결과 다음과 같이

요약할 수 있다.

- (1) 신축형 오거 크레인용 유압식 확장기는 확장 유니트, 단부 유니트, 굴착 투스, 안내관, 확장관, 보조 굴착날 등으로 구성되어 있다.
- (2) 신축형 오거 크레인용 유압식 확장기를 사용하여 굴착 직경 0.45[m], 깊이 2.5[m]를 굴착하였을 때 굴착투스, 굴착관 및 연장대 등의 물리적 변형 또는 손상을 발견할 수 없었다. 또한, 측정된 압력은 최대 19.9[MPa]이었으며, 최대 발생 토크는 895.4[kgf·m]로 측정되었다.
- (3) 시험 1이 끝나고 유압식 확장기를 이용하여 굴착 직경 0.8m, 깊이 0.75[m]를 굴착하였을 때 측정된 압력은 최대 13.0MPa이었으며, 최대 발생 토크는 584.9[kgf·m]로 측정되었다.
- (4) 신축형 오거 크레인용 유압식 확장기를 사용하여 굴착 직경 0.8[m], 깊이 0.75[m]를 굴착하였을 때 측정된 압력은 최대 19.2[MPa]이었으며, 최대 발생 토크는 863.9[kgf·m]로 측정되었다.
- (5) 신축형 오거 크레인의 회전력은 수평력을 의미하며, 오거 크레인의 굴착 직경이 증가할 경우 회전 속도가 줄어들어 원주 속도 역시 작아지게 된다. 따라서 충격 부하에 따른 지지 각부의 응력 발생은 설계 허용치 이하에서 운용되므로 각 지지부의 신뢰성 저하 혹은 손상에 지장이 없다.
- (6) 신축형 오거 크레인의 비틀림 전단 응력은 약 23.5[MPa] 정도로 계산되었다. 그런데 본 시스템에 사용된 장비의 회전축 재질이 기계 구조용 탄소강(SM45C)인 것을 감안할 때 이 재질의 비틀림 항복강도가 최소 150[MPa] 이상(KSD 3752)으로 안전율이 6배 이상 됨으로 축부의 안전성과 신뢰성에 이상이 없다.

이상의 결과를 종합해보면 본 신축형 유압식 확장기는 배전공사 장비의 부속설비(액세서리)이므로 구조 변경 검사를 득할 경우에 제품의 안전성 및 신뢰성에 문제가 없음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 박재용, 조규관, “전기설비기술기준과 관계법규”, 도서출판 세화, pp.118-128, 2009.
- [2] 지철근, 정용기, “최신전기설비”, 문운당, p.436, 2007.
- [3] 권용학, 권세원, “신축형 오거크레인용 유압식 확장기를 이용한 아치형 전주근가 시공법”, pp.3-4, 2007.
- [4] 정선모 외 5명, “신제 기계설계학”, 오토테크, 2003.
- [5] Giorgio Rizzoni, “Principles and Applications of Electrical Engineering”, Mcgraw Hill, pp.1023-1024, 2007.
- [6] Allan R. Hambley, “Electrical Engineering”, Fourth edition, Pearson Education International, pp.640-647, 2008.
- [7] 김홍건 외 5명, “KS규격에 의한 기계제도”, 오토테크, 2003.
- [8] William D. Callister, “Materials Science and Engineering an Introduction”, Wiley, pp.971-972, 2008.
- [9] 김점식 외 3명, “신축성이 있는 오거 크레인용 유압식 확장기의 특성 및 신뢰성 평가”, 대한전기학회 전기설비 추계학술대회(B4), 2009.

저 자 소 개



김 점 식 (金 點 植)

1995년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업.
1997년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업
(석사). 2003년 2월 한국해양대학교 전기
공학과 박사과정수료. 1997년 1월~2003
년 12월 한국전기연구원 위촉연구원.
2005년 5월~현재 대원전기(주) 부설연
구소 팀장

Tel : 043-836-8811

Fax : 043-836-8818

E-mail : jpoint0111@gmail.com



권 신 원 (權 信 遠)

2003년 2월 충남대학교 전자공학교육과
졸업. 2009년 2월 고려대학교 공학대학원
전기공학과 졸업(석사)

1998년 3월 1일 대원전기(주) 입사.

현재 대원전기(주) 상임이사 재직

Tel : 043-836-4664

Fax : 043-836-0513

E-mail : 2ksw@paran.com