

굴삭기 트랙의 궤도 이탈현상에 관한 해석적 연구

이 윤 식¹⁾ · 옥 진 규²⁾ · 김 호 준²⁾ · 유 완 석^{*3)}

현대중공업¹⁾ · 부산대학교 기계설계공학과²⁾ · 부산대학교 기계공학부³⁾

Analytical Investigation on the Track Separation Mechanism for Tracked Excavator

Yunsig Lee¹⁾ · Jinkyu Ok²⁾ · HyoJoon Kim²⁾ · Wansuk Yoo^{*3)}

¹⁾Hyundai Heavy Industries, Cheonha-dong, Dong-gu, Ulsan 682-792, Korea

²⁾Department of Mechanical Design Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

³⁾School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received 10 February 2006 / Accepted 19 May 2006)

Abstract : In this paper, an analytical investigation on the track separation mechanism for tracked excavator was studied. Relative motions of track links, sprocket, idler and support rollers are very important in the driving of an excavator. The interference and friction between each components lead to noise and vibration. And also this has a great influence on the life for tracked excavator. RecurDyn program was used for the three dimensional modeling of the track assembly. Investigating the interference between sprocket and track links, the mechanism of the track separation was analyzed.

Key words : Excavator(굴삭기), Tracked vehicle(궤도 차량), Track link(궤도 링크), 이탈 현상(Separation mechanism), Contact parameter(접촉 파라미터)

1. 서 론

굴삭기는 엔진, 동력전달기구, 작업장치, 운전기구 등으로 구성되어 있으며 엔진을 동력원으로 유압기기를 구동함으로써 주행과 작업이 가능한 건설기계이다. 산악지형, 고온지역, 위험지역, 건물철거, 토목 등의 다양한 환경에 사용되므로 장비의 내구성과 장시간 운전에 따른 운전 편의성 및 토목, 굴착 등의 다양한 작업 성능이 요구된다. 또한 급경사, 연약지반 등에서의 작업을 위해서는 바퀴 보다는 트랙의 장착이 보편적이다.

굴삭기 작업성 향상을 위한 고효율 동력전달 장치에 대한 연구, 이동성을 위한 주행 안정성에 대한

연구, 작업자 편의성을 위한 조작성에 대한 연구 등이 진행되고 있으며 진동 및 소음 등에 대한 관련 법규의 강화에 따른 성능 향상 연구가 병행되고 있다.^{1,2)}

굴삭기 주행은 트랙과 트랙을 지지하고 궤도 이탈을 방지하는 상부 롤러(upper roller)와 하부 롤러(lower roller), 트랙을 견인하는 스프라켓(sprocket)과 트랙 장력을 유지하는 아이들러(idler) 등으로 구성되어 있으며 트랙에 형성된 골을 기준으로 스프라켓, 아이들러, 롤러 등이 배열되어 있다. 또한, 궤도 차량에서는 트랙의 장력을 조절하는 장치가 필요하므로, 이에 대한 연구도 발표되었다.³⁻⁵⁾

주행 시 궤도 이탈을 방지하기 위해서 형성된 트랙 링크 브라켓(track link bracket)과 스프라켓, 아이

*Corresponding author, E-mail: wsyoo@pusan.ac.kr

들러, 롤러 사이에 간섭이 발생할 경우 측면 마모에 의한 소음, 주행 성능 저하, 부품 마모로 인한 유지보수가 필요하게 된다. 특히 스프라켓의 경우 구동 모터와 연결되어 있으므로 모터의 손상까지 유발하게 되므로 장비의 수명에도 영향을 준다. 따라서, 벨트의 사행방지 장치를 위한 방안이 연구되어 특허로 발표되고 있다.^{6,7)} 롤러의 회전운동이 벨트 회전축 방향의 변위를 발생시키는 측면에서 트랙에서 발생하는 메커니즘과 유사하다.

그러나 굴삭기 하부의 아이들러, 스프라켓, 상부롤러, 하부롤러, 트랙 등의 하부 구성품 상호간의 간섭 문제를 이론적으로 접근하여 간섭 발생에 대한 원인을 규명한 연구는 보이지 않고 있다. 따라서, 본 논문에서는 구성품 간의 상대운동으로 인한 간섭 메커니즘의 규명을 위해서 굴삭기 하부 주요 구성품에 대한 운동을 분석하고 상용 다물체 동역학 해석 프로그램인 Recurdyn Ver 6.0⁸⁾을 이용하여 스프라켓에 대한 트랙 링크의 운동에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 굴삭기 주행상의 문제점에 대한 메커니즘 규명과 더불어 크롤러 주행 시뮬레이션을 통하여 신규모델 제작 시 설계 데이터로의 활용과 조립 시 유의사항 등에 대한 데이터를 제시하고자 하였다.

2. 궤도 이탈 메커니즘

굴삭기는 버킷, 암, 붐, 상부 센터 프레임, 하부 센터 프레임 등으로 구성되어 있으며, 굴삭기 하부 프레임 및 트랙의 구성은 Fig. 1과 같다.

본 논문에서는 스프라켓과 아이들러, 트랙, 상부롤러, 하부롤러 등의 5가지 구성품에 대해서 스프라켓의 조립오차에 따른 에러 발생 경향을 파악하고 에러 발생 메커니즘을 규명하고자 한다. 상·하부 롤러는 수직방향의 하중에 대한 저항, 노면과 마찰을 통한 주행 및 트랙 이탈 시의 저항 역할을 하게 된다. 롤러만으로는 회전을 위한 추진력을 발생하지 못하므로 상·하부 롤러에 의한 궤도 이탈은 무시하고 스프라켓과 아이들러의 조립 오차에 의해 발생 가능한 경우만 고려하였다.

스프라켓과 아이들러는 각각 회전 조인트로 연결되어있고 조립 시에 회전축의 직각도 θ 와 수평방향

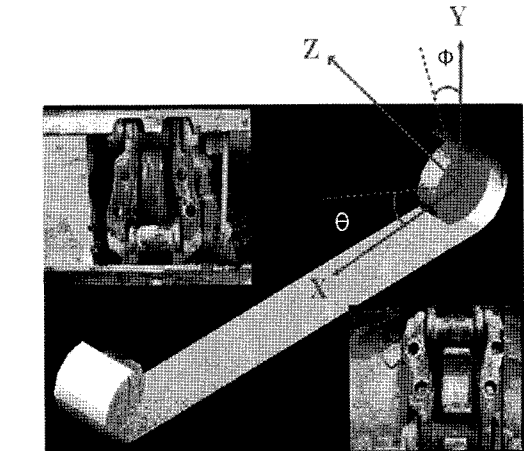
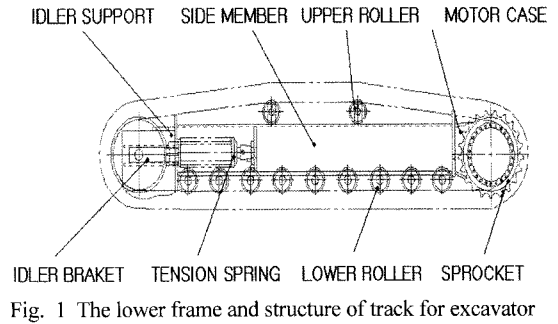


Fig. 2 Vertical and parallel angle according to rotational axis

직각도, 즉 평행도 ϕ 에 대해서만 고려하였다. 각각의 진행 방향에 따라서 힘의 작용방향이 다르게 나타나므로 전진과 후진에 대해서는 따로 고려하였다. 결과적으로 회전축의 위치 오차는 궤적에 영향을 미치지 않으므로 위치 오차에 대한 것은 제외하였다.

각 변위는 궤적에 직접적인 영향을 미치게 되므로 트랙의 한 축을 고정하여 1 자유도 운동($X-Y$ 평면에서 트랙의 회전)만 부여하고 다른 한쪽은 구속하면서 트랙과 궤적의 Z 축 방향의 상대운동에 의한 메커니즘을 분석하였다. 회전축에 따른 직각도와 평행도를 Fig. 2에 나타내었다.

2.1 조립 오차에 따른 궤도 이탈 메커니즘

아이들러와 스프라켓의 조립에 의해 X, Y 축에 대한 각도 오차가 발생할 수 있다. 또한 아이들러와 스프라켓의 중심 위치 오차가 X, Y, Z 방향으로 발생할 수 있다. X, Y 방향의 중심위치 오차는 트랙 어

샘플리의 평면에 위치하므로 트랙링크의 Z축 방향의 상대운동에는 영향을 미치지 않는다. 따라서 스프라켓의 각 변위요소 θ 에 대해서만 고려하였다. 트랙의 조립 시 발생 가능한 오차의 발생 경향을 Fig. 3에 나타내었으며, 이를 개선하기 위한 장치도 고안되었다.^{4,5)}

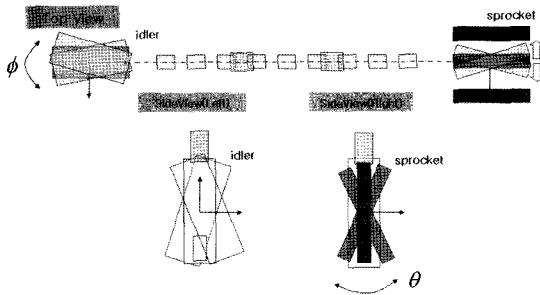


Fig. 3 An error generated with track assembly

2.2 직각도에 대한 궤적 변화 메커니즘

스프라켓이나 아이들러의 중심선이 트랙 위에 그리는 궤적과 트랙의 중심선이 이루는 각은 스프라켓이나 아이들러의 직각도 θ (X축에 대한 회전)로 표현할 수 있다. 따라서 회전체의 회전에 따른 궤적의 변화량은 회전 디스크의 주행거리와 각 θ 와의 관계로 표현할 수 있다. 회전체의 주행에 따른 Z축 방향의 트랙 운동 거리는 다음 식과 같이 계산된다.

$$K = \pi \times d \times N \times \sin\theta \quad (1)$$

여기서, d , N , θ 는 각각 회전체 지름, 회전수 및 직각도를 나타낸다.

진행 방향에 대해서 트랙의 중심선에 직각방향으로 작용하는 힘의 방향이 변하므로 아이들러나 스프라켓의 중심축에 대해서 트랙의 회전이 발생하게 된다. 따라서 트랙의 중심선과 궤적이 이루는 각도 θ 의 변화가 발생하게 된다. 후진일 경우 트랙의 회전이 θ 방향으로 발생하게 되므로 각 θ 는 초기 값보다 증가하게 되며, 트랙 링크의 Z방향 운동거리 K 도 증가하게 된다. 전진의 경우 각 θ 가 감소하게 되므로 Z방향 운동거리 K 도 감소하게 된다. 즉 주행 방향에 따라서 각도가 계속 증가하거나 감소하여 0에 수렴하게 된다. 주행에 따른 트랙의 회전과 직각도 θ 의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 직각도 θ 는 스프

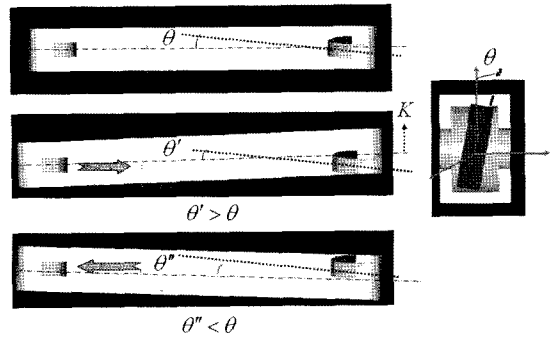


Fig. 4 The rotation of track and the change of vertical angle, θ , according to locomotion

라켓의 조립 오차각과 스프라켓 회전축의 조립 오차각으로 구성되며 두 변수의 조합에 따른 시뮬레이션을 수행하였다.

아이들러의 조립 오차도 함께 고려할 경우, 스프라켓이 이루는 조립 오차각과 같은 방향으로 배열이 되었을 때 트랙의 이동변위가 서로 같은 방향으로 발생하게 되므로 주행할수록 조립 오차각의 증가 속도가 더욱 커지게 된다. 또한 트랙 링크가 Z방향으로 가속도와 속도가 발생되는데, 트랙 링크의 Z방향 속도는 다음 식과 같이 계산된다.

$$v_z = n \times K \quad (2)$$

트랙 링크의 Z방향 속도는 회전속도(n)와 운동거리로 표현되므로 각도가 클수록 변위 발생 속도도 증가하게 된다. 따라서 스프라켓이 속도와 가속도를 가지고 트랙 링크 브라켓의 측면에 충돌하게 된다. 스프라켓과 트랙 링크의 상대 운동을 Fig. 5에 도시하였다.

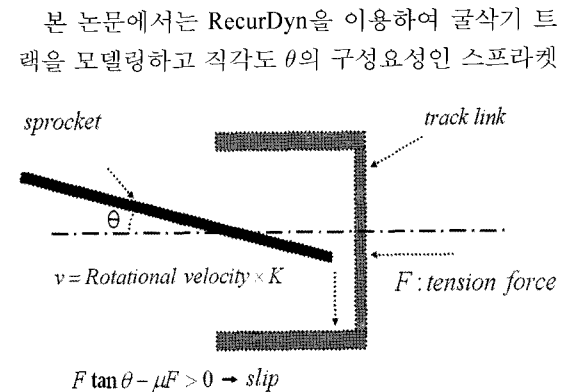


Fig. 5 The relative motion between sprocket and track link

의 조립 오차각과 회전축의 조립 오차각에 따른 트랙 변위를 시뮬레이션을 통해 그 결과를 분석하였다.

2.3 평행도에 대한 궤적 변화 메커니즘

평행도에 따른 궤적 변화 메커니즘을 Fig. 6에 도시하였다. Z축 회전에 의한 조립 오차의 발생은 Fig. 6에서 보듯이 트랙의 X축에 대한 모멘트로 트랙에 작용하게 되는 것으로 예측된다. 따라서 트랙 궤적의 이동보다는 트랙의 꼬임 현상을 유발할 것으로 예상되므로 본 논문에서는 고려하지 않았다.

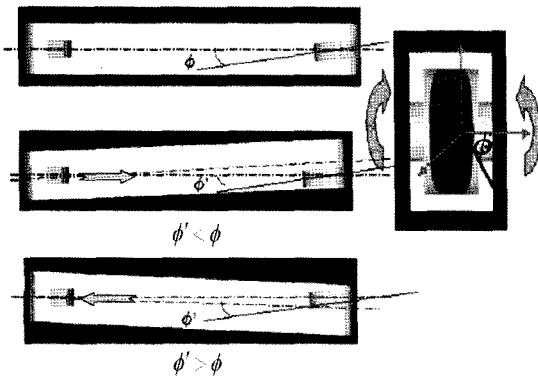


Fig. 6 The rotation of track and the change of parallel angle, ϕ' , according to locomotion

3. 굴삭기 트랙의 해석 모델

본 논문에서 해석하고자 하는 대상은 트랙에 대한 스프라켓의 상대 운동이므로 헐(hull)은 모델링에서 제외하였다. 프레임을 모델링하여 그라운드에 고정 조인트로 연결하고 프레임에 상부 롤러와 하부 롤러를 회전 조인트로 부착하였다. 구동부인 스프라켓도 프레임에 회전 조인트로 연결하였다. 아이들러는 별도의 연결링크로 모델링하고 링크 A를 통하여 프레임과 아이들러를 연결하였다. 트랙 링크를 이용하여 각 구성품을 구속하면 스프라켓의 치형과 트랙 링크 핀 사이에 간섭이 발생할 수 있다. 모델간의 간섭이 발생하면 해석이 수행되지 않으므로, 모델링 후에 Z축에 대해서는 스프라켓의 간섭이 발생되지 않도록 보정작업을 수행하였다.

트랙과 링크 A와 프레임 사이에는 아이들러에 힘을 가하여 트랙에 장력을 부가하기 위하여 병진 조

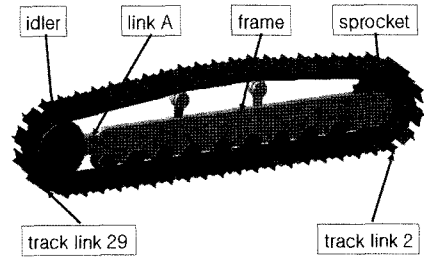


Fig. 7 Track assembly and track link 2 and link 29

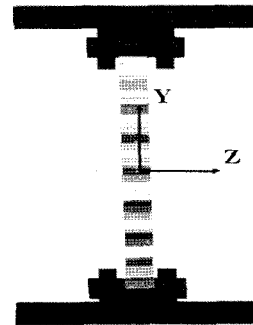


Fig. 8 Track link and sprocket (assembly error of 1°)

인트를 설치하였다. RecurDyn의 TRACK LM 모듈을 이용하여 Fig. 7과 같이 에스프라켓, 아이들러, 롤러, 트랙 링크를 모델링 하였다.

조립각 오차를 설정하기 위해서 스프라켓과 트랙 링크 사이의 간섭을 체크하였다. 트랙 링크와 스프라켓의 간격을 15 mm 로 하고 조립각 오차를 1° 로 설정하면 트랙 링크와 스프라켓과의 간격이 8.5 mm 로 여유가 있고, 각도에 따른 트랙 링크의 변위도 크게 발생하므로 운동 경황을 명확하게 볼 수 있다. 트랙 링크와 스프라켓 사이의 조립각 오차가 1° 일 때의 상황을 Fig. 8에 나타내었다.

마찰계수와 감쇠계수의 정확한 값은 실험을 통해 측정하여야 하나, 실험자체가 용이하지 않으므로 마찰계수 변화에 따른 트랙 링크의 변위를 관찰하면서 적절한 마찰계수를 선택하였다. 일반적으로 스틸의 마찰 계수($0.2 \sim 0.3$)의 값을 스프라켓과 트랙 링크에 적용하고 각 θ 를 0 으로 하였을 경우 트랙 링크의 변위가 0 에 근사하게 나오는 것을 확인하였다. 아이들러와 트랙 링크의 마찰 계수는 아이들러의 회전 속도가 정상 속도에 도달하는 응답성에는 영향을 미치나 트랙 링크의 변위에는 영향을 미치지 않으므로 본 연구에서는 고려하지 않았다.

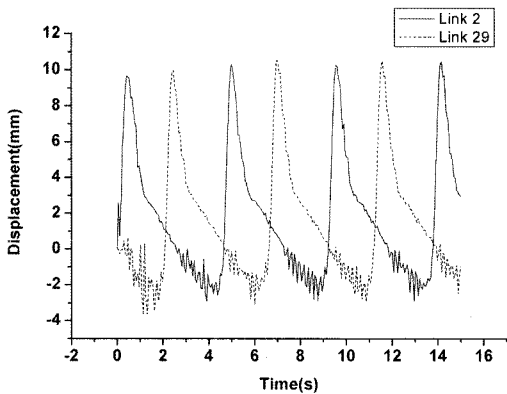
4. 굴삭기 트랙의 운동 분석

링크 A와 프레임을 병진조인트로 연결하고 트랙에 장력이 작용하도록 병진조인트에 X 축 방향의 힘을 부가하였다. 힘의 크기는 400 kN 이상의 장력이 트랙에 부가하였을 때 트랙 링크가 형상을 유지하면서 처짐이 줄어들었다. 따라서 최종적으로 800 kN을 작용시켜 트랙 링크의 처짐이 거의 발생하지 않도록 하였다. 변수를 스프라켓과 모터축의 조립 각도로 하였고, 먼저 스프라켓과 모터 모두 조립 오차각 1°로 하여 시뮬레이션을 수행하였다. 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

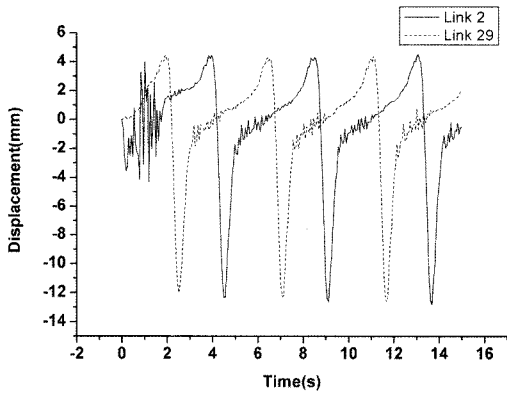
Fig. 9에서 볼 수 있는 바와 같이, 전진 방향에서 최대 10 mm의 변위, 후진에서는 최대 -13 mm의 변위가 발생한다. 전진과 후진에서의 변위 차는 3 mm를 보이므로 후진 주행할 때 스프라켓의 (-)방향과

트랙 링크 브라켓 사이에서 간섭이 생김을 알 수 있다. 이러한 경향은 트랙링크의 처짐이 줄어들면서 스프라켓에서 발생한 궤도의 변위가 하부 롤러에 의해서 제약을 받게 되므로 (-)Z방향 변위에서 급격한 변화 양상도 사라지고 변위도 줄어들 것으로 판단된다.

스프라켓만 조립각 오차를 가질 때 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 트랙 링크 2와 29번의 변위가 -3 mm에서 3 mm로 스프라켓과 모터축이 모두 조립 오차를 가진 경우와 비교하면 현저하게 줄어드는 것이 확인되었다. 이는 스프라켓의 조립각 θ 가 Z축 회전에 따라서 크기와 방향이 바뀌기 때문으로 사료된다. Z축 회전기준으로 θ 가 90°에서 270° 범위에서는 (-) 값을 갖게 되고 나머지 구간에서는 (+) 값을 갖게 되어 식 (1)의 트랙 링크의 방향이 바뀌어서 일방적으로 증가하는 값을 갖지 않게 된다. 따라서 회전 방

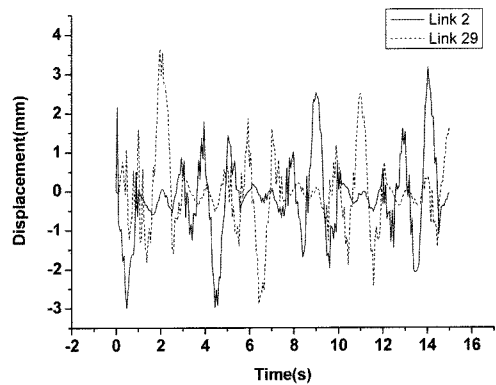


(a) Forward

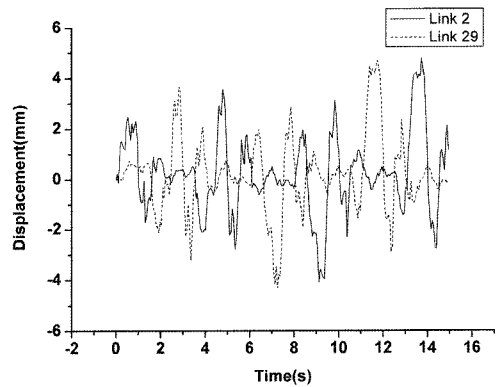


(b) Backward

Fig. 9 Z displacement of track link 2 and link 29 (assembly errors of 1° at both sprocket and motor axis)



(a) Forward



(b) Backward

Fig. 10 Z displacement of track link 2 and link 29 (assembly error of 1° at sprocket)

향이 다른 Fig. 9와 Fig. 10은 다른 양상을 보인다. 결과적으로 각 θ 는 초기 오차 값을 기준으로 (+) θ 의 범위에서 연속으로 변한다.

Fig. 11에는 모터축만 조립 오차가각 1° 를 가질 때의 결과를 나타내었다. 스프라켓과 모터축 모두 조립각 오차를 갖는 경우와 유사하게 발생한다. 이 경우 트랙 링크 2와 29가 전진 주행에서는 11 mm의 변위를 보이고 후진 주행에서는 -17 mm 변위를 보이므로 후진 주행 시 스프라켓의 (-) 방향에서 트랙 링크 브라켓과 간섭을 발생시킬 수 있다. 후진 주행에서 (+) 방향의 급격한 변위 데이터는 실제 스프라켓 동작 특성이 따라가기 힘든 데이터로 보이므로 무시하였다.

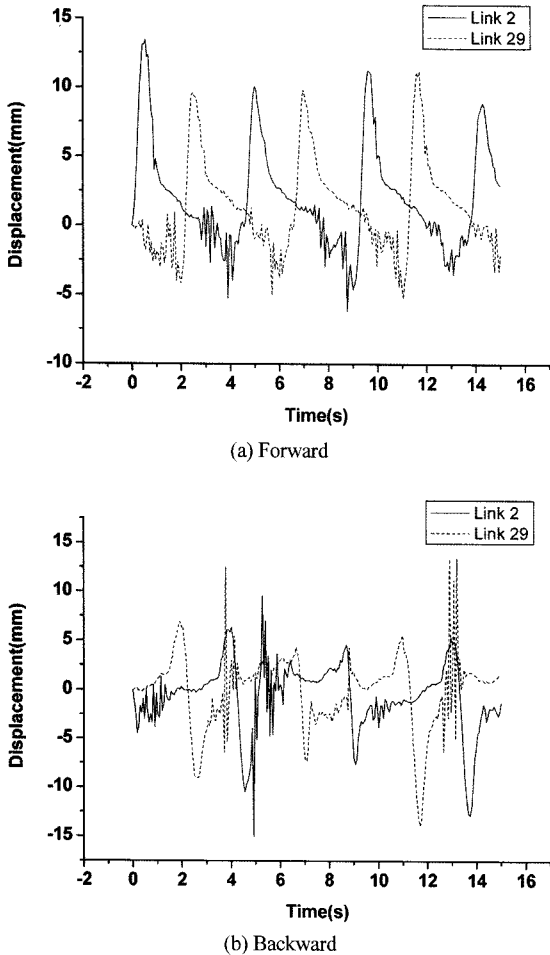


Fig. 11 Z displacement of track link 2 and link 29 (assemble error 1° at motor axis)

5. 결론

굴삭기 하부 주요 구성품의 조립에 따라서 발생하는 간섭현상을 분석하기 위해 간섭 메커니즘을 이론적으로 규명하고 기구 동역학 해석을 위한 3차원 모델을 구성하였다. 또한 RecurDyn을 이용하여 주요 구성품의 조립상태에 따른 트랙 어셈블리의 스프라켓과 트랙 링크간의 상대운동에 대해서 시뮬레이션을 수행하였으며 스프라켓 조립 시 발생할 수 있는 다양한 경우에 대해서 트랙 링크의 운동 경향을 파악하였다.

- 1) 주행 방향에 따른 스프라켓, 아이들러와 트랙의 링크에 대한 상대운동에 대한 기구학적 메커니즘의 제시를 통하여 전진 시와 후진 시의 상이한 메커니즘에 대해서 규명하였다. 즉, 스프라켓의 조립 오차각에 따라서 스프라켓 측면과 트랙 링크 브라켓 간의 간섭이 전진 또는 후진 일방에서만 발생하는 것을 RecurDyn을 통한 시뮬레이션으로 확인하였다.
- 2) RecurDyn을 이용한 시뮬레이션 결과로 운동에 대한 방향과 변위에 경향은 예측은 할 수 있었으나 접촉변수의 정확한 값을 입력하지 못했으므로 해석 결과에 나타난 수치에 대한 신뢰도는 다소 낮다고 판단된다.
- 3) 향후 굴삭기 구성품 간의 접촉 변수를 실험을 통해 확보한 뒤 시뮬레이션 작업이 수행한다면 보다 정확한 설계 데이터 확보 및 수치 데이터의 제시가 가능할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- 1) M. S. Suh and H. K. Kim, "Driving and Swing Analysis of a Crawler Type Construction Equipment Using Flexible Multibody Dynamics," Transactions of KSAE, Vol.5, No.1, pp.101-109. 1997.
- 2) J. Y. Kim and M. S. Suh, "궤도차량 소개 및

- 군용 현수장치 설계 특징,” Journal of KSAE, Vol.22, No.3, pp.23-27, 2000.
- 3) 오재형, 무한궤도식 굴삭기용 아이들러의 위치 조정장치, 특허 실용실안, 실 1998-033424, 1998.
 - 4) K. Kanokoki, “Simulation of Metal Pushing Type V-velt for CVT,” 15th ADAMS European User Conference, 2000.
 - 5) K. U. Kim and C. J. Kim, “Effect of Initial Track Tension on the Tractive Performance of Tracked Vehicles,” Transactions of KSAE, Vol.5, No.2, pp.1-12, 1997.
 - 6) 박태진, 벨트의 편적 보정장치, 특허, 특 2000-0078078, 2000.
 - 7) 위홍덕, 콘베이어 벨트의 사행 방지 장치, 특허, 특 2002-0044248, 2002.
 - 8) RecurDyn Ver 6.0 Users Manual, FunctionBay, Inc. Korea, 2004.