

굴삭기 전용 위치검출 센서의 개발에 관한 연구

김 종 화* · 류 길 수*

A Study on the Development of Position Detecting Sensor for Excavator

Jong - Hwa Kim, Keel - Soo Rhyu

Abstract

In this paper, angular position sensing system for excavator was developed, by adopting potentiometer as the detection sensor for the relative rotating angle between excavator's manipulators. The development procedure is composed of two major parts : one is the design of housing for protecting potentiometer against the impacts and vibrations caused by operating conditions of excavator, and the other is the design of interface circuit for rejection of environmental noises and for regulation of reference voltage supplied in potentiometer, which is closely related to measurement accuracy of potentiometer. The developed system was proved adequate through the experiments by applying it to excavator.

1. 서 론

굴삭기 등의 유압중장비를 운전하는 운전자의 숙련도가 날이갈수록 저하됨으로써 땅고르기 작업 같은 비교적 정확한 작업을 행할 경우나 사막에서 수로를 파는 작업같은 지루하고 단순한 작업을 장시간 수행해야 하는 경우, 작업능률과 인건비 절약의 측면에서 일정한 작업을 정확하게 반복수행할 수 있는 작업장치의 자동화에 대한 요구가 전기-유압 서보제어기술의 발달과 더불어 꾸준히 증대되고 있다. 이를 위해서는 굴삭기를 로봇화하여 작업에 필요한 교육명령(teaching command)을 정확히 재현할 수 있는 위치제어시스템을 구성하는 것이 필요하다. 제어시스템의 구성은 굴삭

* 한국해양대학교 이공대학 제어계측공학과 교수

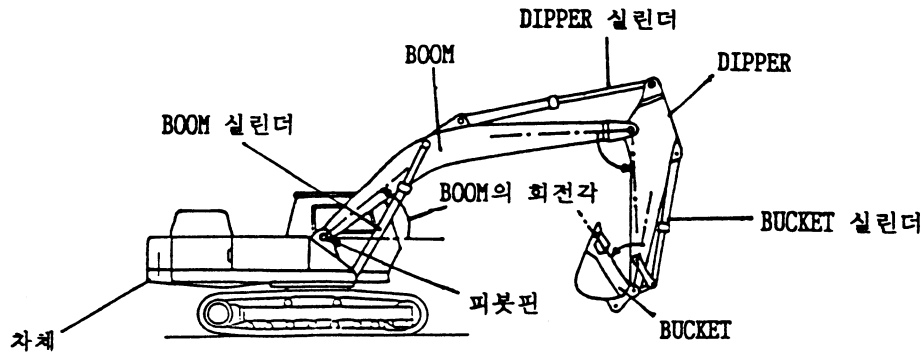


그림 1. 굴삭기의 작업장치와 주요부분들에 대한 설명

기의 압축, BOOM과 DIPPER 및 BUCKET의 상대적인 각위치 (angular position)를 검출하거나 압을 구동시키는 액츄에이터인 유압실린더의 선형변위를 측정하여 피드백시킴으로써 비로소 가능하다. 선형변위를 검출하는 일반용도의 센서는 자기변형, 가변저항, 차동변압 등을 응용한 LVDT의 형태로 개발되어 사용되고 있고 포텐시오미터나 엔코더, 리졸버 등의 각위치를 측정하는 센서도 상용되고 있지만 굴삭기와 같이 까다로운 작업조건과 사용환경조건을 가진 경우에는 거의 직접적으로 응용될 수 없음이 판명되었다.

따라서 굴삭기에 전용으로 사용될 수 있는 위치검출 센서를 개발해야 하는 필요성이 제기되며 이의 예로서는 일본의 KAYABA 회사에서 개발된 유압실린더 피스톤 로드와 선형변위를 검출하는 센서가 있다. 원리는 자성체인 피스톤 로드위에 비자성체를 가지고 일정하게 눈금을 새겨 두고 자기헤드를 검출센서로 사용하여 자장의 포화상태를 전기적인 신호로 바꾸어 파형정형시킴으로써 증분형태 (incremental type)로 선형변위를 검출하는 것이다. 그러나 비자성체로 눈금을 새기는 공정의 어려움으로 가격이 비싸지고 비자성체가 로드위에 도금된 경질크롬에 비하여 경도가 떨어지기 때문에 내구성에 문제가 있어 상품화되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 상용의 회전각 검출센서 중에서 비교적 내환경성이 우수한 포텐시오미터를 선택하여 굴삭기 작업장치의 각위치를 검출할 수 있도록, 굴삭기의 작업조건과 사용환경조건에 견딜 수 있는 보완장치를 설계함으로써 굴삭기 전용의 위치검출 센서를 개발하고자 한다. 이를 위해서는 작업조건과 환경조건에 견딜 수 있도록 보호용 하우징 (housing)을 설계해야만 하고, 또한 굴삭기에서 요구되는 정밀도를 얻기 위해서는 포텐시오미터 내외부의 잡음에 대한 제거와 신호의 처리등 인터페이스 (interface) 회로를 설계해야만 한다.

2. 굴삭기 작업장치의 회전각 검출 방법

굴삭기 작업장치의 회전각 검출방법은 크게 두가지 방법으로 나뉘어 진다. 첫째는 작업장치 중에서 BOOM과 DIPPER의 회전각에 대한 검출방법이고 둘째는 BUCKET의 회전각을 검출하는 방법이다. 그림1에서 보는 바와 같이 BOOM의 회전각은 차체에 대해 상대적으로 회전한 BOOM의 회전

각을 의미하고 DIPPER의 회전각은 BOOM에 상대적인 DIPPER의 회전각을 의미하며, BUCKET의 회전각은 DIPPER에 상대적으로 회전한 BUCKET의 회전각을 의미한다. 기존의 굴삭기는 피봇핀의 마모를 적게 하고 윤활유를 강제적으로 계속 공급하기 위하여 작업장치들을 연결하는 피봇핀이 항상 회전에 기준이 되는 작업장치에 고정되도록 설계되어 있다. 즉 차체와 BOOM을 연결하는 피봇핀은 차체에 고정되어 있고 BOOM과 DIPPER를 연결하는 피봇핀은 BOOM에, DIPPER와 BUCKET를 연결하는 피봇핀은 DIPPER에 고정되어 있다. 그러므로 회전각을 측정하기 위한 포텐시오미터를 플렉서블 커플링(flexible coupling)을 매개로 하여 직접 피봇핀에 연결하여 회전각을 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 두 작업장치 사이의 상대회전각을 측정하기 위해서는 간접적인 회전각 전달기구를 이용하여 측정할 수 밖에 없다.

BOOM과 DIPPER에 대한 방법은 개념상으로 동일하게 생각할 수 있지만 BUCKET에 대해서는 부착되는 부위가 가장 열악하고 취약하기 때문에 다른 방법으로 생각해야 한다. 본 연구에서는 BOOM과 DIPPER에 적용되는 방법만을 대상으로 하여 구체적으로 기술하기로 한다. 그림 2는 BOOM에 상대적인 DIPPER의 회전각을 측정하기 위한 방법을 예시한 그림이다.

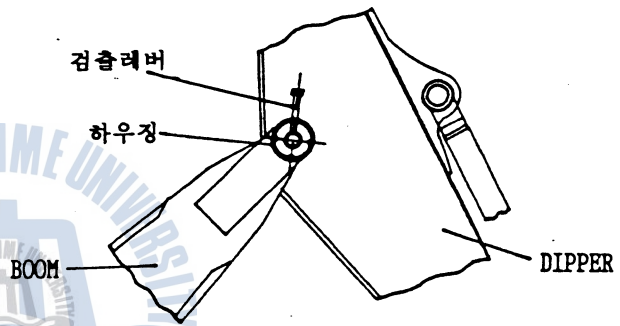


그림 2. BOOM에 상대적인 DIPPER의 회전각 검출방법

두 작업장치 사이의 피봇핀은 BOOM에 고정되어 있으므로, 포텐시오미터가 내장되는 하우징을 BOOM위에 피봇핀의 중심축과 포텐시오미터의 회전축이 일치되도록 고정시키고 검출레버를 DIPPER에 고정시킴으로써 DIPPER의 회전각이 포텐시오미터에 전달되도록 하는 방법이다. 이 방법은 굴삭기 작업장치의 회전각을 측정하기 위해서는 유일한 방법이라 생각되며 이 방법에 대하여 포텐시오미터 보호용 하우징을 설계하는 방법과 관련된 실험결과를 상세히 논할 것이다.

3. 포텐시오미터 보호용 하우징의 설계

3.1 하우징 설계시 요구사항

포텐시오미터는 굴삭기에의 응용시 요구되는 사양중에서 굴삭기의 까다로운 작업조건으로 인하여 내환경성에 관한 사양을 만족시키지 못한다. 따라서 내환경성에 대한 사양을 완화시킴으로써 포텐시오미터를 사용할 수 있도록 해 줄 수 있는 보호용 하우징을 설계제작하여야 한다. 하우징설계시 요구되는 사항을 항목별로 열거하면 다음과 같다.

- 1) 신호검출이 간접적으로 이루어져야 한다.
- 2) 굴삭기 작업시 발생하는 진동 충격을 완화할 수 있어야 한다.

4) 방수 및 방적대책으로서 하부에는 '하부방수용고무'를 사용하였으며, 상부에는 '상부방수 및 엔티더스트 시일' 을 사용하였다.

5) 출력 smoothness

포텐시오미터의 출력에 영향을 미치는 요인은 진동이나 충격을 받을 때 포텐시오미터가 하우징 내부에서 회전하거나 검출레버가 회전하는 경우이다. 후자는 당연히 검출되어야 함은 물론이고 전자일 경우는 진동충격에 의하여 첫째, 센서방진용 고무가 하우징에 상대적으로 회전하는 경우, 둘째 포텐시오미터가 센서방진용 고무에 상대적으로 회전하는 경우이다. 이런 경우를 방지하기 위해서는 고무를 약간 압축(20%이하)시켜 조립하거나 접착제를 사용하여 상대회전을 방지함으로써 해결될 수 있는 문제이다.

6) 내구성 부여대책

하우징의 구성부품을 살펴볼 때 내구성에 문제가 되는 부품은 방진과 방수를 위해서 사용된 고무 제품들이다. 이 고무제품들은 방진특성이 우수하며 내열, 내한성, 내후성 등 내구성이 양호한 클로로프렌(CR)고무를 사용하여 제작하였다.

7) 포텐시오미터 회전축에 수직인 축을 중심으로 발생하는 굴삭기 작업장치 사이의 상대적인 angular deviation은 축에 수직방향으로 회전가능한 2열 볼베어링과 검출레버방진고무 및 플렉서블 커플링에 의하여 커버될 수 있으며, 작업장치 사이의 linear displacement는 하우징 방진용 고무와 검출레버 방진용 고무에 의해 커버될 수 있도록 설계되어 있다.

4. 인터페이스 회로의 설계

4.1 인터페이스 회로의 설계조건

포텐시오미터는 비교적 내환경성이 우수하며 분해능이 높고 가격이 싸다는 장점은 있으나, 출력이 전압 형태로 주어지므로 잡음의 영향을 받기 쉽기 때문에 출력의 정밀도를 보장받기 위해서는 인터페이스 회로가 반드시 필요하다. 굴삭기가 회전각 검출센서에 대해 요구하는 정밀도는 작업장치에 따라 다르며 기구학적인 관계식에 의한 최대사양은 다음과 같다.

항 목	요구조건	포텐시오미터(JC40S기준)
분해능	5,000펄스(디지털)	이론적으로 무한소
정밀도(선형성)	±0.1%이하(BUCKET 각 180°기준)	±0.05%(선택사양으로 주문시)
출력형태	아날로그 또는 디지털	아날로그 전압
회전각에 대한 출력신호 값	절대형태 또는 증분형태	절대형태
감지 지연 시간	20msec	수msec이내

포텐시오미터는 기준 전압원을 필요로 하며 요구되는 출력의 정밀도를 얻기 위해서는 온도변화 등 환경 변화에 영향을 받지 않는 기준 전압원을 필요로 한다. 본 연구에서 채택된 포텐시오미터의 모델은 일본 COPAL 제품인 JC40S이며 이러한 JC40S의 특성을 고려하여 기준 전압원으로는 출력 전압이 5V인 LA336BZ5.0 voltage reference IC를 사용하였다. 굴삭기 작업장치에 부착된 포텐시오미터에서의 출력이 인터페이스 회로까지 전달되기 위해서는 10m 내외의 전송선로를 거치게 된다. 이 때 전송선로상에 인가될 수 있는 同相(in-phase)잡음을 제거하기 위해 인터페이스의 입력단을 차동 증폭기(differential amplifier)로 구성한다. 작업장치의 초기화(initializing) 상태에서의 출력값이 영이 되도록 기준 설정을 해주어야 하는데 이를 위한 작업은 굴삭기의 컨트롤러에서 소프트웨어적으로 처리가 가능하므로 여기서는 고려하지 않기로 한다. 또한, 작업장치의 회전각이 동작범위내에서 최대값을 가질 때의 센서 출력을 디지털 신호로 바꾸어 줄 때, A/D 변환기의 최대입력에 가까운 적절한 값을 갖도록 증폭시켜 줄 증폭기를 필요로 한다.

포텐시오미터의 출력은 직류 전압값으로 주어지므로 인터페이스 회로에서의 잡음에 의한 오차를 없애기 위해서 모든 OP-AMP는 잡음 특성이 좋은 low-noise OP-AMP인 OP-07CP를 이용하며, OP-AMP의 오프셋(offset) 전류에 의한 출력 특성도 보상해 줄 필요가 있으며, 모든 가변저항은 정밀도를 높이기 위해 정밀 가변저항을 사용하였다.

4.2 인터페이스 회로의 설계

본 연구에서 구현한 포텐시오미터 인터페이스 회로의 구성은 그림4의 블럭다이어그램과 같다.

버퍼회로(buffer circuit)는 포텐시오미터에 대한 인터페이스 회로의 부하영향을 없애고 전송선로 상에서 생길 수 있는 잡음을 제거하기 위한 차동 증폭기로 구성되고, 감도조정 회로(sensitivity adjustment circuit)는 굴삭기 작업장치의 회전각도가 최대값을 가질 때 센서의 출력이 원하는 값으로 조정되도록 맞추어 주는 회로이다. 각 블럭의 기능에 대해 구현된 포텐시오미터의 인터페이스 회로도도 그림 5와 같다.

그림6은 차동 증폭기의 회로도이다. 출력전압 V_z 는 입력신호 V_1 이 접지되었을 때의 출력과 입력신호 V_2 가 접지되었을 때의 출력을 중첩한 것이 된다. 즉 V_2 가 접지일 경우, 즉 $V_2=0$ 이면

$$V_z = -\frac{R_F}{R_1} \cdot V_1 \quad (1)$$

이 되고 $V_1=0$ 이면, V_z 는 $(R_3/(R_2+R_3)) \cdot V_2$ 이므로,

$$V_z = \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \cdot V_3 + \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) \cdot V_2 \quad (2)$$

이 된다. 따라서 식(1)과 식(2)가 중첩된 출력 V_z 는

$$V_z = -\frac{R_F}{R_1} \cdot V_1 + \left(1 + \frac{R_F}{R_1}\right) \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right) \cdot V_2 \quad (3)$$

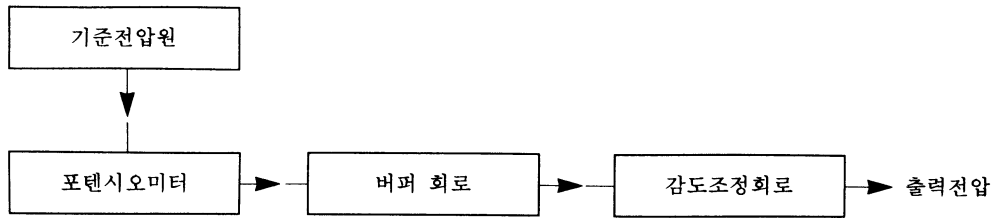


그림4. 인터페이스 회로의 블럭다이어그램

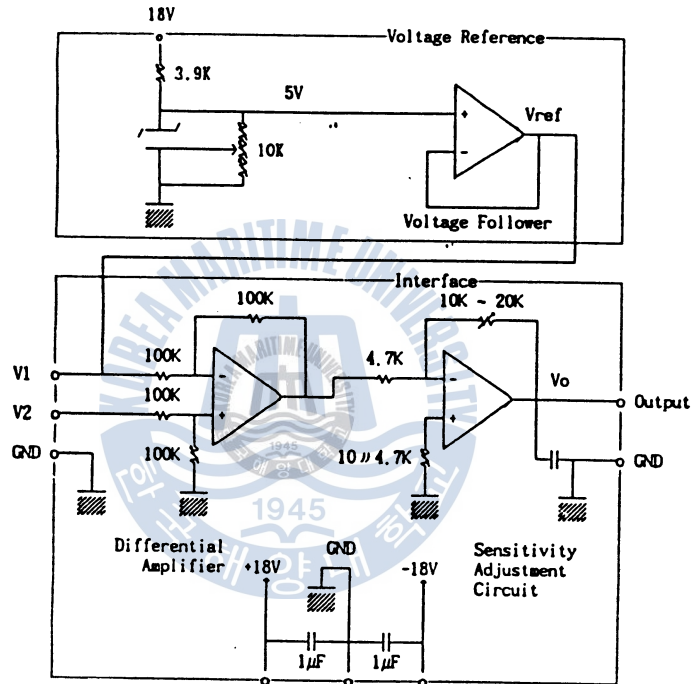


그림5. 포텐시오미터의 인터페이스 회로도

가 된다. 만약 $R_1=R_2=R_3=R_F$ 가 되면

$$V_z = V_2 - V_1 \quad (4)$$

이 되어 두 입력신호 V_1 과 V_2 의 차만이 증폭되는 차동 증폭기가 된다.

굴삭기 작업장치의 회전각이 동작각도 범위내에서 최대값을 가질 때 인터페이스 회로의 출력이 원하는 값으로 조정되도록 맞추어 주는 감도조정회로의 회로도도 그림7과 같다.

출력전압 V_o 는

$$V_o = -\frac{R_F}{R_1} \cdot V_m \quad (5)$$

이므로 V_m 이 영일 경우 굴삭기 작업장치가 최대 동작각도에 있을 때 포텐시오미터의 출력전압값

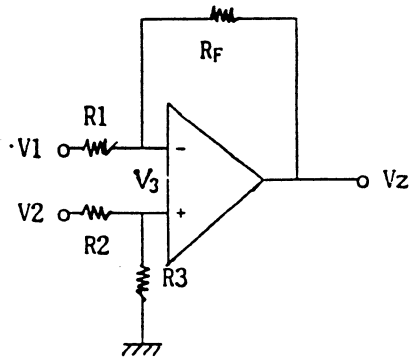


그림6. 차동 증폭기의 회로도

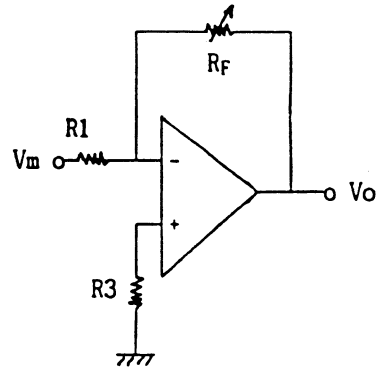


그림7. 감도 조정회로의 회로도

V_m 이 2V 이고 위치검출 센서의 디지털 출력을 위한 A/D 변환기의 최대 입력 허용값이 5V일 경우, 저항 R_1 과 R_F 의 비가 $R_1 : R_F = 2 : 5$ 가 되도록 가변저항 R_F 를 조정하면 된다. 그림6과 그림7의 회로에서 저항 R_3 은 OP-AMP의 입력 바이어스 전류에 의한 출력 오프셋을 없애기 위한 저항으로 저항값이

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_F}{R_1 + R_F} \quad (6)$$

가 되는 것이 적당하다. 예로서, R_1 이 4.7k 이고 R_F 가 약 10k Ω 정도가 된다면 이 두 저항의 병렬저항값인 3.9k Ω 정도가 R_3 저항값으로 적당하다.

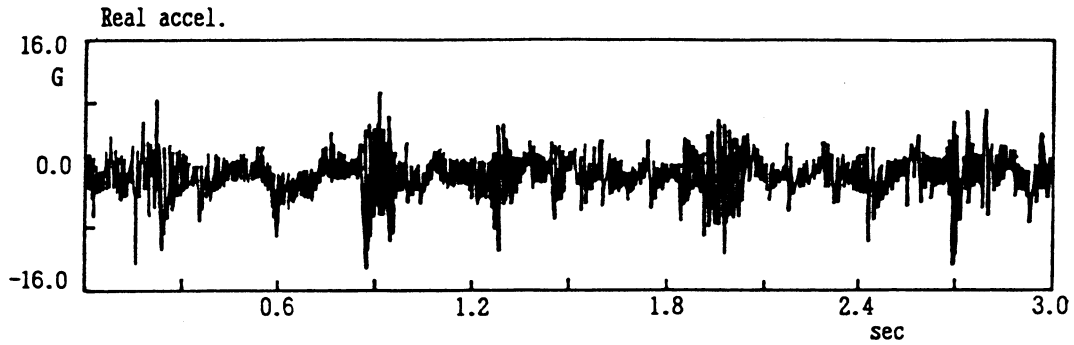
5. 실험 및 결과

실험은 크게 두부분으로 나누어져 수행되었는데, 굴삭기로서 실제의 작업을 수행할 때 획득한 자료를 기초로 하여 보호용 하우징과 인터페이스 회로의 설계가 의도대로 이루어 졌는지를 확인하는 실험을 먼저 수행함으로써 보완이 필요한 부분은 보완한 후, 전체의 시스템을 굴삭기에 장착하여 실제의 실험을 수행하였다.

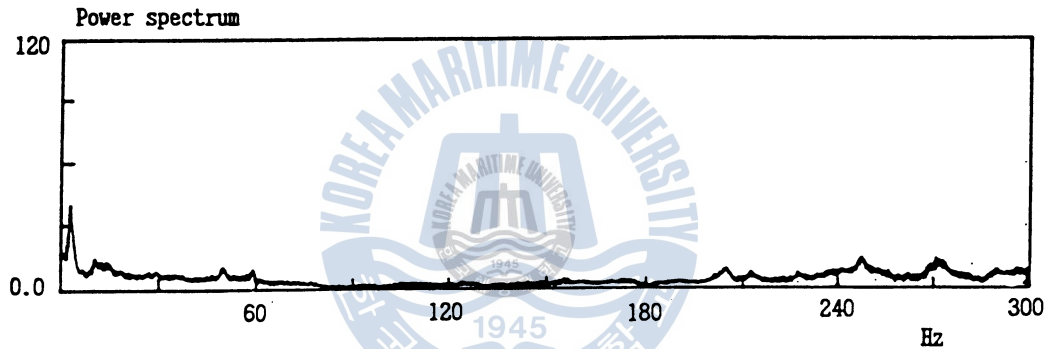
5.1 방진체계의 설계

보호용 하우징의 요구사항 중 가장 중요한 것은 진동과 충격에 대하여 포텐시오미터를 보호할 수 있어야 하는 것이다. 이를 위해서는 실제의 굴삭작업시에 발생하는 진동과 충격에 대한 정보를 획득하여 분석함으로써 대책을 마련하는 것이다.

그림8은 굴삭기 작업중 가장 열악하다고 할 수 있는 암반 굴삭작업을 수행할 때 발생하는 가속도에 대한 시간응답과 주파수 응답이다.



(a)



(b)

그림8. 암반 굴삭작업시에 DIPPER상에서 발생되는 실제의 응답
(a) 가속도 시간응답 (b) 파워스펙트럼 (power spectrum)

그림8을 분석해 보면 BUCKET 끝점이 불규칙한 암반의 표면과 접촉될 때마다 순간적으로 작은 충격이 가해지며 이로 인하여 BOOM와 같은 작업장치의 잔류진동을 유발하는 양상을 나타내고 있다. 따라서 굴삭작업은 충격으로 인한 고주파에너지와 잔류진동을 유발시키는 저주파에너지를 동시에 가지고 있음으로써 저주파진동과 고주파진동이 중첩되어 나타나는 아주 불규칙한 형태로 간주될 수 있다. 특히 충격후에 나타나는 진동은 약 65 Hz이하에서 많은 에너지를 가지고 있고 계속적으로 작용되는 충격으로 인하여 작지만 고주파 영역에서도 에너지를 가지고 있음을 알 수 있다.

따라서 방진체계를 아무리 잘 설계한다 하더라도 불규칙하게 인가되는 진동을 완화시키는 것은 거의 불가능하지만 잔류진동 자체가 가지는 가속도의 크기는 그다지 크지 않으므로, 진동은 그대로 받는 것으로 하되 진동에너지를 흡수함으로써 빠른 감쇠를 유도하는 방향으로 하면서, 궁극적으로

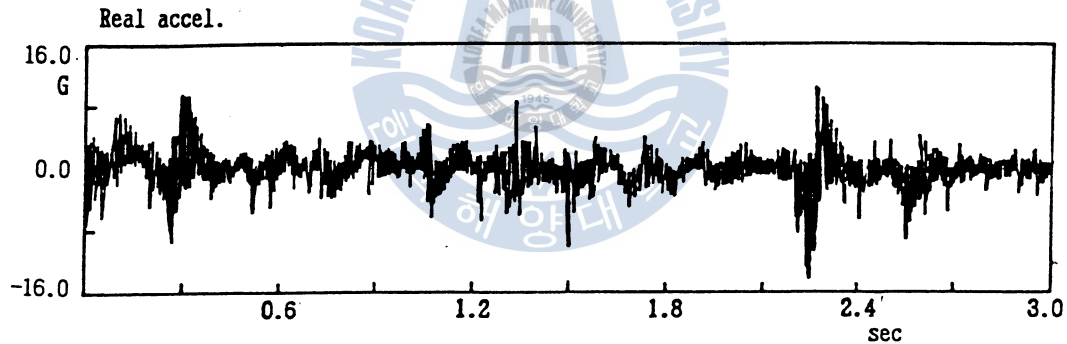
는 큰 가속도를 가지고 결정적인 영향을 미칠 수 있는 충격을 완화시킬 수 있는 설계가 이루어져야 함을 알 수 있다. 본 연구에서 설계된 방

구분	하우징방진체계	센서 방진체계
고유주파수(Hz)	120	180

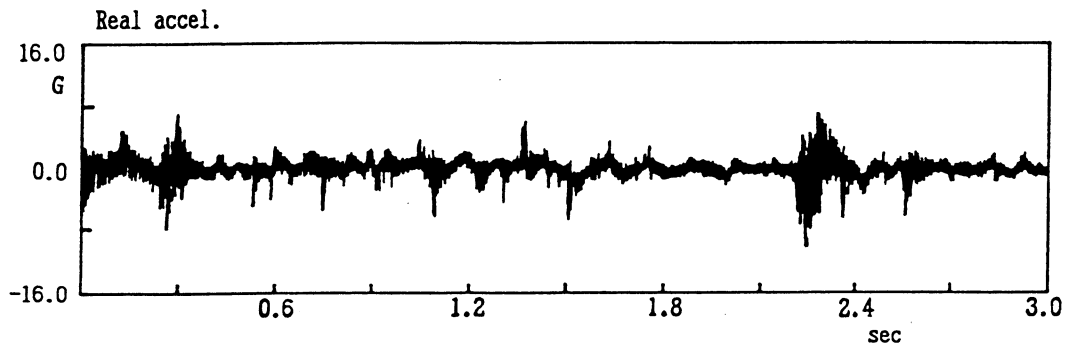
진체계는 크게 두부분으로 이루어져 있는데, 하우징 방진체계는 포텐시오미터는 물론이고 하우징을 구성하고 있는 요소들을 충격으로부터 보호하기 위한 것이고 센서 방진 체계는 포텐시오미터만을 보호하기 위한 것이다. 이러한 방진체계는 기계적 스프링에 비해 고주파에서 충격을 흡수하기 위한 탄성이 우수할 뿐만아니라 진동에너지를 흡수를 위한 점성이 뛰어난 클로로프렌 고무를 사용하여 구성되었고, 고유주파수는 그림8에서 보는 바와 같이 비교적 에너지가 낮게 분포되어 있는 주파수범위에 놓이도록 진동 모드 해석실험을 통하여 결정한 후 몇 번의 실제 실험을 통하여 최종적으로 결정하였으며, 하우징 방진체계와 센서 방진체계가 서로 공진을 일으키지 않도록 하였다.

5.2 방진체계에 대한 실험

위와 같이 설계된 방진체계를 가지고 있는 하우징의 성능을 시험하기 위하여 실제의 굴삭기에 부착한 후 암반 굴삭작업과 암반 충격작업을 수행하였으며, 그림9는 그 결과를 도시한 것이다. 그림9(b)는 하우징 방진체계와 센서 방진체계를 통하여 포텐시오미터에 전달된 가속도를 시간에 따라 도시한 그림인데, 암반 굴삭작업시에 인가되는 순간적인 충격에 의한 가속도의 크기가 그림9(a)에 비하여 감소되어 있음을 볼 수 있다.



(a)

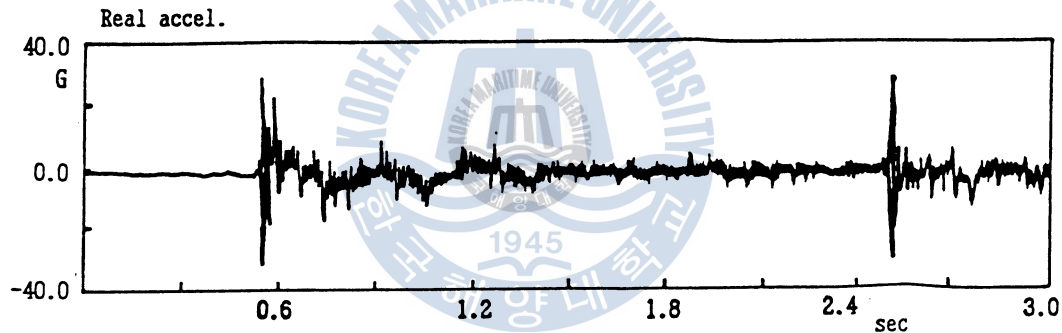


(b)

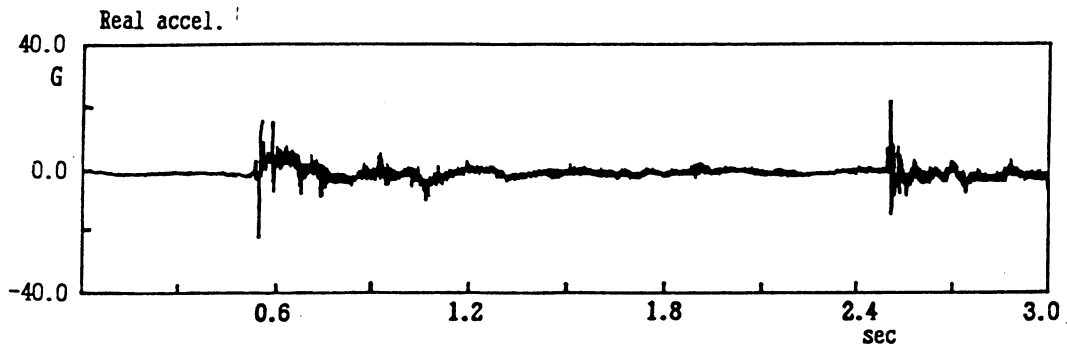
그림9. 암반 굴삭작업시의 가속도에 대한 시간응답
(a) BOOM상의 가속도 (b) 포텐시오미터상의 가속도

그 이유는 그림8(b)에서 충격에 의한 에너지가 비교적 낮게 분포되어 있는 주파수대에 방진체계의 고유주파수를 위치시킴으로써 공진이 일어나더라도 증폭비가 상대적으로 작기 때문이라 판단되지만 굴삭작업 조건에 따라 언제든지 증폭이 일어날 수 있는 가능성은 내포되어 있다고 생각된다. 그러나 굴삭작업시의 최대 가속도는 충격에 의한 에너지에 의하여 증폭이 된다고 할지라도 포텐시오미터의 사양내에 존재함으로 크게 문제가 되지 않으며, 또한 점성이 뛰어난 방진고무의 기계적 성질에 의하여 진동이 빨리 감쇠되고 있음을 명백히 볼 수 있기 때문에 설계된 방진체계는 우수하다고 판단된다.

그림10은 굴삭기의 상부를 최대속도로 회전시키면서 BUCKET으로 암반을 때릴 때의 충격파형이다. 이 그림에서도 포텐시오미터상의 가속도는 증폭이 일어나지 않음을 볼 수 있고 충격후의 잔류진동은 빠른 속도로 감쇠되고 있음을 볼 수 있다. 그 이유도 그림9에 있어서 설명되었던 바와 같이 진동과 충격에너지가 가장 낮게 분포되어 있는 주파수대에 방진체계의 고유주파수를 위치시키고 또한 충격에 대하여 우수한 대응능력을 가진 방진고무를 사용했기 때문이라 판단된다.



(a)



(b)

그림10. 암반 충격시의 가속도에 대한 시간응답
(a) BOOM상의 가속도 (b) 포텐시오미터상의 가속도

그림11은 압박 충격시 BOOM상에서 발생하는 가속도가 하우징 방진체계와 센서 방진체계를 통하여 포텐시오미터에 전달되는 양상을 보인 주파수 응답곡선이다. 공진이 일어나는 모우드가 약 120Hz와 180 Hz에 존재함을 볼 수 있는데 바로 하우징과 센서 방진체계의 고유주파수 부근이다. 이 그림으로부터 약 120 Hz 이하의 저주파 진동은 그대로 전달된다는 것을 알 수 있고 오히려 충격에너지가 많이 분포되어 있는 고주파 부분은 전달률이 1보다 작음을 알 수 있다. 따라서 충격에 대한 보호설계가 잘 이루어졌음을 짐작할 수 있고 또한 공진주파수 부근에서 곡선의 형태가 날카롭지 않고 넓게 퍼져 있음으로써 감쇠능력이 우수하리라는 것을 예측할 수 있다. 결과적으로 그림9와 그림10은 이런 면에서 당연한 결과라고 판단된다.

그림12는 굴삭작업 또는 충격인가시에 포텐시오미터 자체가 영향을 받거나 방진체계가 영향을 받음으로써 측정하고자 하는 회전각에 영향을 미치는 지를 판단하기 위하여, 포텐시오미터의 회전

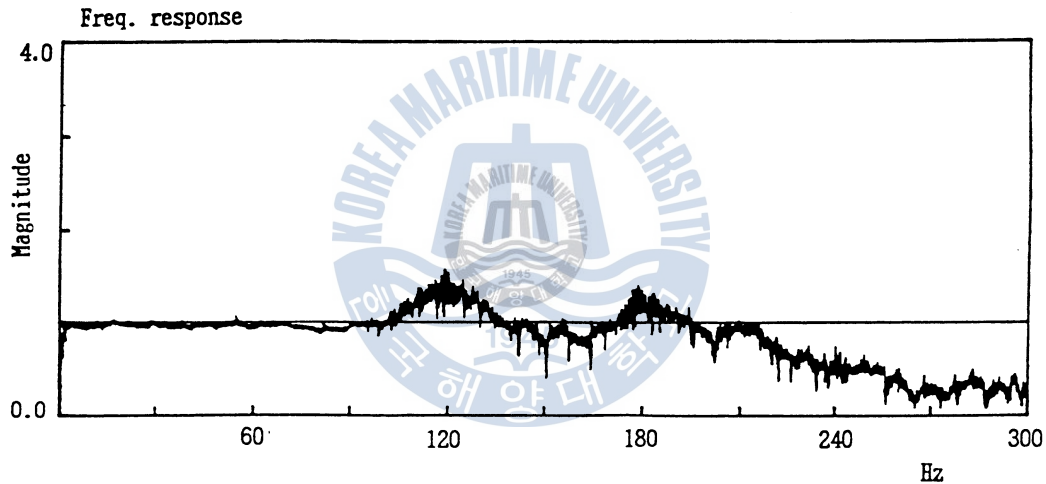


그림 11. BOMM에 대한 포텐시오미터의 주파수 응답

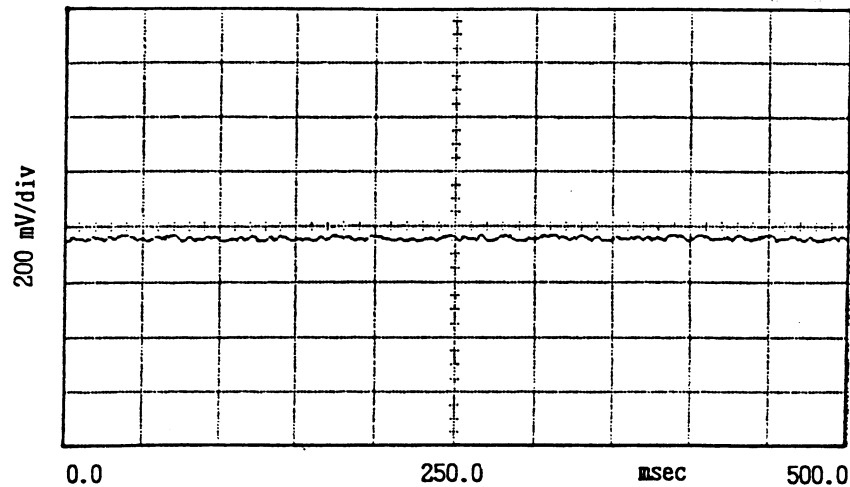
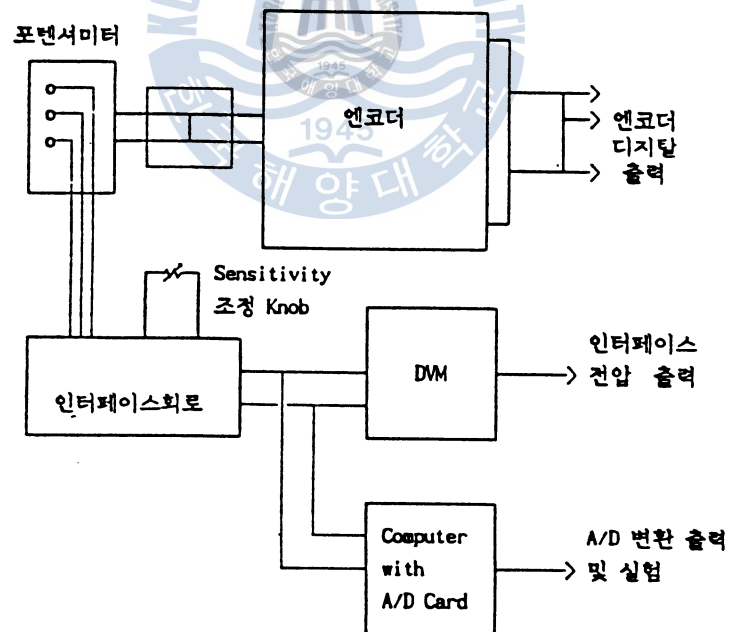


그림12. 압박 충격작업시 포텐시오미터의 출력 smoothness

각을 일정하게 유지한 채 암반을 충격했을 경우 포텐시오미터의 출력을 도시한 것이다. 결과적으로 충격전의 출력과 전혀 변함이 없었음을 확인할 수 있었으며 본 연구에서 제시된 하우징 설계개념이 출력 smoothness에 미치는 영향은 없었음을 확인할 수 있었다.

5.3 인터페이스에 대한 실험

인터페이스에 대한 실험의 목적은 크게 두가지로 분류된다. 첫째는 포텐시오미터의 출력이 회전 각에 대하여 선형성을 유지하는가를 실험하는 것이며 둘째는 내외부의 잠음 처리가 원만히 이루어져 요구되는 분해능을 만족시키는가를 실험하는 것이다. 이를 위해서는 선행되어야 하는 작업이 있다. 포텐시오미터의 출력은 유효전기각에 인가되는 기준전압에 대하여 포텐시오미터의 슬라이더가 회전한 각에 해당되는 전압으로 검출되는데, 실제로 굴삭기 각각의 작업장치는 포텐시오미터의 유효전기각을 전부 사용하는 것이 아니기 때문에 최대 검출전압이 상대적으로 기준전압에 비하여 낮음으로써 잠음이 상대적으로 큰 영향을 미칠 수 있으며, 또한 컨트롤러를 위하여 A/D 변환을 수행할 경우 A/D변환기의 최대 입력전압을 충족시키지 못함으로써 변환기의 분해능을 전부 이용하지 못하는 결과를 초래하게 된다. 따라서 작업장치 각각에 대한 최대 회전각 범위를 파악함으로써 검출



최대 회전각 범위			132° 16'
엔코더 출력	0° (0)	일때 인터페이스 회로의 출력	0.392V
엔코더 출력	100° (2276)	일 때 인터페이스 회로의 출력	3.730V
감도조정결과(mV/deg)			약35

그림 13. 인터페이스 회로의 감도조정을 위한 장치와 DIPPER에 대한 조정결과

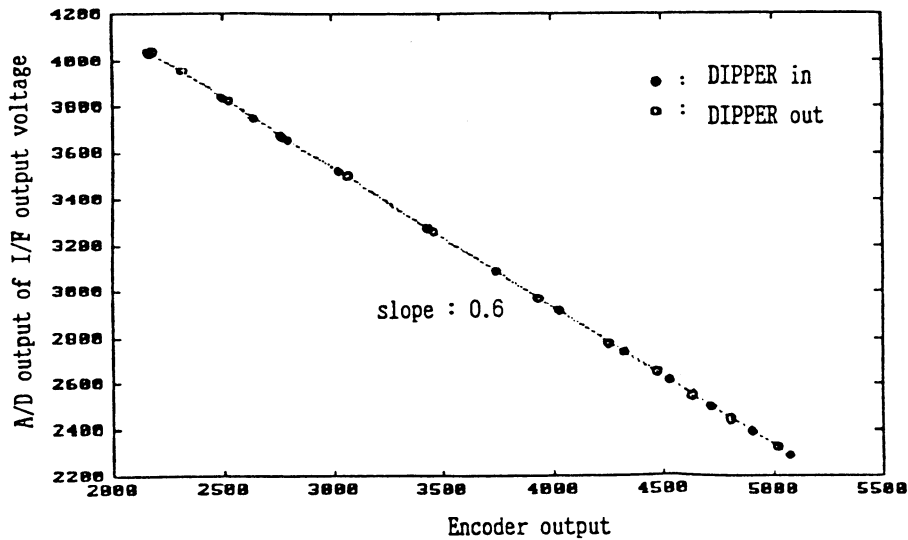


그림 14. DIPPER에 대한 인터페이스 회로의 선형성 검증

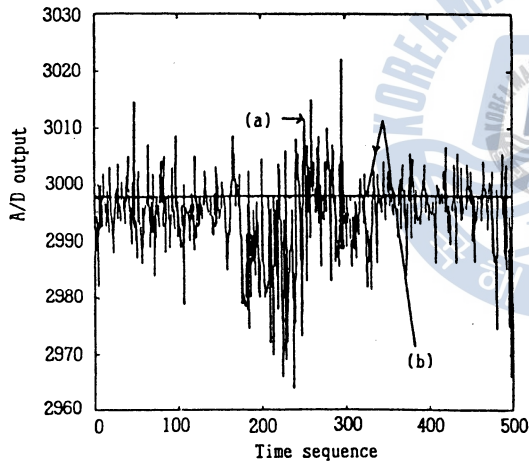


그림 15. 잡음이 출력 smoothness에 미치는 영향

회전각에 비례하는 검출전압의 준위를 높이고 변환기의 분해능을 최대한 활용할 수 있도록 출력전압의 감도를 조정해야 한다.

그림 13은 실험실에서 선형성 0.05%의 포텐시오미터와 8192 펄스/회전의 분해능을 갖는 절대 엔코더(absolute type encoder)를 이용하여 인터페이스 회로의 감도를 조정하기 위한 장치와 기준전압이 5V일 경우 DIPPER에 대하여 감도를 조정 한 결과를 나타낸 것이다.

그림 14는 위와 같이 감도가 조정된 인터페이스 회로를 굴삭기에 장착된 하우징과 연결하고 DIPPER의 회전각을 측정 한 후 선형성의 기준

으로 사용된 엔코더의 출력과 비교하여 나타낸 그림이다.

이와 같은 실험은 수차례에 걸쳐 수행되었으며 거의 유사한 결과를 얻었고, 그림에서는 정확히 평가할 수 없지만 컴퓨터를 이용하여 약 0.02%의 선형성을 얻었으며 포텐시오미터의 정격사양과 굴삭기의 요구사양을 충분히 만족시킴을 알 수 있었다.

그림 12는 인터페이스 회로를 거치지 않은 포텐시오미터의 출력인데 이것을 분해능 12 비트인 A/D 변환기로 부분변환하여 도시한 그림이 그림 15이다.

잡음을 제거하지 않은 포텐시오미터의 출력은 (a)로 나타나 있는데 변환된 값 2997를 중심으로 약 ± 20 정도까지 변하고 있고 출력 smoothness를 아주 나쁘게 함으로써 측정의 정밀도를 0.5% 이하까지 떨어뜨리고 있다. 이러한 잡음은 굴삭기 엔진에서 발생하는 고주파 잡음인 것으로 추측되며, 인

터페이스 회로의 출력단에 바이패스 필터(bypass filter)를 삽입함으로써 제거될 수 있었고 그 때의 출력은 (b)로 나타나 있는데, 1997 ± 1 정도로 변하는 것을 볼 수 있으며, 이 때 출력의 정밀도는 0.02%까지 만족시킬 수 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

굴삭기는 거칠고 험한 작업을 주로 수행함으로써 작업조건과 사용환경조건이 아주 까다롭기 때문에 자동화를 위해서는 작업장치의 위치를 검출하기 위한 전용의 센서를 개발하여야만 한다. 본 연구에서는 굴삭기 작업장치의 회전각 검출을 위하여 상용되고 있는 포텐시오미터를 대상으로 하여 보호용 하우징과 인터페이스 회로를 설계하고 실제의 굴삭기에 부착하여 실험함으로써 전용의 센서를 개발하고자 하였다.

보호용 하우징을 사용하는 목적중 가장 중요한 것은 굴삭기의 작업조건 즉, 과도한 진동과 충격에 대하여 포텐시오미터가 견딜 수 있도록 해 주는 것이다. 굴삭기의 진동과 충격의 형태는 충격이 인가됨으로써 발생하는 잔류진동으로서 불규칙한 진동의 성격이 강하였기 때문에, 하우징의 방진체계는 충격에 대비한 개념으로 설계되었으며 실제의 실험을 통하여 그 효용성이 입증되었다

인터페이스 회로는 회전각에 대한 검출정보가 전압으로 주어짐으로써 잡음의 영향을 많이 받을 소지가 있기 때문에, 포텐시오미터의 선형성과 출력 smoothness를 개선하고, 또한 디지털 컨트롤러를 위해 디지털 출력을 얻어야 할 경우 A/D 변환기의 분해능을 최대한 활용하기 위하여 설계되었는데, 실제의 굴삭기를 이용한 실험을 통하여 그 효능이 입증되었다.

앞으로의 과제는 설계된 전용센서에 대한 내구성 실험을 수행하여 문제점을 분석하고 보완함으로써 완벽을 기하는 것이며, 굴삭기 전용센서의 궁극적인 방향은 유압실린더 피스톤 로드를 적절히 처리함으로써 로드의 선형변위를 검출할 수 있는 강인한 센서를 개발하는 쪽으로 나아가야만 한다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 김종화의 1인, "굴삭기 작업장치의 위치검출 센서 개발," 삼성중공업(주) 1차년도 최종연구보고서, 1992. 2
- 2) 김종화의 1인, "굴삭기 작업장치의 위치검출 센서 개발," 삼성중공업(주) 2차년도 중간연구보고서, 1992. 8
- 3) 조동운, 기계설계편람 상.하권, 대광서림, 1985
- 4) D.E. Newland, *Random Vibrations and Spectral Analysis*, Longman Ltd., 1981
- 5) 上田次男 著, 金榮海 譯, 센서 인터페이싱, No.3, 機電硏究社, 1989
- 6) Howard M. Berlin, *Design of OP-AMP Circuit, with Experiments*, Howard W. Sams & Co., Inc., 1978
- 7) Jacob Millman, *Microelectronics : Digital and Analog Circuits and Systems*, McGraw-Hill Inc., 1979