

굴삭기의 엔진 및 유압펌프 제어시스템의 개발에 관한 연구

(A study on the development of the engine/hydraulic pump control system of excavator)

하석홍* 윤영환* 이일영** 조겸래*** 이진걸**** 황봉동*****
S.H.Ha Y.W.Yoon I.Y.Lee K.R.Cho J.K.Lee B.D.Hwang

*부산대 대학원 **부산수산대 기관학과 ***부산대 항공우주공학과
Pusan National Univ. Pusan Fisheries Univ. Pusan National Univ.
****부산대 정밀기계과 *****삼성중공업
Pusan National Univ. SAMSUNG H. I. Co., LTD.

According to the recent increase of demands for multi-function and economics on hydraulic excavator, it is required that excavator should have simple operation, higher and operational efficiency. However, it is difficult for current hydraulic system to satisfy demands fully. This study shows that new control system improves power transmission efficiency, work capability of engine and hydraulic system of current excavator.

1. 서 론

1.1 연구의 배경

우리나라 건설기계업계는, 최근에 들어와 기계식 건설 장비들의 국산화를 실현하여 비교적 신뢰성 있는 장치를 생산하고 있는 시점에 이르렀다. 그런데 최근 건설기계분야에 새로 진출하는 국내업체들이 급격히 증가하고 있는 반면에, 건설기계에 대한 수입문호는 완전히 개방되었다. 따라서 건설기계분야에 있어서도 국제시장은 물론, 국내시장에서도 그야말로 국제적 경쟁시대를 맞이하게 되었다.

한편, 최근 퍼스널 컴퓨터가 저렴한 가격으로 널리 보급됨에 따라 컴퓨터의 응용분야가 매우 다양해졌다. 이러한 컴퓨터응용의 일환으로 건설기계는 메카트로닉스에 의해 자동화 추세에 있다. 이와같이 메카트로닉스 기술의 응용으로 종래의 기계장치들이 보다 에너지 소모가 적고, 조작성이 간편하며, 작업성이 우수한 장치로 탈바꿈하고 있다. 이것은 메카트로닉스기술이 종래 기계적인 제어 및 조작기구들이 갖는 제어기능의 한계를 쉽게 극복해 주어, 다양한 제어기능을 갖는 제어를 손쉽게 실현해 주기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 현재 사용하고 있는 굴삭기의 엔진 및 유압시스템의 동력전달 효율과 굴삭기 작업성능을 현격히 개선할 수 있는 새로운 제어시스템을 개발하고자 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 제어시스템에서는 굴삭기의 심장부라 할 수 있는 유압펌프를 엔진과 연계하여 제어함으로써 엔진 및 펌프의 능력을 최대한 발휘할 수 있게 하고(Engine speed sensing에 의한 전마력제어), 아울러 굴삭기의 작업모드별로 운전자의 모드 선택에 의하여 에너지 손실을 극소화하며(Mode selection), 굴삭기 작업의 일시 정지시 엔진을 Idle 상태로 유지시키는 Idle제어를 수행하는 제어기를 개발하여 장비의 에너지 효율, 작업효율 및 조작성(운전자의 편의성)을 현격히 개선시키고자 한다.

2.2 현 시스템의 문제점과 개선방안

현재 국내에서 생산하고 있는 굴삭기들은 비교적 우수한 작업성과 안정성을 가지며, 간편한 구조로 정비성 및 조작성도 우수하여 신뢰성있는 장비로 알려져 있다. 그러나 다음과 같은 면에서 아직도 개선의 여지가 있다.¹⁾

- ① 엔진출력을 광범위한 부하영역에서 고도로 활용하는 문제
- ② 미세 조작(경부하)시의 에너지 절약 문제
- ③ 일시적 작업중단시 과도한 유량이 교축로를 통하여서 발생하는 에너지 손실 문제
- ④ 작업중 매우 큰 굴삭력을 필요로 할 때의 조치문제
- ⑤ 운전 및 제어시스템의 모니터링 문제(예: 제어부 전원체크, Buzzer체크, 엔진오일, 냉각수, 작동유의 온도 및 레벨체크, 제어장치 CPU trouble 체크)
- ⑥ 엔진 및 작동유의 순차적 자동 Warming문제

⑦ Bucket조작의 자동화 문제 (예:경사면을 임의의 각도로 끝마무리 하는 조작의 자동화 등)

본 연구에서는 상기와 같은 개선점 가운데에서도 가장 실용상의 가치가 크고, 시급히 해결해야 할 과제인 ①, ②, ③의 문제에 대하여 연구를 수행하고자 한다.

1.2.1 엔진출력을 광범위한 부하영역에서 고도로 활용하는 문제

현재의 굴삭기에서 사용되는 유량제어 장치의 작동원리와, 이러한 제어장치를 사용했을 때의 P ~ Q 곡선은 다음과 같다.

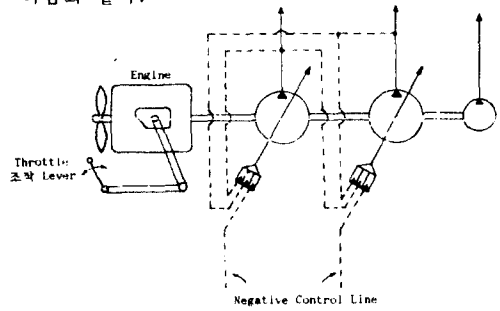


그림 1 유량제어 장치의 원리

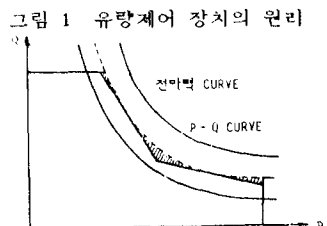


그림 2 펌프의 P ~ Q 곡선

현재의 굴삭기에서는 운전자가 엔진드롬 레버를 Full로 당긴 상태에서 작업을 시작하게 된다. 작업이 시작되기 전에는 Negative control signal (유압회로 상의 fr, fl의 신호)에 의하여 펌프의 유량 및 압력이 매우 낮은 상태에 있게 되지만, 레버를 조작하여 작업을 시작하면 크로스 센싱(Crossensing)에 의하여 그 때의 부하 압력에 P에 일치(Match)되는 유량 Q가 결정되므로 펌프의 출력은 위의 P ~ Q 곡선상에 놓이게 된다. 이것이 현재의 전마력 제어계의 원리이다. 이 제어계에서 엔진의 출력을 최대한으로 이용하려면 엔진의 정격 출력을 위의 P ~ Q 곡선상의 전마력 곡선이 되도록 하면 될

것이다. 그러나 현재의 장비에서는 작업도중 순간적으로 과부하가 작용할 때의 엔진 스톱(Engine stall) 현상, 고산지대등 작업환경 변화에 따른 엔진 출력저하 및 엔진의 경년변화에 따른 출력저하에 대비하여 정격엔진 출력보다 상당히 낮은 값으로 전마력 곡선을 설정하여 사용하고 있다. 따라서 엔진출력을 전마력곡선에 일치시켜 사용하면서도 위에서 말한 엔진 스톱 현상등에 충분히 대처할 수 있는 펌프출력 제어시스템이 개발된다면, 같은 엔진(기존엔진)으로 작업량을 크게 개선할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 위에서 언급한 엔진 스톱 현상등을 야기시킴 없이 항상 엔진 정격출력을 Full로 사용하여 작업성을 극대화시키기 위하여 펌프의 초기 마력설정을 엔진의 정격마력 이상으로 높여두고, 엔진의 Speed sensing에 의하여 엔진에 걸리는 부하를 시시각각 추적하여 디지털 콘트롤러에 의하여 제어신호를 발생시키고, 비례 전자감압밸브를 경유하여 펌프에 가해지는 Negative control 지령압을 무단계로 변화시키는 Engine speed sensing에 의한 펌프출력 제어장치를 개발하고자 한다.

1.2.2 경부하시의 에너지절약 문제

앞에서도 언급한 바와 같이, 현재의 굴삭기에서는 엔진드림을 레버를 Full로 당긴 상태에서 작업을 수행하게 된다. 그런데 굴삭기로 하는 작업은 중굴삭 작업(Heavy duty) (예:암석 파쇄작업, 단단한 지형굴삭작업 등), 경굴삭 작업(Standrad duty) (예:토관 공사, 일반 굴삭작업 등), 미세조작작업(Light duty) (예:정지작업, 운반 및 적재작업) 등이 있으므로 그 때마다 소요압력과 유량이 달라지게 된다. 따라서 현재의 굴삭기에서는 경부하작업의 경우, 레버조작에 의한 드림감압으로 작업속도를 조절하고 있으며, 이렇게 하면 에너지 손실이 많아서 경부하 작업시에도 중굴삭 작업시와 동일한 정도의 연료소모 및 소음이 발생하게 된다. 따라서 작업의 정도에 따라 펌프 및 엔진의 출력을 제어할 수 있다면 이러한 문제점들을 해소할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 작업의 유형을 H(heavy duty), S(standard duty), L(light duty)의 세가지로 구분하여, 작업의 유형에 따라서 펌프 및 엔진의 출력을 H, S, L의 3모드로 설정하고, 작업조건에 따라서 모드선택이 가능하게 하는 Mode selection 제어장치를 개발하고자 한다.

1.2.3 일시적 작업중단시의 에너지 손실문제

작업도중 덤프트럭의 이동을 기다리는 동안의 대기시간 등 엔진을 정상운전 상태에 대기하는 경우가 많다. 이 경우는 무부하라고는 하지만 엔진자체의 공전과 유압의 스텐바이 부하를 위하여 소모되는 연료량은 정격부하시와 큰 차이가 없다. 따라서 작업도중의 대기시 감속운전을 행한다면 에너지 절약 효과와 소음저감의 효과를 거둘 수 있을 것이다. 단, 대기시 감속운전과 정상운전으로의 전환조작이 매우 간편하게 이루어져 작업에 지장을 주지 않도록 유의할 필요가 있다.

본 연구에서는 작업도중 대기시의 Idle운전 방안으로, Auto Idle과 Manual Idle운전이 모두 가능한 제어장치를 개발하여, 다양한 운전자의 요구를 충분히 만족시키면서 에너지 절약효과와 소음절감효과를 거두는 제어장치를 개발하고자 한다.

2. 연구 내용

2.1 PID 제어기 설계를 위한 기초이론

2.1.1 시스템 해석 및 제어기 설계

어떤 시스템의 제어기를 설계하는 데 있어서, 최적의 매개변수를 선정하는 것은 중요한 문제이다. 이러한 문제에 대하여 Ziegler and Nichols에 의한 방법은 가장 간편하고 효과적인 규칙을 제공하고 있다. 여기에는 다음과 같은 2가지의 방법이 있다.^{4~5)}

(1) 개루프 시스템의 스텝응답에 기초한 제어기 계인 설정법

시스템의 응답은 그림 3에서 보는 바와같이 N과 L의 항으로 표시된다. 여기서 N은, 크기가 M인 스텝입력에 대한 응답의 최대기울기이고, L은 시간속과 최대기울기가 교차하는 지점까지의 시간이다. 이 응답에 대하여 Ziegler-Nichols가 제안한 제어기의 계인은 다음과

같다.

$$\begin{aligned} K_c &= M/(NL) && \text{:P제어} \\ K_c &= 0.9M/(NL), T_i = 3.3L && \text{:PI제어} \\ K_c &= 1.2M/(NL), T_i = 2L, T_d = 0.5L && \text{:PID제어} \end{aligned}$$

여기서 K_c , T_i 그리고 T_d 는 제어기계인, 적분시간, 미분시간의 파라미터 값들이다.

이때 PID제어기는 다음과 같이 설계한다.

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

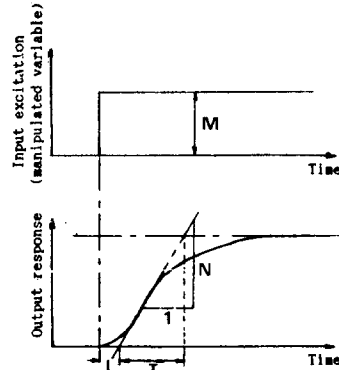


그림 3 개루프 시스템응답 파라미터

(2) 비례제어계의 안정한계에서 얻어진 정보로서 설정하는 방법

비례제어만으로 구성된 폐루프계에서 비례계인을 계속 증가시켜 응답을 실험적으로 구하여, 그 결과를 제어기 설계에 적용하는 것이다.

이때 안정 한계값이 K_{crit} 이고, 불안정 진동의 주기가 P_{crit} 이면, Ziegler-Nichols가 제안하는 제어기의 계인은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} K_c &= 0.5K_{crit} && \text{:P제어} \\ K_c &= 0.45K_{crit}, T_i = 0.83P_{crit} && \text{:PI제어} \\ K_c &= 0.6K_{crit}, T_i = 0.5P, T_d = 0.125P_{crit} && \text{:PID제어} \end{aligned}$$

이상과 같은 방법에 의해서 굴삭기시스템의 동특성을 고찰하고 Ziegler-Nichols의 제 1방법을 적용하여 PID제어 계인을 구하면 다음과 같이 된다.

$$K_p = K_c, K_i = K_c/T_i, K_d = K_c \cdot T_d$$

여기서 K_c , T_i 그리고 T_d 는 각각 비례, 적분 그리고 미분 제어상수들이다.

2.1.2 디지털 PID 제어기 설계

PID제어기는 오차신호 $e(t)$ 에 의해 작동하며 비례제어는 오차신호에 K_p 만 곱한 것이고, 적분제어는 $e(t)$ 의 적분치에 K_i 를 곱한 것이며, 미분제어는 오차신호의 시간 미분치에 비례하는 신호를 만드는 것이다. 이를 디지털 제어하는 방법은 다음과 같다.^{6,7)}

적분제어를 디지털로 나타내기 위하여, 모든 유한한 T 값에 대해 안정한 사다리꼴 적분근사법(Trapezoidal integration approximation)을 이용하였으며, 이 적분기는 다음과 같다.

$$G_i(z) = \frac{T}{2} \frac{z+1}{z-1}$$

여기서 T는 샘플링 타임(sampling time)이다. 미분제어는 1 샘플링 타임(sampling time) 동안의 변화율을 구하는 것이므로

$$\left. \frac{de(t)}{dt} \right|_{t=T} \approx \frac{e(kT) - e((k-1)T)}{T}$$

으로된다.

이를 Z변환하면, 디지털 미분제어기의 전달함수는

$$G_d(z) = K_d \frac{z-1}{Tz}$$

이상의 디지털 PID제어기를 블록선도로 나타내면 다음과 같다.

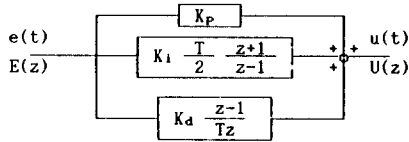


그림 4 Digital PID controller

따라서 PID제어기 전달함수 $G_c(z)$ 는 다음식으로 표시된다.

$$\begin{aligned}
 G_c(z) &= G_p(z) + G_i(z) + G_d(z) \\
 &= K_p + K_i \frac{T}{2} \frac{z+1}{z-1} + K_d \frac{z-1}{Tz} \\
 &= \frac{(K_p + K_i T/2 + K_d/T)z^2 + (-K_p + K_i T/2 - 2K_d/T)z + K_d/T}{z(z-1)} \\
 &= \frac{K_1 z^2 + K_2 z + K_3}{z^2 - z}
 \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned}
 K_1 &= K_p + \frac{K_i T}{2} + \frac{K_d}{T} \\
 K_2 &= -K_p + \frac{K_i T}{2} - 2 \frac{K_d}{T} \\
 K_3 &= \frac{K_d}{T}
 \end{aligned}$$

이다. 여기서 $G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)}$ 이므로

$$\frac{U(z)}{E(z)} = \frac{K_1 z^2 + K_2 z + K_3}{z^2 - z}$$

로 나타낼 수 있고,

$$U(z) = z^{-1}U(z) + K_1 E(z) + K_2 z^{-1}E(z) + K_3 z^{-2}E(z)$$

이다. 위 식을 역 Z 변환을 취하면

$$u(k) = u(k-1) + K_1 e(k) + K_2 e(k-1) + K_3 e(k-2)$$

이다. 이 차분 방정식(Difference equation)을 프로그램으로 작성한 것이 디지털 제어기이다.

샘플링시간의 선정은 일반적인 방법에 의하여 결정하였다.⁷⁾ 즉,

$$\frac{T}{T_d} = 0.1 \sim 0.5$$

여기서 T_d 는 미분시간이다. 위와같이 구한 샘플링시간은 5msec에서 10msec까지 선정할 수 있다.

2.1.3 굴삭기 시스템의 동특성

제어기 설계를 위해서는 우선 시스템의 동특성을 관찰할 필요가 있다. 따라서 그림 2-3과 같이 릴리프밸브를 조정하여 부하압력을 설정한 후, 비례전자감압밸브 전용 Amp에 펌프출력에 과부하를 유도하는 스텝입력을 가하여, 엔진의 회전수 저하를 유발시키고, 그 응답을 엔진에 설치되어 있는 교류발전기(Alternator)의 파형을 전압으로 변환시키는 F/V변환기의 전압을 측정하여 그림 2-4과 같은 결과를 얻었다.

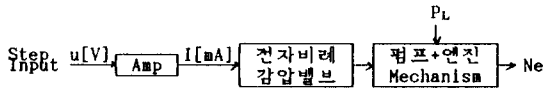


그림 5 굴삭기 시스템의 동특성 측정 방법

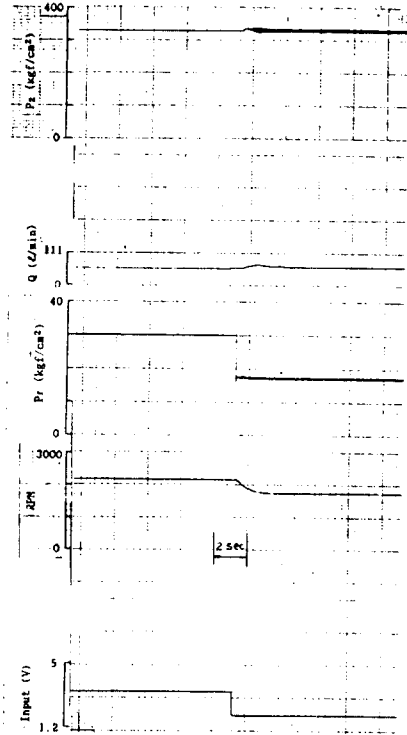


그림 6 굴삭기의 동특성 실험결과 ($M=1.4[V]$, $N=1.06[V]$, $L=0.13[sec]$)

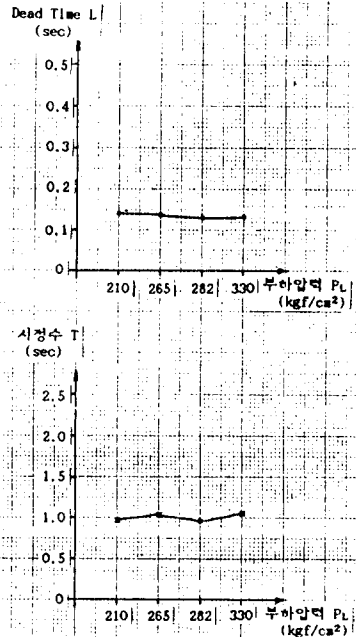


그림 7 굴삭기의 동특성 실험결과 분석

2.2 Engine speed sensing 에 의한 펌프제어

2.2.1 펌프제어의 원리

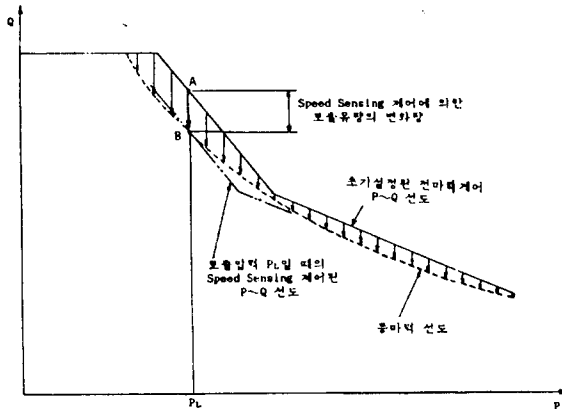


그림 8 Speed sensing의 P ~ Q 선도

유압굴삭기에 탑재된 유압펌프는 대부분 가변용량형으로, 펌프의 흡수마력을 일정하게 해서 엔진의 출력에 일치시키도록 한 종래의 크로스센싱 방식만으로도 어느 정도의 목적은 달성되어 왔다. 그러나 작업운전 조건, 엔진의 경년변화 등을 고려해서 정격점보다 낮게 설정하여 사용함으로써 엔진의 출력을 효율적으로 사용하지는 못하였다. 이와같은 문제는 외부환경요인에 따라 수시로 적정의 경년변화를 변화시켜줌으로써 해결할 수 있을 것이다. 즉 펌프의 초기마력 설정을 엔진 정격마력 이상으로 높게 설정하여, Power shift 지령암이 무단으로 가해지도록 제어하여, 엔진의 출력을 100% 쓸 수 있도록 한다. 그림7에서 보는 바와 같이 펌프의 초기마력 설정을 엔진의 최대출력 곡선인 점선으로 표시된 등마력선 이상으로 설정과 같이 설정하여 둔다. 이와같은 상태에서 작업시 조작레버를 풀(full)로 당겨 최대유량을 토출하도록 하여 운전하면, 굴삭기가 PL의 부하를 받을 때에는 그림7의 A점에 상당하는 엔진 출력이 요구되나, 엔진의 최대출력 곡선은 B점상에 있으므로 과부하가 걸리게되어 그 결과로 엔진의 회전속도가 감소하게 된다. 제어기에서는 미리 설정된 B점 상에서의 정격회전수를 목표회전수로 설정해두고, 과부하로 인해 저하된 엔진의 실제회전속도와 비교하여 발생하는 오차의 크기를 계산하여, 그 정도에 따라서 펌프의 감마력을 위한 전류를 비례전자감압밸브에 공급하여 비례전자감압밸브의 2차 압력을 높여 펌프의 사판의 경년변화를 줄여줌으로써 모출유량을 감소시켜(A점에서 B점으로 이동) 엔진의 출력과 같아지도록 한다.

2.2.2 제어계 구성

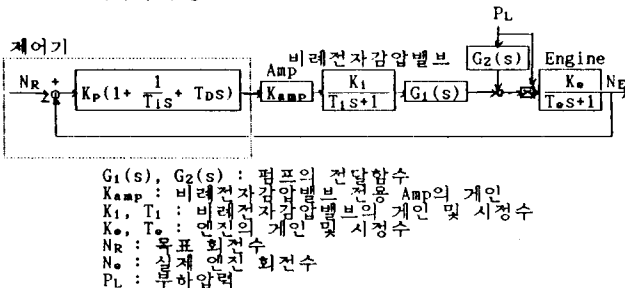


그림 9 Speed sensing 제어계의 블록선도

Engine speed sensing에 의한 펌프제어를 위해, 그림 9와 같이 제어계를 구성한다. 그림에서 보는 바와 같이 마이크로컴퓨터는 엔진의 속도를 검출하여 PID 디지털 연산하여, 제어입력을 산출하여 앰프(Amp)에 출력한다.

2.3 작업내용에 따른 모드선택 기능

펌프에 허용된 입력과 토출량, 작업조건에 따라서 선택할 수 있도록 한 것이 모드선택 기능이며, H, S, L-MODE의 세가지가 있다. 엔진의 드로플(Throttle)을 스텝모터(Step motor)로써 조정할 수 있도록 하였으며, 엔진과 펌프를 원터치(One-touch) 형식으로 제어할 수 있도록 하여 스위칭의 간편성을 도모하였으며, 작업내용에 따라서 엔진의 출력과 연료의 소비를 효과적으로 사용할 수 있도록 하였다.

2.3.1 H-MODE (중공작 작업)

운전자가 H-MODE를 선택한 경우 앞에서 설명한 Engine speed sensing에 의한 연산전류가 제어기에서 출력되어, 사판의 경년변화를 증감하여 엔진의 출력마력과 펌프에 가해진 마력이 같도록 하여, 엔진출력마력의 100%를 사용할 수가 있으므로 작업량(또는 작업속도)을 크게 향상할 수 있다.

2.3.2 S-MODE (경부하 작업)

모드 선택스위치를 S-MODE로 전환하면, 엔진의 출력 및 펌프의 출력을 공히 1할 정도 낮게 사용하도록 하였다. 이와같이 엔진 및 펌프의 출력을 저하시켜 사용함으로써, 종래의 중공작작업상태에서 경부하작업을 행하였을시 발생하는 연료소모 및 소음등을 저감시킬 수 있도록 하여, 엔진출력을 효율적으로 사용하고 동력손실을 절감하도록 하였다.

이때 작업모드 전환시 야기 될 수 있는 과부하 (예를 들면, 작업레버를 완전히 당겼을 때, 즉 최대유량을 토출시 H-MODE에서 S-MODE로 전환하는 경우 엔진의 출력을 먼저 감소시킬 때 발생한다.)를 방지하도록, 작업모드 전환방향에 따라 엔진과 펌프의 우선전환 순위를 결정하여 안전한 운전이 될 수 있도록 하였다. 또한 작업 조건이나 운전자의 요구에 따라 엔진의 출력을 조절할 수 있도록 엔진 드로플(Throttle)조절용 스텝모터를 미세조정할 수 있는 UP/DOWN 스위치를 별도로 장치하여 운전자의 선택범위를 넓게 함으로써 작업내용에 따라 엔진 출력을 효율적으로 사용할 수 있도록 하였다.

2.3.3 L-MODE (미세조작 작업)

L-MODE를 선택할 경우 S-MODE에서와 같이 엔진의 최대출력을 제한한다. 이 경우 미세조작작업을 하기 위해서는 작업속도를 느리게 할 필요가 있으므로, 별도의 장치에 의해 전자밸브를 구동하여, 펌프의 저압부하 상태에서 최대유량을 제한할 필요가 있다.

2.4 IDLE 기능

유압굴삭기에 탑재된 엔진은 무부하시에는 정격회전수보다 높은 회전수로 운전된다. 이때는 엔진자체 및 유압펌프의 마찰력에 의한 동력손실이 발생한다. 이 손

실은 엔진회전수가 높을수록 크게 된다. 따라서 무작업상태가 일정시간 계속 될 때에는 엔진을 무부하상태로 운전해서 무효동력을 저감시킬 필요가 있다. 이것은 제어기에 무작업 신호가 입력되면, 펌프출력을 L-MODE상태로 저하시킴과 동시에 엔진의 회전수를 Idle상태로 유지시켜 에너지 손실을 방지하고, 소음을 저감시킬 수 있도록 하였다.

3. 제어기의 제작 및 실험

3.1 PC를 사용한 제어기 구성

굴삭기 탑재용 마이크로 컴퓨터를 제작하기 전에, 제어기의 논리구조 및 응답성등을 시험하기 위하여 16 bit 퍼스널 컴퓨터를 이용하여 제어기설계를 하였다.

제어기와 굴삭기 시스템간의 정보통신을 위하여 PCL-712 Multi-Lab Card를 사용하였으며, 스위치조작을 위해 PCLD-718 16 Channel Opto-isolated D/I Board와 A/D, D/A 및 D/O를 위한 PCLD-780 Screw Terminal Board를 사용하였다. 여기서 스위치는, Mode Selection 기능 스위치, Limit 스위치, S-MODE에서의 UP/DOWN 스위치 그리고 Auto 및 Manual Idle 스위치로 구성되어 있다.

제어기의 동작상태를 알아보기 위하여 각각의 출력포트의 파형을 오실로스코프, 디지털 및 아날로그멀티미터로 측정하였으며, 엔진의 출력파형은 함수발생기를 F/V 변환기와 연결하여 목표회전수 근방에서 수동으로 파

형을 조작하여 응답성능을 점성적으로 점검하여 시뮬레이션을 행하였다.
 이상과 같이 PCL-Board를 16bit 퍼스널 컴퓨터에 장착하여 제어계의 하드웨어를 구성하였으며, 그 구성도는 다음과 같다.

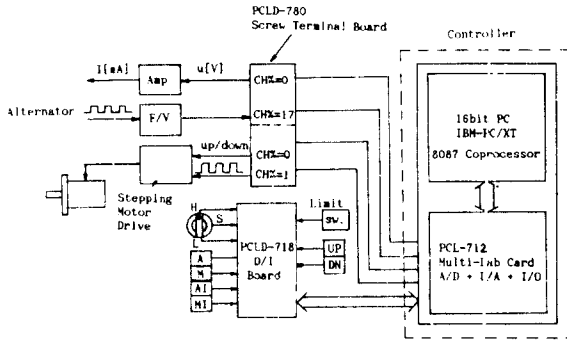


그림 10 16bit PC 에서의 제어기의 구성

3.2 실험결과

3.2.1 실험장치 구성 및 실험방법

이상과 같이 구성된 제어기를 굴삭기에 장착하여 제어성능을 측정하기 위하여 그림1 과 같이 실험장치를 구성하였다.

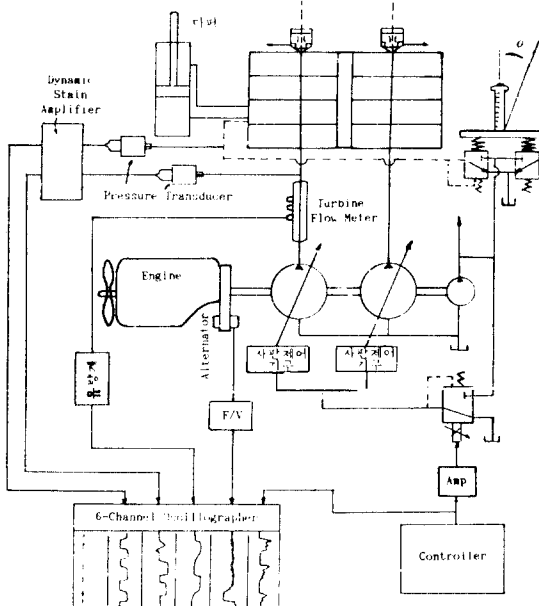


그림 11 실험장치 구성도

측정장치는 부하압력, 토출유량, 파이롯트압력, 회전수 그리고 제어입력을 동시에 플랫폼할 수 있도록 6-channel oscillograph를 사용하여 실험결과를 기록하였다.
 실험은 먼저 작동레버를 중간(half)위치로 당겨 부하압력을 릴리프밸브설정압력까지 상승시킨 상태에서, 레버를 풀(full)의 위치까지 스텝적으로 당겨 엔진에 과부하를 걸고, 2차로 레버를 무부하 상태로 놓은 다음 역시 풀(full)의 위치까지 당겨서 그때의 제어성능 및 작동상태를 측정하여 실험하였으며 굴삭기에 제어기를 장착한 전체 구성도는 그림12과 같다.

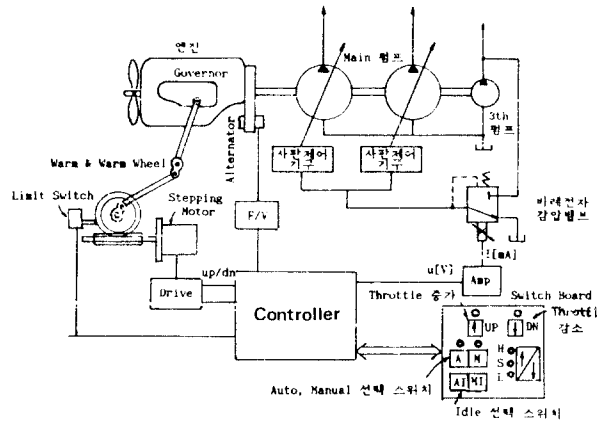


그림 12 제어를 굴삭기에 장착한 전체 구성도

3.2.2 실험결과

동특성 측정으로 얻어진 계수로서 실험한 결과 엔진의 회전수 및 유량은 상당히 양호한 결과를 보였으나 목표회전수가 정격회전수보다 낮게 토출됨으로써 결과적으로 엔진의 출력을 100% 사용하지 않게 되는 결과로 되었으며, 또한 제어입력에 상당한 채터링을 수반하여 불안정을 초래할 우려가 있었다. 따라서 최대유량을 토출할 수 있도록 목표회전수를 정격회전수로 수정하였으며, 이후 수차례에 걸친 실험으로 PID제어계수를 보정하여 실험을 행하였다.

PID제어계수는 먼저 디지털제어의 포화성질 즉, 최소 1.7 [V], 최대 5[V]의 한계와 D/A 변환시의 잡음등에 영향을 받은 오차신호의 과대한 증폭 및 미분에 의해 야기되었다고 판단되는 채터링 현상을 없애기 위해 비례 제어상수 및 미분제어상수를 각각 하향조정하여 실험하였으며 릴리프밸브로 설정한 부하압력변동에 따라 PID제어계수를 변화시켜가며, 샘플링시간이 5msec, 10msec의 경우도 나누어 실험하여 최대회전수저하량과 정상상태오차량을 분석하여 최적계인을 구하여, 부하압력, 파이롯트압력, 유량, 회전수 그리고 제어입력 특성선도를 그림 13에 나타내었다.

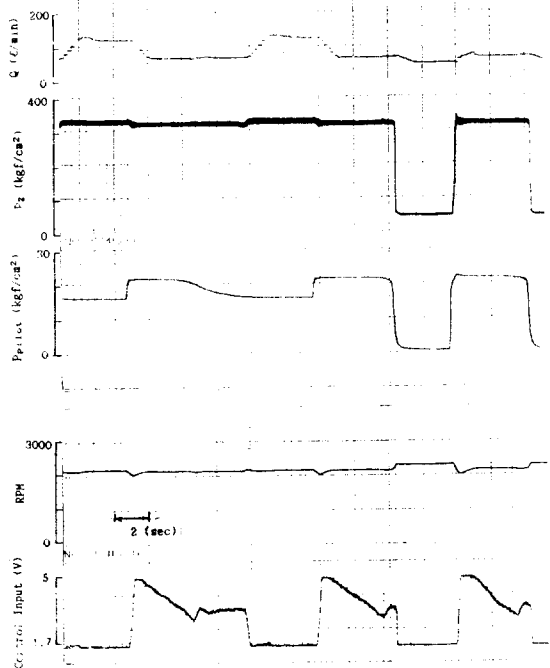


그림 13 수정된 제어계인으로 실험한 결과

($K_p=6, K_i=40, K_d=0.06, \text{Sampling Time}=10 \text{ msec}$)

4. 결 론

유압굴삭기의 성능개선을 위하여 동특성을 해석하여 Engine speed sensing에 의한 전마력 제어, Mode selection에 의한 부하에적응하는 장비의 운전제어, Idle제어를 수행하는, 굴삭기의 엔진 및 펌프 제어시스템을 개발하여 굴삭기에 장착하여, 그 성능을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었으며 현재의 굴삭기에 장착할 경우, 선진국 제품에 대해 국제시장에서 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 기대된다.

1. Engine speed sensing 제어를 통하여 엔진출력마력을 최대로 이용할 수 있게 되어 굴삭기의 효율을 극대화할 수 있었다.
2. 작업내용에 따라 펌프 및 엔진의 출력을 조절하여 사용할 수 있게 되어 부하에 적응하는 장비의 운전이 가능하게 되었다.
3. Idle 기능으로 무부하상태에서의 동력손실 및 소음을 줄일수 있게 되었다.

5. 참고문헌

1. 藤本吉明, 林 憲彦, 西本利弘, "油壓 ショベルとメカトロシステム", 파워-디자인, 第25卷, 第9號, pp.26~46, 1989.
2. 官岡 論, 野依辰彦, "KOBELCO-Yutani NEW マークII 油壓ショベル", KOBE STEEL ENGINEERING REPORTS, VOL.38, NO.3, pp.26~29, 1988.
3. 青柳幸雄, 一山修一, 中村弘康, 和泉銳 機, "動力系の電子制御による低燃費形油壓ショベルの開発", 日立評論, VOL.66, NO.11, pp.53~58, 1984.
4. J.Schwarzenbact, K.F.Gill, "System Modelling and control", Edward Arnold,1978.
5. YASUNDO TAKAHASHI, MICHAEL J.RABINS, DAVID M. AUSLANDER "CONTROL AND DYNAMIC SYSTEMS" ADDISON-WESLEY, 1972.
6. B.C.KUO, "Digital Control systems", HRW, 1980.
7. Karl J. Astrom, Bjorn Wittenmark, "Computer Controlled Systems" Prentice-Hall, 1984.
8. 김영준, "마이크로 컴퓨터에 의한 전기-유압 속도 제어 시스템의 PID제어" 고려대학교 석사학위 논문, 1985.