

정 호 성^o 産業科學技術研究所 制御研究部
강 명 조 浦項製鐵 設備管理部 電氣技術課

Identification of control system of No.1 Plate Mill in POSCO

Ho-Seong Jeong RIST Control Research Lab.
Myung-Jo Kang POSCO Maintenance Dep.

ABSTRACT

On the rolling mill plant, the quality of products depends on the ability to follow up the command of roll speed and the magnitude of impact drop. In this paper, the frequency response method is applied to the main motor system of No.1 Plate Mill Plant in POSCO. This paper shows the influences when the pseudo random noise as test signal is applied to the system to be measured and presents the proper magnitude of test signal.

1. 序論

제어계의 識別 방법은 impulse response, step response 등 여러 가지가 제안되어 있다. 하지만, 製鐵 플랜트, 특히 壓延 驅動 制御係에 대한 실제적인 식별법은 아직 확립되어 있지 못하다.

압연 플랜트에서는 Roll 回轉 速度의 目標值에의 推從性과 압연제 선단이 Roll 에 물러들어갈 때 생기는 impact drop 양에 따라 製品의 品質이 크게 左右된다. 이와 관련하여 압연재의 물림에 관한 부하 토오크 外亂을 推定하여 feedforward 보상으로 impact drop을 개선한다든지, 直流機와 Roll이 剛體로 結合된 압연기에 대해 종래의 PI 방식에 의한 estimator를 병용한 속도 제어계 등이 제안되었었다. 그러나, 압연 구동계의 전체 제어적인 안정도를 만별하고 그 40%로부터 제어계의 異常有無의 類型을 體系化한 것은 발표된 바 없다. 따라서 동적인 상태에서의 시스템 특성을 정확히 파악할 수 있다면, 突發의 故障이나 事故를 미연에 預備하여 궁극적으로는 제품 품질에 寄與할 것이다.

본 연구에서는 直流機와 壓延 Roll이 彈性的으로 結合된 浦項製鐵 1厚板 壓延 Roll 驅動 制御係를 周波數 應答 側面에서 조사하여, 제어계의 異常有無를 類型別로 判別할 수 있는 基準의 定立 및 制御係 測定 方法의 體系의 인 基礎를 確立하고자 한다.

2. 1厚板 壓延 系 驅動係 識別

2.1. 1厚판 압연 系 驅動係의 構成

보장계 및 1厚판 압연 구동계는 그림1과 같이 구성되어 있으며 motor는 용량 문제 때문에 top 및 bottom의 2臺의 直流機로 구성되어 있다. motor는 正方向 1回 壓延한 후 逆方向으로 1回 壓延하는 방식으로 통상 16 pass의 압연을 3분 정도 실시하고 있으며, 가장 긴 pass도 4초를 초과하는 경우는 없다.

2.2. impulse testing

원래 周波數 應答은 실험적으로 시험 대상에 여러 주파수의 正弦波 信號를 가해 그 出力의 定常 應答에 의해 入力 信號와 的 振幅比, 位相差를 測定하여 구해지는 것이나, 경우에 따라서는 입력 신호의 발생, 출력 신호 測定上의 制約으로 인해 step response, impulse response 등의 過渡 應答을 實測하여 나온 데이터를 갖고 계산하여 주파수 응답을 구하기도 한다.

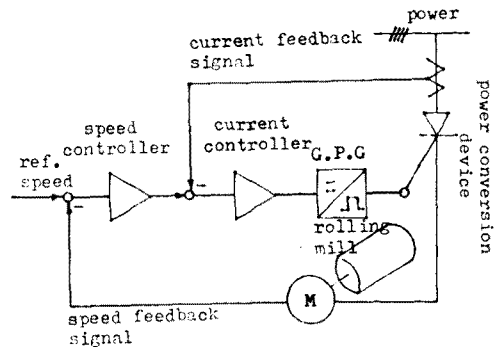


그림1. 1厚판 압연 구동계의 구성
Fig.1. Configuration of rolling mill system of No.1 Plate mill

impulse testing 기법은 시스템 자체에서 발생하는 電氣의 雜音이 있을 경우 시스템 파라메터를 결정해주나 實際에 있어서는 使用 不可能하다. 왜냐하면, 첫째, 시스템에 가해지는 impulse가 진짜 impulse라든 그것의 duration은 매우 짧으며 작은 에너지를 가지며, 둘째, 시스템 자체에 의해 발생하는 random noise는 시스템에 가해지는 impulse의 효과를 불투명하게 한다. 이와 같은 문제점은 impulse와 수학적특성이 같은 random noise를 가해줌으로써 극복될 수 있다. 그림 2에 실제 시스템에 적용한 블록도를 나타내었다.

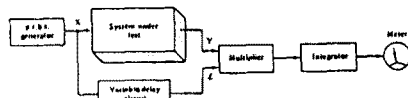


그림2. impulse testing 블록도
Fig.2. Block diagram of an impulse testing

포항제철 1후판 압연 ROLL 구동계의 식별에 관한 연구

여기서의 문제점은 pseudo random noise 가 正常 操業 상태의 1후판 압연계에 影響을 미치지 않고 제대로 識別 가능한 test noise 의 크기는 어느 정도인가, 그리고 후판은 가역 roll 시스템이므로 기준 입력에서 step change 될 때 위의 방법에 의한 식별이 유효한가 등이다. 본 연구에서는 有効한 識別을 위한 test noise 크기를 찾아내는 것으로 限定하였다. 본 연구 수행에 사용된 계속 장비는 FFT 分析 裝置로서 處理 過程은 그림 3과 같다.

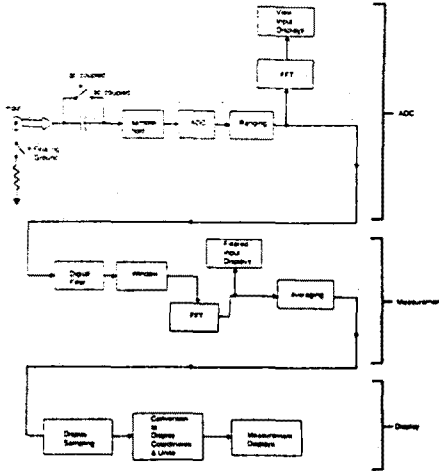


그림 3. 신호 측정 개요
Fig. 3. Overview of measurement process

실험시 Hanning window를 사용하였다. window를 통과한 데이터는 측정될 준비가 다 된 것이다. 인가한 入力를 $x(t)$, 出力을 $y(t)$ 라 하고, 이것의 Fourier 변환을 각각 $X(f), Y(f)$, 傳遞函數를 $g(t)$ 혹은 $G(f)$ 로 두면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 Y(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau) x(t-\tau) e^{-j2\pi ft} d\tau dt \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \int_{-\infty}^{\infty} x(t-\tau) e^{-j2\pi f(t-\tau)} d(t-\tau) \\
 &= G(f) \cdot X(f)
 \end{aligned}$$

여기서 $G(f) = G_{xy}/G_{xx}$ 이다. G_{xy} 는 cross spectrum이고, G_{xx} 는 power spectrum이다. FFT 분석 장치의 實驗環境 적용시 가장 큰 문제점은 압연 구동 제어계는 동작 영역이 50 Hz를 넘지 않는 低周波帶이므로 FFT 演算에 必要한 데이터의 양을 모두 받는 데는 時間上的 制約이 따른다.

2.3. 1厚板 壓延 驅動 Motor 制御係에 대한 實驗

본 연구의 대상 플랜트인 포항제철 1厚板 工程은 壓延 工程이다. 압연 플랜트에서는 noise의 影響이 심하다. 이것을 극소화하려면 average 외수를 늘려야 하나 현실적으로 불가능하다. 압연 공정에서는 壓延材의 材質 및 自轉條件이 거의 同一한 경우가 많다. 본 연구에서는 측정 range를 바꾸어 거의 類似한 壓延 상태하의 1후판 main motor에 대해 시험을 하였다.

그림 4는 時間 領域에서 본 인가 試驗 信號이다. 이 인가 시험 신호는 FFT 分析 裝置에서 발생되며, 基準 速度 變에 1/10 감쇄기를 통하여 가해진다. tachometer를 통해 나온 출력 신호가 각시 FFT 分析 裝置로 入力되어 분석된다. 그림 5-a는 각각 基準值, 鐵道 信號值, 壓延 時間을 나타내며 그림 5-b는 그림 5-a에 대응한 motor top 부의 周波數 應答으로서 주파수 범위는 25 Hz이며, 시험 신호의 크기는 0.4 V이다.

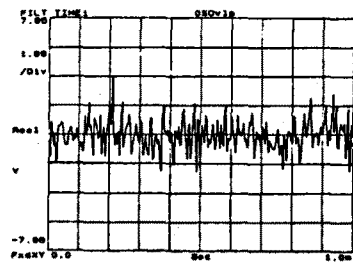


그림 4. FFT 분석 장치의 시험 신호
Fig. 4. Test signal of FFT analyzer

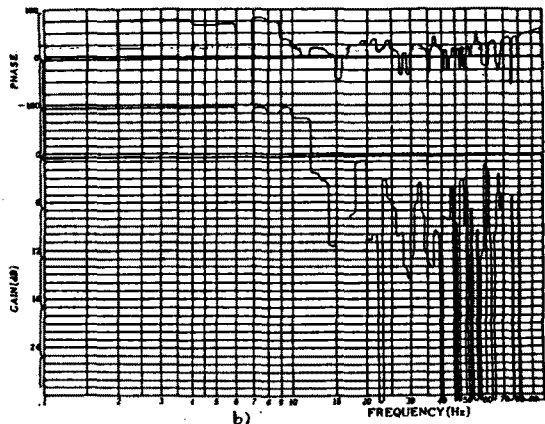
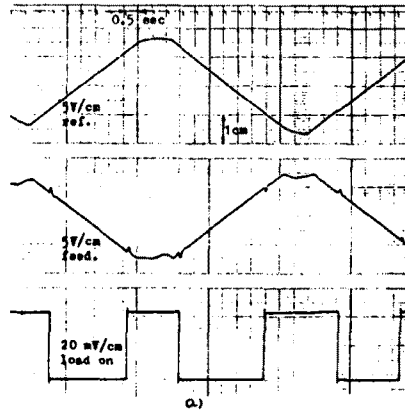
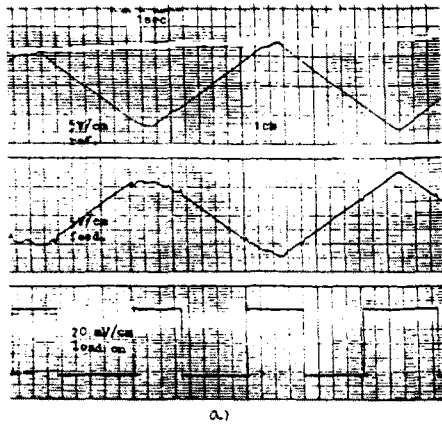


그림 5. a) 1후판 압연계의 전압 파형
b) 1후판 압연계의 주파수 응답
(주파수 범위 25 Hz, 0.4 V 시험 신호)
Fig. 5. a) Voltage wave forms of rolling mill system
b) Frequency response of rolling mill system
(25 Hz range, 0.4 V test signal)

그림 6-a, 6-b는 주파수 범위를 100Hz, 시험 신호 크기를 3.2 V로 한 경우이다.

本 研究에 사용된 FFT 分析 裝置는 한 번의 FFT 演算에 512 개의 data가 필요하다. 그리고 25 Hz 범위에서 512 data를 얻는 데에 20 초가 필요하다. 100Hz 범위에서는 5 초가 소요된다. 따라서 1 pass 압연 시간이 긴 경우도 4 초 정도인 것을 감안하면 data의 獲손이 예상된다. 1 pass 압연이 무負荷 압연이 3 초에서 10 초 정도 이루어진 다음 앞서의 압연 방향과는 反對로 압연이 이뤄지는 것이 反覆된다. 그림 5의 경우 측정 영역이 25 Hz이므로 full data를 받는데 20초가 소요된다. 따라서 1 pass 압연 시간이 긴 경우도 4 초 정도인 것을



a.)

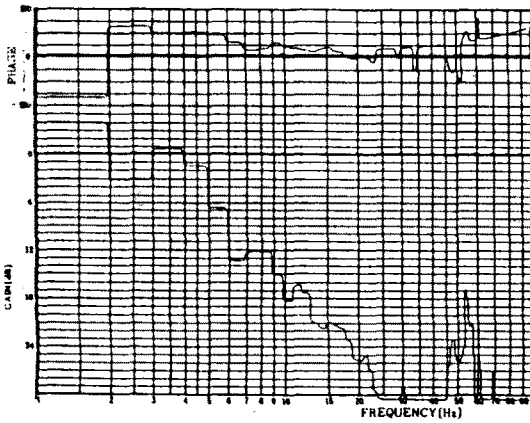
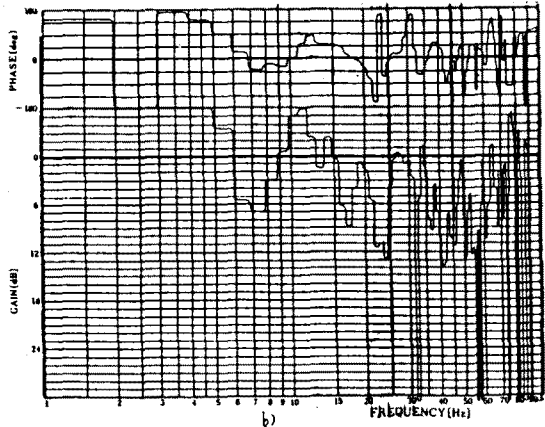
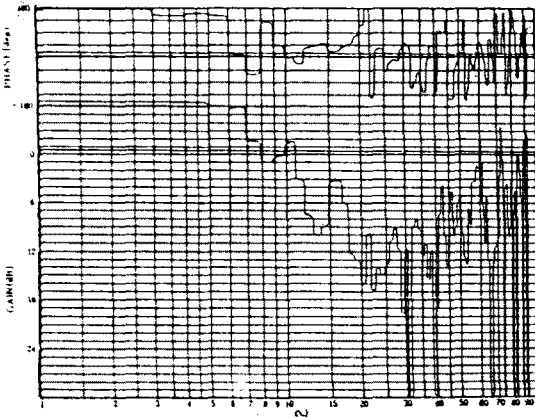


그림 6. a) 1 후판 압연계의 전압 파형
 b) 1 후판 압연계의 주파수 응답
 (주파수 범위 100 Hz, 시험 신호 3.2 V)
 Fig.6. a) Voltage wave forms of rolling mill system
 b) Frequency response of rolling mill system
 (range 100 Hz, test signal 3.2 V)

간하면 data의 왜곡이 예상된다. 1 pass 압연 이후 無負荷 운전이 3 초에서 10 초 정도 이루어진 다음 앞서의 압연 방향과 反對로 압연이 이뤄지는 것이 反應된다. 그림 5의 경우 속보 영역이 25 Hz이므로 full data를 받는데 20 초가 소요된다. 이 경우 정방향 압연, 후부하 압연, 역방향 압연을 모두 포함하므로 data가 훼손될 수 밖에 없다. 그림 7-a는 시험 신호가 0.8 V, 그림 7-b는 0.4 V이며 둘 다 100 Hz 범위에서 거의 같은 압연 조건하에서 실험이 행해졌다. 그림 7-b의 경우 소변이 거의 제대로 될 수 없음을 보여주고 있다.



b.)

그림 7. 1 후판 Motor 구동계 주파수 응답
 a) 주파수 범위 100 Hz, 시험 신호 0.8 V
 b) 주파수 범위 100 Hz, 시험 신호 0.4 V

3. 結論

본 연구에서는 補項製鐵 1 厚板 壓延 Roll 驅動 Motor 의 Top 및 bottom 부분에 대하여 시스템 識別을 위한 實驗을 한 결과 다음의 결론을 얻었다. 시험 신호 인가시 操業上의 影響을 考慮하여 가능한 작게 하였으나 어느 정도 이하인 경우 전혀 식별이 불가능하였으며, 1 후판의 경우 1/10 감쇄기 사용시 3 V 이상일 때라야 식별이 가능하였다.

본 연구 수행시 未解決인 試驗 信號의 上限線 規程 및 시스템 식별에 解釋의 方法의 導入 등을 후부 계속 연구하여 全 壓延 line의 識別을 正確하게 해내면 最適 壓延 條件의 導出이 可能할 것이다.

參考文獻

1. H. Rake, "Step response and Frequency response method", AUTOMATICA, Vol. 16, 1980, pp. 519-526
2. K. R. Goffrey, "Correlation methods", AUTOMATICA, Vol. 16, 1980, pp. 527-534
3. 齊藤制海, 吉沢 豊, 石田敏一, 村上榮輔, "L. Q. I. 技法による圧延機速度制御系の外乱抑制", 電氣学会論文誌 B, Vol. 103, No. 9, 1983, p. 634
4. 吉沢 豊, 齊藤制海, 石田敏一, 村上榮輔, "L. Q. I. 技法による圧延機速度外乱抑制制御系の設計", 第26回自動制御連合講演會資料, No. 3014, 1983, pp. 345~344.
5. 齊藤制海, 石田敏一, 吉沢 豊, 村上榮輔, 高竹好一, "圧延機の L. Q. I. 逆変換制御系とパラメータ同定器", 電氣学会論文誌 B, Vol. 105, No. 3, 1985, pp. 257~264.
6. 幸田一弥, 井口雅彦, "モデル追従形サーボコントローラによる直流電動機の制御", 電氣学会論文誌 B, Vol. 106, No. 3, 1986, pp. 217~224.
7. Fitzgerald, Kingsley, Kusko, Electric machinery, McGraw Hill, 1971
8. Mische Schwarz, Leonard Shaw, Signal processing, McGraw Hill, 1974