

Hyundai 8608 Robot 제어기 파라미터 튜닝 방안 연구

김미경(울산대학교)*, 윤천석(울산대학교 대학원),
강희준, 서영수, 노영식(울산대학교), 손홍래(현대자동차)

A Study on the Control Parameter Tuning Method of the Hyundai 8608 Robot

Mi-Kyung Kim(UOU), Cheon-Seok Yoon(Graduate School, UOU),
Hee-Jun Kang, Young-Soo Suh, Young-Shick Ro(UOU), Hong-Rac Son(Hyundai Motor Company)

ABSTRACT

This work proposes a controller tuning method of a Hyundai 8608 robot in order to improve its performance. For this, we analyzed the control structure of the robot, and the functions of all the adjustable parameters in the robot controller with a reference NACHI Technical Report. Through the analysis, we found out that 3 important parameters(VRRL, VRF, VRGIN) act like a conventional PID gains and other parameters are closely related to these 3 parameters. Conclusively, parameter tuning of these 3 parameters is enough in most cases of applications with other parameters fixed. The conventional PID tuning is performed to each joint of the test robot with Robot Performance Evaluation System(shown in our companion paper) so that the acceptable gain ranges for each joint are determined and then the robot performance tests are repeatedly done with the combination of the acceptable gains. Finally, the best combination is selected for its best performance. For the effectiveness of the proposed method, it was implemented on a Hyundai 8608 robot and its results are compared with the results of NACHI Semi-Auto Tuning Method and the results which are done by a tuning expert with his eyes.

Key Words : Controller Tuning Method(제어기 튜닝 방안), a Hyundai 8608 Robot Controller(현대 8608 로봇 제어기), Robot Performance Evaluation System(로봇 성능 평가 시스템), Each Joint Motion(각축동작), the allowable combination of controller gains(적용가능한 gain 의 조합).

1. 서론

현대 자동차(Hyundai Motor Company) 생산 라인에는 현재 수백 대의 HYUNDAI ROBOT (NACHI 8608) 이 설치·운용 중이며, 현재 생산 라인에서 충분히 제 역할을 하고 있는 NACHI 8608 의 사용횟수는 15 년 안팎이다. 각 로봇의 성능을 제시하는 지표가 없으므로 생산 라인에 투입 중인 로봇에 대한 폐기처분의 근거를 마련하기 어렵고 오버홀(overhaul)의 수행이 필요한지의 여부와 오버홀 수행 전과 후의 로봇의 성능 차이에 대한 평가 또한 전무하다.

로봇의 오버홀(Overhaul)이란 로봇과 제어기를 각 부품 단위로 분해하여 오염 등을 제거하고 고장난 부품은 고장이 없는 부품으로 교환하는 등의 작업으로 제조업 후의 제어기 파라미터 조정 작업을 포함한다. 최적의 로봇 성능을 보장하기 위하여 오

버홀의 최후에 수행되는 파라미터를 조정하는 바로 이 작업을 로봇 튜닝이라 하며 로봇 성능 평가 시스템의 개발 이전에는 목적(目標)에 의존하였다.

본 연구는 로봇 재활용을 위하여 오버홀이 수행된 로봇을 다시 생산공정에 투입하기 전에 반드시 거쳐야 하는 로봇 튜닝 및 성능 평가 중에서 로봇 튜닝에 관한 내용을 다룬다.

먼저, NACHI 8608 로봇의 제어 시스템을 분석하고 속도 관련 조정기를 포함하고 있는 UM794 보드의 회로를 분석한다. NACHI Technical Report로부터 제어기 내부의 모든 조정 단자에 대한 기능을 이해하고 제어기 튜닝 방안을 검토한다. 모의실험을 통하여 제어기 파라미터의 기능을 확인한다. 로봇 제어 시스템과 회로 분석, 모의실험의 결과를 토대로 바람직한 로봇 튜닝 방안을 제안한다.

로봇 튜닝은 제대로 진행되고 있는지를 파악하면서 지속되어야 하므로 로봇 성능 평가와 병행되

어야 한다. 기 개발된 로봇 성능 평가 시스템"을 이용하여 각축의 성능을 보장하는 제어기 파라미터들을 구한 후 ISO 9283 에 따르는 성능 평가를 수행하여 로봇과 개발 알고리즘의 성능을 입증한다.

2. 로봇 제어기 튜닝

2.1 로봇 제어 시스템

NACHI 8608 AM 11 의 제어흐름도는 Fig. 1 과 같다. Fig. 1 에서 UM704 은 제어기의 메인보드인 UM705 에서의 위치지령과 모터 인코더(encoder)로부터의 위치 FEEDBACK 을 연산하여 속도지령을 UM794 로 보내는 인터페이스(interface)이다. UM794 는 UM704 에서의 속도지령과 모터 타코제너레이터(tachogenerator)로부터의 속도 FEEDBACK 을 연산하여 전류지령을 UM793 으로 출력한다. UM793 는 UM794 에서 출력된 전류지령과 전류검출기의 전류 FEEDBACK 을 연산하여 PWM 회로를 제어한다.

특히, 속도지령을 입력받아 전류지령을 출력하는 UM794 는 VRRL, VRGIN, VRF 등의 속도관련조정기(volume)들을 가지고 있다. 이들 조정기에 대한 자세한 내용은 NACHI Technical Report: AM 10 M/C docking⁶ 에 소개되어 있다.

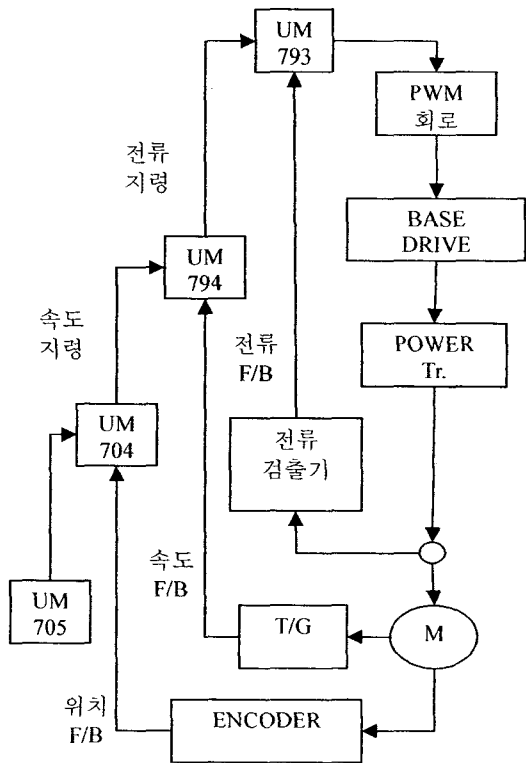


Fig. 1 Block Diagram of NACHI 8608 AM 11 Controller

2.2 속도 관련 조정기

로봇 각축의 SERVO AMP UNIT 과 속도관련조정기는 Fig. 2 와 같다. NACHI 8608 AM 11 의 보수설명서 (F)조정설명서와 AM 10 M/C Docking(Tuning) 지침으로부터 3 개의 주요 속도관련조정기를 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) VRRL: PID 게인의 P 게인에 해당하는 조정기로서 모터제어기의 가속과 정지특성을 좌우한다. 조정은 주로 정지특성만을 고려하여 오버슈트(overshoot) 직전까지 최대한 CW 방향으로 돌린다.

2) VRF: PID 게인의 D 게인에 해당하는 조정기로서 모터제어기의 정지특성을 좌우한다. CW 방향으로 돌리면 시스템이 안정되지만 응답성은 나빠진다

3) VRGIN: PID 게인의 I 게인에 해당하는 조정기로서 적분회로의 게인을 조정한다. CW 방향으로 돌리면 응답성이 좋아지고 Servo Lock 도 강하게 되지만 시스템이 불안정해진다.

두 개의 볼륨 VRF 와 VRGIN 의 상반된 역할로부터 시스템의 안정을 보장하면서 응답성이 좋은 볼륨조합을 구하기 위해서는 VRF 를 CW 방향으로 최대한으로 돌려 시스템을 안정시키고, VRGIN 을 한 단계씩 상승시켜가면서 오버슈트가 발생하지 않는 최대한의 VRRL 을 구하면 된다. VRF 를 한 단계씩 내려가면서 앞의 과정을 반복하여 최적의 볼륨 조합을 찾아낸다.

NACHI 8608 AM11 의 보수설명서 (F)조정설명서와 AM 10 M/C Docking(Tuning) 지침에 따른 Tuning 순서는 다음과 같다.

- 1) VRF 는 최대 눈금 10 에 맞춘다.
- 2) VRGIN 은 가운데 눈금 5 에 맞춘다.
- 3) VRRL 을 CW 방향으로 돌려가면서 오버슈트 직전까지 맞춘다.
- 4) VRGIN 을 CW 방향으로 한 눈금 돌리고, VRRL 을 CW 방향으로 한 눈금씩 돌려 오버슈트 직전까지 맞춘다. 이 과정을 반복한다. 단, VRGIN 은 눈금 8 까지만 하고, 그 위로는 올리지 않는다.
- 5) VRRL 및 VRGIN 조정 완료 후, VRF 을 CCW 방향으로 돌려가면서, 정지직전의 떨림이 없고 정지시간이 최소가 되도록 조정한다.

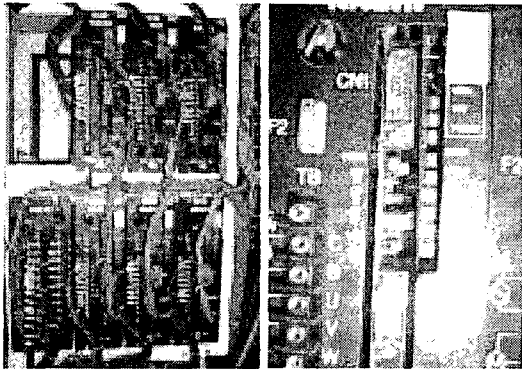


Fig. 2 A Power Amp Unit and Six Servo Amp Units in NACHI 8608 AM 11 Controller.

2.3 모의실험에 의한 제어기 튜닝 방안 검토

NACHI 8608 AM 11의 UM794의 회로도를 참고하여 Fig. 3 과 같이 제어기를 설계하였다. 속도관련 조정기의 기능을 확인하기 위하여 6 개의 볼륨조합에 대한 모의실험을 수행하였으며, 그 결과를 Figs. 4~6 에 나타내었다. Fig. 4 는 같은 볼륨조합에 대하여 부하가 달라질 경우의 결과로서 부하가 증가함에 따라 오버슈트가 발생함을 보인다. Fig. 5 의 왼쪽 그림은 부하에 의해 발생한 오버슈트를 VRF 의 값을 크게 함으로써 없앨 수 있음을 보이며, 오른쪽 그림은 VRRL 의 증가로 응답성이 다소 좋아짐을 보인다. Fig. 6 은 VRGIN 의 기능을 보이는데 그 값이 큰 경우에는 작은 VRRL 의 증가에 대하여 오버슈트가 발생함을 알 수 있다. Figs. 4~6 에서 위 그림들은 Theta Input=1 에 대한 Theta Output 이며, 아래 그림들은 Theta Velocity Output 이다.

로봇 제어기 회로와 NACHI Technical Report를 분석하고 제어기 모델에 대한 모의실험의 결과로부터 NACHI 8608 AM 11의 튜닝은 일반적인 제어기의 PID 계인을 튜닝하는 것과 같음을 알 수 있다.

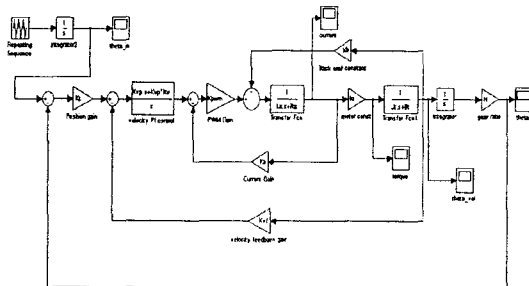


Fig. 3 A Model of the the Robot Controller with the Gain K_p (VRRL), K_{vi} (VRGIN), K_{vp} (VRF).

따라서, 일반적인 모터 제어기의 튜닝 방식인 지정된 게인 값에 따른 로봇 성능을 파악하고 재조정하는 방식으로 로봇 제어기를 튜닝한다. 이는 NACHI AM M/C Docking 방법과 일치하는 결론이기도 하다.

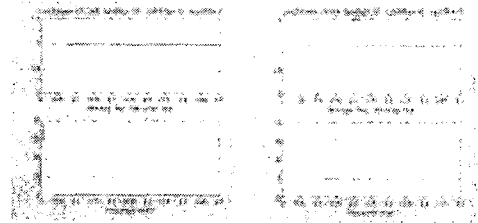


Fig. 4 Result for VRRL=100, VRGIN=10, VRF=10 (Left) Load=0.002 , (Right) Load=0.01

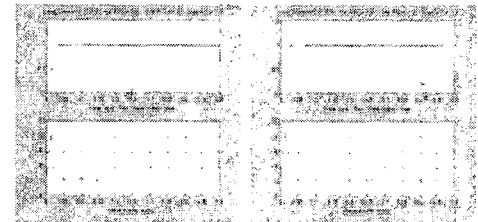


Fig. 5 (Left) Result for Load=0.01, VRRL=100, VRGIN=10, VRF=100, (Right) Result for Load=0.01, VRRL=120, VRGIN=10, VRF=100

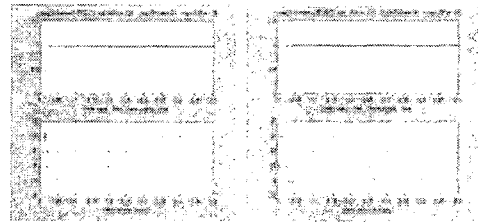


Fig. 6 (Left) Result for Load=0.01, VRRL=120, VRGIN=80, VRF=100 (Right) Result for Load=0.01, VRRL=125, VRGIN=80, VRF=100

3. 로봇 성능 평가 시스템을 이용한 제어기 최적 튜닝 및 평가

3.1 각축 동작에 의한 볼륨조합 선정

로봇의 각축의 SERVO AMP UNIT 의 VRF, VRGIN, VRRL 을 로봇의 최적 성능을 보장하는 값으로 조정하기 위하여 로봇의 각축 동작을 시험한다. 로봇의 각축 동작을 시험하기 위한 지령포즈는 Table 1 과 같다. 각 축의 지령포즈 중에서 P0 는 로봇의 Home Position 으로서 로봇의 S 축, H 축, V 축, R2 축, B 축, R1 축의 관절각(joint angle)이 각각 0°, 90°, 0°, -90°, 0°, -90°으로 공통이다. PI 과 P2 는 로봇 성능 평가 시스템의 조사큐브 내에서 허용되는 각

축의 최대한의 음과 양의 관절각이다. VRF=8, 9, 10에 대하여 VRGIN=5,7.9와 VRRL=3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 9의 볼륨조합으로 각축 동작을 시험하였다.

로봇의 각축 동작에 대한 성능 평가 결과로부터 위치 반복 정밀도가 우수하고 위치 오버슈트가 없는 각축 별 볼륨조합은 Table 2와 같다.

Table 1 Command Pose P0, P1, P2 for each joint motion (unit: degree)

	S 축	H 축	V 축	R2 축	B 축	R1 축
S_P0	0	90	0	-90	0	-90
S_P1	35	90	0	-90	0	-90
S_P2	-35	90	0	-90	0	-90
H_P0	0	90	0	-90	0	-90
H_P1	0	40	0	-90	0	-90
H_P2	0	135	0	-90	0	-90
V_P0	0	90	0	-90	0	0
V_P1	0	90	25	-90	0	0
V_P2	0	90	-50	-90	0	0
R2_P0	0	90	0	-90	0	-90
R2_P1	0	90	0	0	0	-90
R2_P2	0	90	0	-180	0	-90
B_P0	0	90	0	-90	0	-90
B_P1	0	90	0	-90	50	-90
B_P2	0	90	0	-90	-50	-90
R1_P0	0	90	0	-90	0	-90
R1_P1	0	90	0	-90	0	0
R1_P2	0	90	0	-90	0	-180

Table 2 Selected Volume Set for each Joint(Joint-VRRL-VRGIN-VRF).

S-6.0-9.9	H-4.5-7-10	V-5.0-9-10	R2-7.5-9-8 [Case1]	B-7.0-9-9	R1-7.5-9-9
			R2-7.5-7-9 [Case2]		
		V-5.0-9-8	R2-7.5-9-8 [Case3]		
			R2-7.5-7-9 [Case4]		
	H-5.0-7-8	V-5.0-9-10	R2-7.5-9-8 [Case5]		
			R2-7.5-7-9 [Case6]		
		V-5.0-9-8	R2-7.5-9-8 [Case7]		
			R2-7.5-7-9 [Case8]		

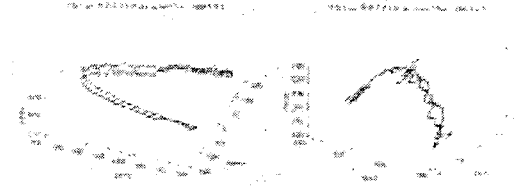


Fig. 7 (Left) Joint Motion and Command Pose for Joint S, (Right) Joint Motion and Command Pose for Joint H.

3.2 성능 평가

로봇의 각축 동작에 대하여 우수한 성능을 보이는 볼륨조합들(Case1~Case8)과 오버홀 업체가 제안한 볼륨조합(Case9) 그리고, Semi-Auto Mode(SA1~SA3)에 대한 로봇 성능 평가를 수행하였다. Semi-Auto Mode는 로봇 컨트롤러가 제공하는 기능으로서 각축의 볼륨을 VRRL(3)-VRGIN(9)-VRF(9)으로 시작하여 로봇이 시험포즈를 취하는 동안 그 값을 컨트롤러가 자동으로 맞추는 방식이다. Semi-Auto Mode에서의 성능 평가는 3회를 연속하여 실시하였다. 오버홀 업체가 제안한 볼륨조합은 다음과 같다.

S-5.2-10-10	H-3.8-9-4.5	V-4.5-9.5-9.2	R2-8-10-9.5 [Case9]	B-7.5-9-9.5	R1-8-10-7
-------------	-------------	---------------	---------------------	-------------	-----------

선정된 볼륨조합으로 측정된 결과에 대한 성능 평가와 오버홀 업체가 제안한 볼륨조합으로 측정된 결과에 대한 성능 평가, 그리고, Semi-Auto Mode로 3회 연속 측정된 결과에 대한 성능 평가를 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 Sum*는 위치 반복 정밀도의 최대값(maxRP)와 한계구간:0.5mm에 대한 위치 오버슈트의 최대값(maxPOS), 한계구간:반복정밀도에 대한 위치 오버슈트의 최대값(maxPOS2), 최소포즈시간(MPT)를 더한 값이며 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Sum}^* = \text{maxRP} + \text{maxPOS} + \text{maxPOS2} + \text{MPT}$$

maxRP, maxPOS, maxPOS2는 길이 단위(mm)이고, MPT는 시간 단위(sec)이나, 모두 크기가 작을수록 좋은 로봇 성능을 제시하므로 각각의 성능을 더하여 하나의 값(성능 지수: performance index)인 Sum*으로 정의하였다. Table 3에서는 순위도 함께 제시하고 있는데, 비교란의 가위표시(x)는 해당 볼륨조합에 대한 로봇의 위치 반복 정밀도가 0.5mm 이상이거나 위치 오버슈트가 지나치게 크게 평가되었음을 의미한다. Table 3으로부터, 로봇 성능 평가 시스

템이 제안하는 위치 반복 정밀도, 위치 오버슈트, 최소 포즈 시간에 대한 최선의 볼륨조합은 밑ase3?이며 Case1, SemiAuto, Case9 순으로 나온 로봇 성능이 평가되었음을 알 수 있다.

Table 3 Ranked Volume Set

	Max RP	Max POS	Max POS2	MPT	Sum	비고	Rank
Case1	0.20	0.00	0.02	5.67	5.89		2
Case2	0.38	0.65	0.64	5.63	7.30	x	
Case3	0.25	0.00	0.01	5.27	5.52		1
Case5	0.64	0.00	0.00	5.23	5.87	x	
Case7	0.14	0.61	0.97	5.63	7.35	x	
Case8	0.37	0.95	1.09	5.63	8.02	x	
Case9	0.23	0.00	0.02	7.00	7.23		6
SA1	0.19	0.00	0.01	5.79	6.00		4
SA2	0.13	0.00	0.02	5.83	5.98		3
SA3	0.21	0.00	0.03	5.87	6.10		5

4. 결론

ISO 기준에 따른 성능 평가를 통하여 노후 로봇의 재활용 가능 여부를 판단하고 문제점을 파악하여 조치할 수 있는 로봇 성능 평가 시스템을 바탕으로, 로봇의 각축의 SERVO AMP UNIT 의 VRF, VRGIN, VRRL 을 로봇의 최적 성능을 보장하는 값으로 조정하는 로봇 튜닝 알고리즘을 다음과 같이 개발하였다.

- 1) NACHI 8608 로봇의 제어 시스템과 UM794 보드 회로를 분석하였다.
- 2) 제어가 내부의 모든 조정 단자의 기능을 이해하고 제어가 튜닝 방안을 조사하였다.
- 3) 제어가 모델을 설계하고 모의실험하여 조정 단자에 대한 기능을 확인하였다.
- 4) 로봇의 각축의 동작을 로봇 성능 평가 시스템을 이용하여 시험하고 각축의 SERVO AMP UNIT의 VRF, VRGIN, VRRL의 최적값을 구하였다.
- 5) 튜닝이 완료된 로봇은 ISO 9283에 따라 그 성능을 평가하여 튜닝 알고리즘의 우수함을 입증하였다.

기 개발된 로봇 성능 평가 시스템과 본 논문의 로봇 튜닝 알고리즘은 대상 로봇의 작업 영역과 작업 내용에 따라 다양하게 응용될 수 있다. 특히, 자동화 생산라인에 설치·운용 중인 로봇을 튜닝하고 그 성능을 평가하고자 한다면 평가의 범위

와 평가의 내용을 적절하게 축소하고 수정하여 사용할 수 있다.

후 기

본 연구는 산업자원부 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터(NARC)의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. KS B 7082: 1999 (ISO 9283: 1998) 산업용 로봇의 특성·기능 측정 방법, 한국표준협회, 1999.
2. KS B ISO/TR 13309: 2002 산업용 로봇 ? ISO 9283 에 따른 로봇 성능 평가를 위한 시험 장비 조작 및 측정 방법, 한국표준협회, 2002.
3. Nachi Robot 8000 AM10, AM11 Controller Maintenance Manual, Nachi-Fujikoshi Corporation.
4. Axyz Training Manual for Trackers, Version 1.4.0, Leica Geosystems Ltd, 2000.
5. eM - Workplace Training (ROB 100), Tecnomatix Technologies Ltd., 2000.
6. Nachi Technical Report: AM 10 M/C docking.
7. 강희준, 김미경, 윤천석, 재활용 로봇 보증 시스템 개발, ? 산학특별과제 최종보고서, 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터(NARC), 2004.