

신경 회로망을 이용한 Relay 작동전압 조정 자동화 시스템 개발

*국 금환, **최 동엽^o

*경상대학교 제어계측공학과, **한국기계연구소 로봇트 공학실

Development of Automation System
for Relay On/Off Voltage Adjustment Using Neural Network

*Kuk Kum Hoan, **Choi Dong Yup

*Kyung Sang Univ. Control & Measurement Dept., **KIMM Robotics Lab.

Abstract

The automation system oriented as one of the second year automation projects for the small and medium sized enterprises(SME) was developed for the improvement of the production rate and cut the required manpower in the field of the relay which is one of the small electric components used in various industrial fields.

The objectives of this study are not only improving the international competition of the relay itself but also partially solving the technical and financial problems featured by common bottlenecks of the SME for efficient assembly automation. For the purpose of these objectives, several topics are studied as followings.

- Analyzing the adjustment process and determining the specification of the automation system.
- Determining the layout for the automation system to meet the determined specification.
- Detail design of the automation system for relay adjustment and inspection.
- Control system design.
- Automation system development and performance test.

1. 서론

가공 공정이 자동화를 통하여 비교적 높은 생산성을 달성하고 있는 반면, 조립 공정의 자동화 정도는 극히 미미하여 제품의 경쟁력 향상을 위한 자동화의 추진이 시급함에도 불구하고, 중소기업의 경우 여러가지 기술적, 경제적 이유로 인하여 자동화가 효율적으로 추진되지 못하고 있는 실정이다.

국내 중소기업에서 주로 생산하고 있는 소형 relay는, 주요 소재의 수입과 인건비 상승, 그리고 낮은 생산성 등의 내적인 이유와 일본을 비롯한 경쟁국들의 높은 가격 경쟁력이라는 외적인 이유로 인하여 제조업체의 사양화 가능성도 커서, 생산 합리화 정책이 절실히 요구된다. 특히 relay의 생산공정 중에

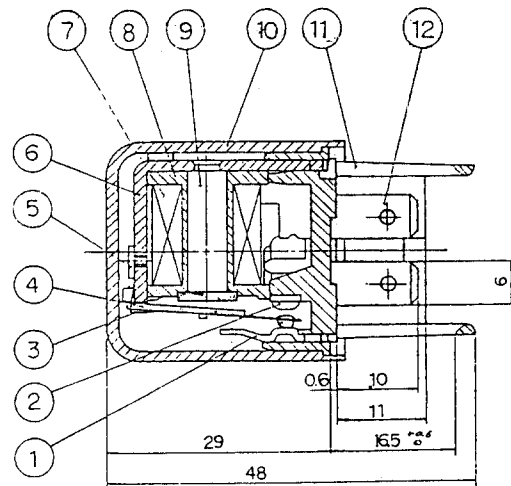
서, 자동화가 추진되고 있는 공정도 여러가지가 있기는 하지만, 조정과 관련된 것은 거의 수작업에 의존하고 있는 데, 이것은 자동화에 있어서의 난이성과 경제성 때문이라 할 수 있을 것이다.

본 연구는 relay의 생산 공정 중에서 제품의 성능에 큰 영향을 미치는 relay의 동작 전압 및 복귀 전압의 조정을 자동으로 수행하기 위한 것으로서, 부분적으로나마 중소기업 자동화에 대한 기술적 문제점의 해결을 시도하고, 자동화에 대한 조직적, 체계적인 접근을 통하여, 국내 조립 자동화 시스템 개발 능력의 향상을 도모하고자 한다.

2. 개념 설계

2.1 자동화 대상 작업의 분석.

대상제품은 자동차용 power relay로서, 그 구조는 그림 1.과 같다. 실제로 작동을 하는 부위는 가동접점으로서, 구조도에서



1. Stopper 2. Contact 3. A/R Spring 4. Armature
5. Screw 6. Yoke 7. Coil 8. Bobbin
9. Core 10. Case 11. Base 12. Terminal

그림 1. 대상 Relay의 구조.

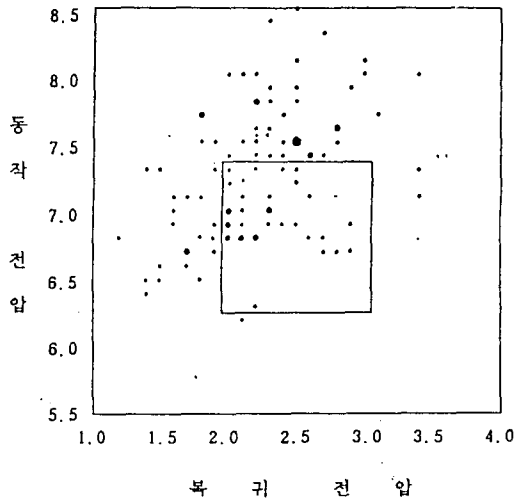


그림 2. 동작 전압 및 복귀 전압의 분포.

보는 바와 같이, A/R spring의 상태(spring 각도, 접점부위의 휨)와 고정접점의 조립 상태에 따라 Relay의 동작 특성이 달라지게 된다. 이러한 상태는 core 및 A/R spring 도금 두께, rolling 및 조립 등의 조립과정에서 발생하는 오차, 고정접점 간의 간격 등, relay를 구성하는 여러 가지 부품의 상태에 따라 달라지게 된다.

현재로서는 이러한 많은 요인에 의하여 변동되는 동작, 복귀 전압을 조절하기 위하여 작업자가 동작과 복귀전압을 검사하여 경험에 따라 핀셀을 이용하여 relay의 A/R spring에 소성 변형을 가하여 특정의 동작범위내에서 relay가 작동하도록 한다. 즉 relay 부품간의 상호 위치나 변형 상태 등은 고려하지 않고, 최종 목표가 되는 동작, 복귀 전압만을 고려한다

Relay의 단자 조정 방법을 결정하기 위하여 현재 생산되는 relay의 동작 및 복귀 전압의 분포를 검사하여 그림 2에 나타내었다. 여기서 나타난 양상을 보면, 주된 불량 상태는 높은 동작전압 혹은 낮은 복귀 전압이기 때문에, 원하는 전압 범위를 얻기 위해서는 이 두 가지에 대한 조정 작업으로 대부분의 relay를 조정할 수 있다. 그러나 일반적인 경우를 고려하면 동작 전압과 복귀 전압의 높고 낮음에 따라 8가지 종류의 불량 상태가 발생하므로, 이에 대처할 수 있도록 system이 구성되어야 한다.

현장의 작업자는 경험을 바탕으로, 그림 3에서 볼 수 있는 4가지의 기본 동작으로 조정작업을 수행하고 있다. 그림 3의 ①과 ②는 동작 전압을 하강 혹은 상승시키고, ③과 ④는 동작과 복귀 전압을 동시에 하강 혹은 상승시킨다. 그러므로 동작 전압만이 높거나 낮든지, 동작과 복귀 전압이 동시에 높거나 낮으면 ①②③④중의 1개의 동작으로 조정이 가능하다. 그러나 그 이외의 경우에는 그림 4에서 보는 바와 같이 2개의 조합된 동작에 의하여 원하는 전압을 얻을 수 있다. 그림 4는 현재 수작업에 의한 조정방법을 도식화한 것이다.

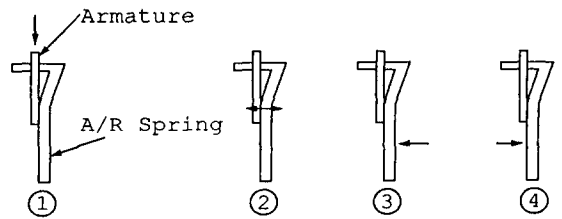


그림 3. Relay 조정 작업을 위한 4가지 기본 동작

		동작 전압		
		높다	양호	낮다
복귀 전압	높다	[Circuit diagram showing high return voltage and high action voltage]		
	양호	[Circuit diagram showing good return voltage and good action voltage]		
	낮다	[Circuit diagram showing low return voltage and low action voltage]		

그림 4. 각 경우의 조정 방법.

2.2. 자동화 방안.

조정 작업을 자동화하기 위해서는 다음과 같은 사항에 대한 해결책이 마련되어야 하며, 앞에서 분석된 내용을 바탕으로 제시하는 자동화 방안은 다음과 같다.

① 기본 조정 기능 : 앞에서 작업자의 작업 방법에 대하여 기술하였다. 즉 그림 3의 4가지 방법에 의하여 조정이 가능하고 실제로 수행되고 있으며, 그림 4를 보면 어떠한 경우이던지 그림 3의 4가지 중 1개 혹은 2개의 조합에 의하여 조정될 수 있음을 알 수 있다. 따라서 이 기능들을 기계화하여 기본 조정기능으로 한다.

② 조정기의 구조 : 그림 4에서 보는 바와 같이 조정방법은 기본 조정기능을 요소로 하는 두 개의 집합, $S1 = \{\phi, ①, ②\}$ 과 $S2 = \{\phi, ③, ④\}$ 에서 각각 1개씩의 필요한 요소를 선택하여 만들어진 기본 기능의 조합이다. 따라서 $S1$ 의 요소 기능을 수행할 수 있는 조정기 1대와 $S2$ 의 요소 기능을 수행할 수 있는 조정기 1대로서 모든 경우에 대처할 수 있다. 두 대의 조정기는 step motor에 의하여 구동 되는 2축 robot 2대에 의하여 실현하도록 하고, 각 기능을 수행할 수 있는 end effector를 제작한다.

③ 조정 rule : 앞에서 언급하였듯이 relay의 동작 및 복귀 전압은 여러가지 요인에 의하여 변화하므로, 전압 조정을 위한 조정기의 구동량을 결정하기 위한 rule을 간단히 결정되기는 어렵다. Relay의 동작 및 복귀 전압의 조정을 위한 rule을

작성하기 위하여 기계화된 시스템의 특성 추출을 위한 실험을 수행하고, 신경회로망을 이용하여, 최적화된 조정 rule를 작성한다.

2.3. 자동화 System의 Layout과 Cycle time의 결정

Relay 조정작업을 자동으로 수행하기 위해서는 다음과 같은 요소들이 필요하다.

- ① 이반송 기구
 - i) Input side
 - ii) 각 station 간 이동
 - iii) Output side : 양품, 불량품
 - iv) 조정 불가능 relay 분리
- ② Test 기구(조정전, 조정후 각 1대씩)
- ③ 조정기 2대
- ④ Relay fixture (relay socket 포함)
- ⑤ Controller

이와 같은 요소로 이루어지는 작업장은 크게 나누어 linear type와 rotary type의 2가지로 분류할 수 있다. 공통점은 작업장 안으로 투입된 relay가 test, 조정 1, 조정 2 그리고 test로 이루어지는 1 cycle의 동작이 sequential하게 진행되는 것이며, 다른 점은 1 cycle의 작업이 끝난 후 rotary type에서는 재조정이 가능하다는 것이다.

우선 이반송 기구에 대하여 살펴보면 입력부는 양, 불량 판별기에서 불량으로 분류된 relay가 공급되는 line의 연장으로 볼 수 있다. 각 station 간 이동을 위해서는 복수개의 gripper가 장착된 공압 manipulator 혹은 fixture가 설치된 conveyor system 등을 고려할 수 있고, test 기구에서 자동 조정 불가능으로 판단된 relay를 분리하기 위해서는 conveyor system을 사용하는 경우에는 별도의 기구를 필요로 하게 된다. 출력부는 조정 완료 relay와 불량 relay를 분리하여 공급할 수 있도록 두 개의 반송 장치를 필요로 하게 된다.

Test 기구에서는 relay가 fixture에 고정되면 socket을 통하여 통전되므로 즉시 test를 하게되고, 일차적으로 자동 조정이 불가능한 relay는 분리시키며, 자동조정이 가능한 relay에 대해서는 그 조정량을 조정기에 송신하게 된다. 이와 같은 작동은 두대의 조정기에 대하여 동시에 수행되고 조정기에서는 각 relay에 대한 정보를 기억하였다가 해당 relay가 도착되면 그 data를 이용하여 조정 작업을 수행한다. 조정기는 2축의 직선 sliding unit로 구성되며 step motor에 의하여 구동된다. 2축은 전후운동및 상하운동으로 이루어져 그림 2.의 4가지 동작을 수행할 수 있다. relay fixture는 test및 조정 작업을 수행할 수 있도록 relay를 고정시켜 주며 전기적인 연결을 해 준다.

Controller에서는 위에서 설명된 모든 동작의 sequential control과 step motor 구동, 그리고 test 기구에서 측정된 동작 및 복귀전압을 이용하여 조정기의 구동량을 결정하여 주게 된다.

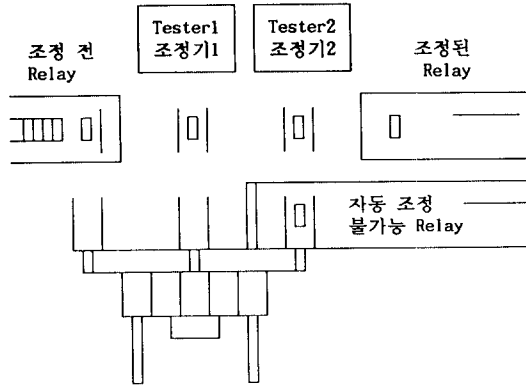


그림 5. Linear Type 개념해의 Layout.

그림 5는 위에서 설명된 system 요소로 구성된 linear type 개념해이다.

3. 상세 설계.

Relay 동작전압 조정 자동화 시스템의 주요구성 요소는 앞에서 설명된 바와 같이 두 대의 조정기, handling manipulator 그리고 제어기 등이다. 그림 6은 개발된 시스템의 사진이며, 본 장에서는 기구부와 제어부로 나누어 이들의 상세설계 내용을 기술한다.

3.1. 기구부.

3.1.1. 조정기 1.

첫번째 조정기는, 그림 7에서 보는 바와 같이, 한개의 직선축(X축)과 한 개의 회전축(0축)이 step motor에 의하여 구동되고, 그림 3의 ③④의 기능을 수행하게 되는 데, 한 개의 end effector로서 두 가지 기능을 수행하게 된다. 이것은 그림 3에서 보듯이, 정확히 반대가 되는 동작에 의하여 기능을 수행하기 때문에 step motor에 의하여 구동되는 회전축(0축)의 구동 방향의 조정에 따라 원하는 기능을 얻을 수 있기 때문이다. 여기서 직선축은 end effector의 X방향 위치의 조절을 위하여 사용된다.

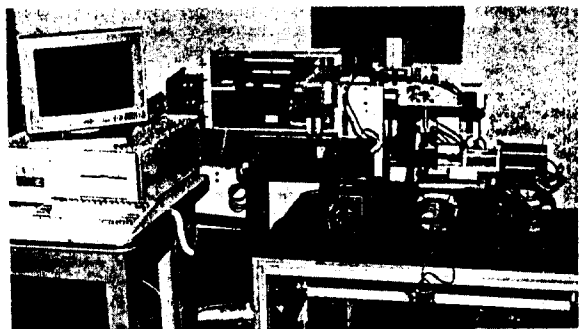


그림 6. 개발된 relay 조정 시스템의 사진.

조정기 1에는 이 외에도 relay clamping, 성능 검사를 위한 통전 그리고 end effector의 정위치 등을 위하여 3개의 공압 축이 사용된다.

3.1.2. 조정기 2.

두번째 조정기는 그림 3의 ①②의 기능을 수행하게 된다. 두 개의 기능을 한개의 조정기에서 수행하도록 한 이유는, 두 개의 기능이 서로 반대되는 것으로서, 한 개의 relay에 대하여 두 기능이 동시에 필요한 경우는 없기 때문이다.

이 조정기는 step motor로 구동되는 두 개의 직선축과 각각의 기능에 대하여 필요한 별도의 end effector로 구성되며, 두 개의 조정기능에 각각 대응하게 된다. 수직축(Z축)은 그림 3의 ①의 기능을 수행하게 되고, 수평축(X축)은 ②의 기능을 수행하게 된다.

조정기 2는 조정을 수행하는 2축외에, relay clamping, relay 검사를 위한 단자의 통전, 조정 end effector의 정위치 등을 위한 3개의 공압 actuator로 구성된다.

그림 8은 조정기 1의 구조를 나타낸다.

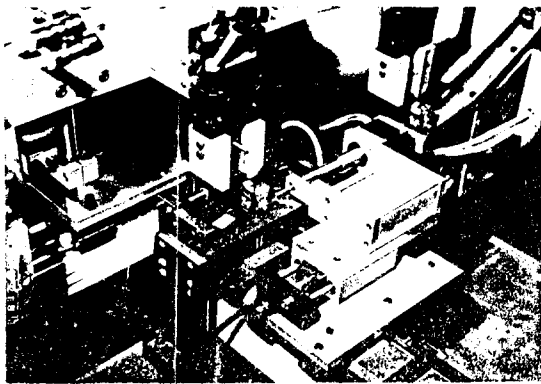


그림 7. 조정기 1의 사진.

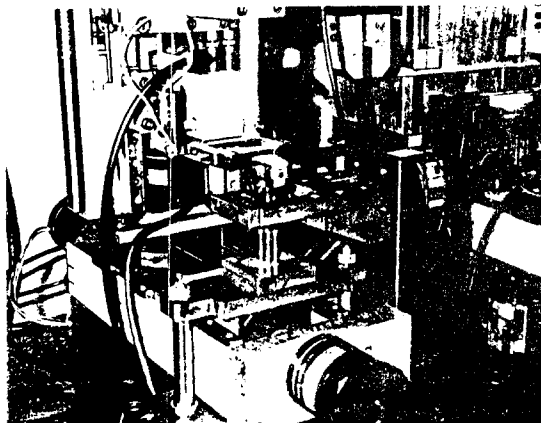


그림 8. 조정기 2의 사진.

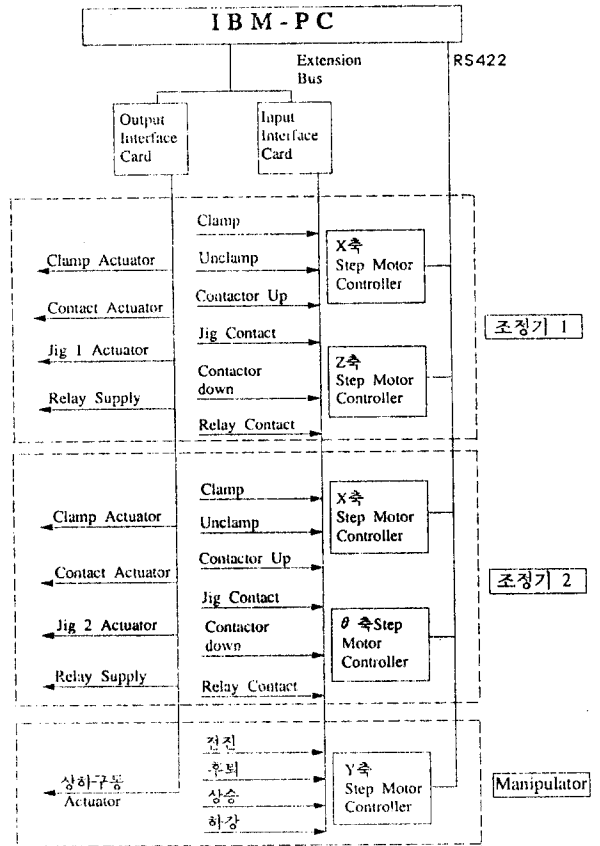


그림 9. 제어부의 구조.

3.1.3. Manipulator.

Manipulator는 조정 대상 relay의 위치를 변경시켜 주기 위하여 사용된다. Relay의 위치는 대기상태 -> 조정기 1 -> 조정기 2 -> 출력 conveyor의 순차적 변화를 겪게 되는 데, 이를 위하여 manipulator가 사용된다.

Manipulator는 3개의 gripper를 갖고 있어서, 대기상태에 있던 relay는 조정기 1로, 조정기 1에 있던 relay는 조정기 2로, 그리고 조정기 2에 있던 relay는 출력 conveyor로의 이송을 하나의 동작에 의하여 동시에 수행하게 된다.

한 축은 step motor에 의하여 구동되고, 한 축은 공압 actuator에 의하여 구동된다.

3.2. 제어부.

개발된 시스템에서는 주 제어기로서 IBM PC를 사용하였다. 제어 대상은 5개의 stepping motor, 16점의 접점 입력, 8개의 방향 제어 밸브, 그리고 2개의 relay 전원 등이며 그 구성은 그림 9와 같다.

Stepping motor는 개별 motor controller에 연결되고, motor controller는 PC와 RS422 직렬 통신선으로 연결되어 있다. Motor controller는 원점 센서, 범위 제한 센서의 입력을 받아 처리할 수 있고, motor에 brake가 있으면 brake 제어도 한다.

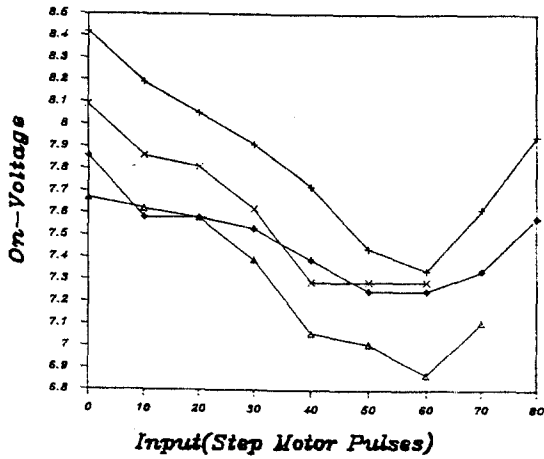


그림 10. 조정 동작 ①에 의한 Relay 조정 특성.

2개의 relay 전원은 각 조정기에서 relay의 동작 및 복귀 전압을 검사하기 위하여 0-12V DC를 순차적으로 relay coil에 인가하여 주기 위한 것으로, 1개는 조정량의 결정, 다른 1개는 조정된 relay의 양/부 판정을 위하여 사용된다.

4. System 성능 시험

4.1. 기본 조정 특성의 추출.

설계된 system을 이용하기 위해서는 우선 그림 3의 기본 조정 동작에 의한 동작 및 복귀 전압의 조정 특성을 알아내야 한다.

그림 10, 11, 12는 각각 그림 3의 ①③④ 동작에 대한 실험 결과를 보이는 것으로 비교적 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 그림 3의 ②번 동작은 약간의 상승 효과만 나타내었다. 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 조정되는 최대양은 동작 전압(그림 3의 ①②)은 1.0 V, 복귀 전압의 상승(그림 3의 ③)은 0.9 V, 그리고 복귀 전압의 하강(그림 3의 ④)은 1.2 V 정도이다.

② 복귀 전압과 동작 전압을 동시에 조정하는 경우, 복귀 전압이 동작 전압에 비하여 민감하게 변화하며 그 비율은 상승시키는 경우 1.7, 하강시키는 경우 1.5 정도로 나타난다.

③ 동작 전압만을 조정하는 경우(그림 3의 ①) 60 pulses 범위에서 안전한 조정 특성을 보이고 있고, 동작 전압과 복귀 전압을 동시에 조정하는 경우(그림 3의 ③과 ④) 50-70 pulses 범위에서 안전한 조정 특성을 나타내며, 약 50 pulses에서 조정이 시작된다. 그 이상의 과도한 조정으로 인하여 relay의 동작이 되지 않는 경우도 발생한다.

4.2. Relay 조정 Rule.

Relay의 동작 및 복귀 전압의 조정을 하기 위해서는 각 조정기에서 구동시킬 step motor의 pulses 수를 검사된 동작 전압 및 복귀 전압으로부터 산정해 내야 한다. 실험 결과를 보다

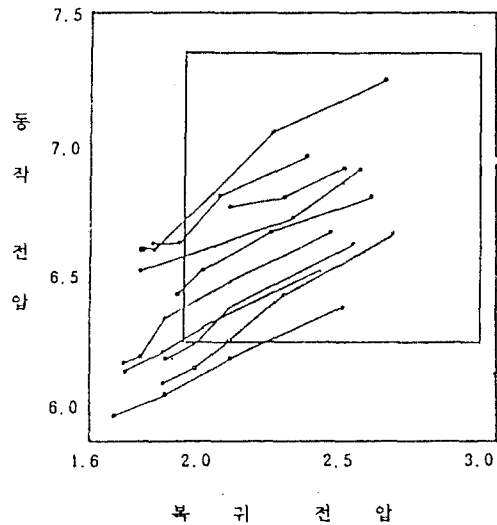


그림 11. 조정 동작 ③에 의한 Relay 조정 특성.

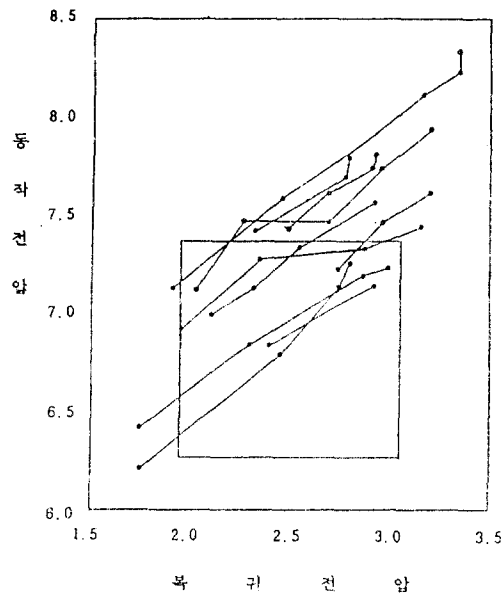


그림 12. 조정 동작 ④에 의한 Relay 조정 특성.

충실히 이용하고 가능한 최적화하기 위하여 앞에서의 실험 결과를 신경회로망을 이용하여 modelling하였다. Generalized delta rule에 의하여 학습된 multilayered perceptron을 사용하였으며, 2개의 hidden layer를 사용하였다. 신경회로망의 구조는 그림 13과 같고, V_{on1} 과 V_{off1} 은 조정전의 동작 전압 및 복귀 전압, V_{on2} 과 V_{off2} 는 조정후의 동작 전압 및 복귀 전압을 각각 나타내며, N_1 과 N_2 는 조정기 1과 조정기 2의 step motor 조정 pulse 수를 나타낸다.

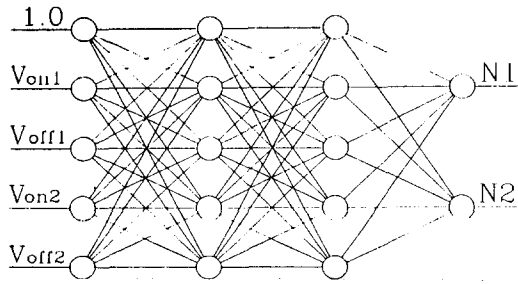


그림 13. 조정량 결정을 위한 신경회로망의 구조.

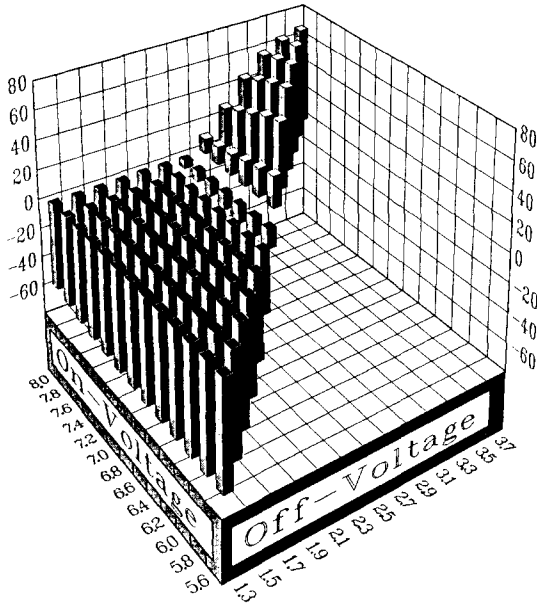


그림 14. 신경회로망에 의하여 결정된 조정 전 동작 전압및 복귀 전압에 대한 조정기 1의 step motor 구동량.

그림 14와 그림 15는 각각 학습된 신경 회로망에 의하여 얻어진 결과로서, 조정전의 동작 전압및 복귀 전압에 대한 step motor의 조정 pulse수를 나타낸다.

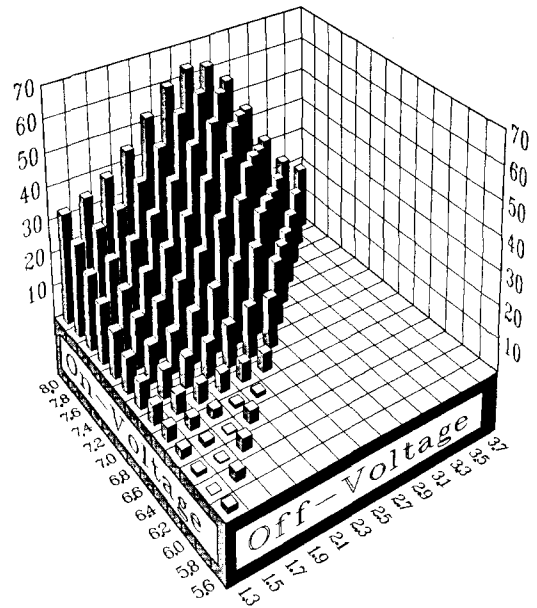


그림 15. 신경회로망에 의하여 결정된 조정 전 동작 전압및 복귀 전압에 대한 조정기 2의 step motor 구동량.

5. 결론.

자동차용 소형 전장품의 하나이며 산업용으로 광범위하게 사용되는 relay의 생산성 향상과 생산인원 절감을 위한 자동화 시스템이 중소기업 자동화 사업의 2차년도 연구로 개발되었다. Relay 자체의 국제 경쟁력 향상 뿐만 아니라, 국내 중소기업의 효율적 조립 자동화를 저해하는 기술적, 경제적 문제를 부분적이거나 해결하기 위해서 추진한 2차년도 연구 내용은 다음과 같다.

- 자동화 대상 작업장 분석과 자동화 방안 결정.
- 결정된 자동화 방안을 실현하기 위한 layout 결정.
- Relay 조정및 검사 자동화 시스템의 기구부 상세 설계와 제작.
- Relay 조정 자동화 시스템 제어부의 설계및 제작.
- 개발 시스템의 성능 시험.