

뉴럴 네트워크와 지식 기반 퍼지 추론을 이용한 디젤기관 고장진단 시스템에 관한 연구

천행춘*, 김영일*, 김경엽*, 안순영*, 오현경*, 유영호**

A study on the fault and diagnosis system for diesel engine
using neural network and knowledge based fuzzy inference

H. C. CHUN, Y. I. KIM, K. Y. KIM, S. Y. AHN, H. G. OH, Y. H. YU

*한국해양대학교 대학원

**한국해양대학교

Abstract

This paper propose the construction of fault diagnosis engine for diesel generator engine and rule inference method to induce rule for fuzzy inference from the monitored data of diesel engine. The proposed fault diagnosis system is constructed the Malfunction Diagnosis Engine(MDE) and Hierarchy of Malfunction Hypotheses(HME). It is proposed the rule reduction method of knowledge base for concerning data among the various analog data.

key words : Fault Detecting(고장 감지), Fault Diagnosis(고장진단), Malfunction Diagnosis Engine(MDE고장진단엔진), Hierarchy of Malfunction Hypotheses(HME고장진단세부예측트리)

1. 서론

마이크로프로세서의 발전에 힘입어 시스템의 자동화는 단순한 시퀀스 제어나 프로세스 제어를 넘어 경영 전략을 포함한 CIM과 지능적인 제조 시스템인 IMS로 발전하고 있다. 또한 모니터링 시스템도 단순히 경보를 발하거나 안전차원에서 시스템을 정지하는 정도를 넘어 고장진단을 행하고 정비요령을 알려주는 지능적인 고장진단 시스템으로 발전하고 있다.

본 연구에서는 디젤기관으로 구동되는 발전기의 운전 데이터를 입력받아 뉴럴 네트워크에 의해 운전 데이터의 이상감지를 행하고 서로 영향을 주는 데이터의 관계와 전문가의 지식으로부터 유도된 규칙을 기반으로 퍼지 추론에 의해 고장을 진단하는 시스템에 관하여 논한다. 본 연구의 일환으로 본고에서는 지식기반 규칙을 추론하는 모형을 구축하는 방법중의 하나를 제안 하고자 한다.

2. 고장 진단 시스템의 구조

고장 진단 시스템은 전문가가 메이커의 운전 및 정비 매뉴얼의 표준 값에 따라서 온도, 압력, 부하 등의 각종 데이터를 참조하여 이상여부를 판단하고 비정상적인 데이터로부터 어느 부분에 이상이 생겼는지를 판단하는 것과 같이 디젤 기관 시스템으로부터 얻어진 각종 데이터를 분석하여 고장부분을 유추해내는 시스템을 말한다.

본 연구에서는 고장 진단 시스템을 수집된 데이터의 이상여부를 감지하는 데이터 이상감지 시스템과 지식기반규칙에 의해 고장부를 예측하는 고장진단부분예측시스템 및 고장부분예측으로부터 고장세부부분을 예측하는 고장진단세부예측트리 시스템으로 구성 하였다.

그림 1은 기관의 각부로부터 수집된 데이터가 고장진단처리 시스템을 거쳐 가면서 고장진단되어가는 과정을 도시한다.

실시간 모니터링 시스템에 의해 디젤기관의 주요 데이터는 운전 데이터베이스에 기록된다. 운

뉴럴 네트워크와 지식 기반 퍼지 추론을 이용한 디젤기관 고장진단 시스템에 관한 연구

전 DB로부터 데이터는 운전 매뉴얼에 따라 데이터를 낮다, 정상, 높다 등의 세 가지 범주형 데이터로 변환하여 고장진단 엔진(MDE)으로 입력된다. 고장진단엔진은 데이터이상감지시스템과 지식기반규칙 고장진단부분예측시스템으로 구성되어 있다. 데이터 이상감지시스템은 학습된 뉴럴네트워크로 구성되어 있어 범주형으로 변환된 운전 데이터를 입력받아 데이터의 이상유무를 확정한다. 고장진단 부분예측시스템은 지식기반규칙 퍼지추론 시스템으로 어느 부분에 어느 정도의 고장이 예측되는지를 예측한다. 고장진단세부예측트리시스템은 answer tree 의사결정 시스템으로 고장부분예측 시스템에 의해 예측된 부분의 구조에 따라 세부적으로 고장범위를 좁혀 고장개소를 찾는다. 그림 1은 고장진단 시스템의 전체 구조로 본고에서는 고장진단 엔진에 관하여 논한다.

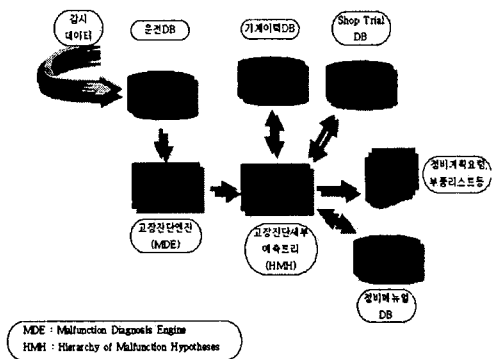


그림 1 고장진단 시스템

그림 2는 그림 1의 고장진단 엔진과 고장진단 세부예측트리 시스템을 자세히 그린 것으로 고장진단엔진중 데이터이상감지시스템을 뉴럴 네트워크에 의해 구성된 예이다. 디젤기관의 각부 온도와 압력은 뉴럴네트워크에 들어가 각부의 온도나 압력이 높은지, 낮은지 또는 정상인지를 알아서 출력한다. 높다, 정상, 낮다 등의 데이터 형태로 출력된 각부의 온도 또는 압력은 지식기반규칙 고장진단 부분예측 시스템에 의해 어느 온도와 압력이 높거나 낮으면 어느 시스템의 고장이 어느 정도의 고장

확률이 있다는 것을 예측한다. 예측된 시스템은 고장진단세부트리시스템에 의해 감시된 데이터를 연산하고 공장 시운전 데이터를 참조하여 세부적으로 고장진단을 예측한다.

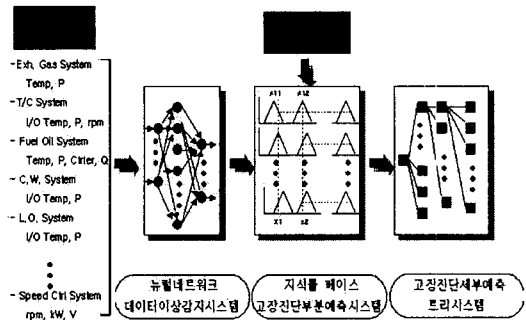


그림 2 고장진단엔진과 고장진단 세부예측트리 시스템

3.고장진단과정

예를 들어 No.1 실린더의 배기가스온도가 높은 것을 제외한 다른 실린더의 배기가스온도는 정상, 소기공기의 압력과 온도가 정상, 터보과급기 입구온도는 약간 높거나 또는 정상으로 감시되었다고 가정하자. 이런 경우에는 No.1 실린더의 연소상태를 의심할 수 있다. 원인으로서는 배기밸브의 누설과 연료밸브의 누설, 보쉬펌프의 누설등을 의심할 수 있다. 또한 피스톤링의 마모로 인한 압축압력의 저하도 그 원인이 될 수 있다. 기관의 압축압력이나 최고압력을 자동으로 채취할 수 있는 시스템이라면 압축압력과 최고압력을 채취함으로써 연료밸브의 문제인가 아니면 배기밸브의 문제인가 또는 피스톤링의 문제인가를 알 수 있게 된다. 만약 압축압력은 정상이나 최고압력이 낮으면 연료밸브의 누설이 원인이 된다. 또 다른 경우로 압축압력과 최고압력이 낮으면 피스톤링의 마모 또는 배기밸브의 마모로 인한 원인으로 볼 수 있다. 이 경우 하부 실린더실의 온도를 검사할 수 있으면 피스톤링의 마모가 원인이라는 것이 보다 확실할 것이다. 압축압력도 낮고 최고 압력도 낮으면서

배기온도가 높으면 배기밸브의 누설이 원인이라는 것에 보다 확실성이 있을 것이다. 이 예의 고장진단에서 각 실린더의 배기온도 및 그 외 터보과급기 입구 온도, 소제공기온도 등이 높다, 낮다 또는 정상이다라는 것은 감시되는 데이터로부터 뉴럴네트워크 데이터 이상감지시스템에 의하여 감지된다. 이러한 각 부의 온도나 압력 등의 이상감지를 입력하여 지식기반규칙 고장진단 부분예측시스템은 지식기반규칙에 의하여 피스톤링의 마모, 배기밸브의 누설, 연료밸브의 누설 등의 고장일확률을 계산하여 고장개소를 출력한다. 고장진단세부예측트리시스템은 출력된 고장개소를 확인하고 신뢰성을 높이기 위하여 off line으로 계산하거나 또는 감시된 데이터를 가공하여 예를 들면 압축압력과 최고압력의 차를 계산하여 다른 실린더의 것이나 공장시험 데이터보다 작으면 연료밸브의 누설이 원인으로 추정한다든지 한다.

기관의 배기가스온도는 부하에 따라 변하는 것으로 같은 온도라 할지라도 부하가 낮은 경우에는 연소상태가 열악한 경우도 발생할 수 있다. 즉 연소상태를 추정할 때 영향을 주는 인자는 배기가스온도, 부하, T/C 입구온도, 소제공기온도, 소제공기 압력 등 5개 인자가 있고 각 인자마다 낮다, 정상, 높다 의 3가지 경우가 있으므로 모두 3⁵이 되어 243개의 조합 규칙이 있게 된다. 규칙이 많아지면 프로그램이 복잡하고 수행속도도 느려 바람직하지 않다. 따라서 본 연구에서는 부하가 Medium 일 때 T/C입구온도를 기준으로 소제공기압력과 소제공기온도와의 관계로 규칙을 작성하고 부하가 Low일 때는 각각의 소속도를 한 단위 높이고 부하가 High 일때는 각각의 소속도를 한단위 낮춤으로서 프로그램과 규칙을 단순화하였다.

표 1과 표 2는 배기온도가 높아 연소계통에 고장이 있다고 진단하는 경우에 있어 규칙을 나타내고 있다.

표 1 연소계통고장진단소속도(1)

		TC 입구 온도			부하
		높다	정상	낮다	
소기온도	높다	0.25	0	0	높다
		0.5	0.25	0.25	정상
		0.75	0.5	0.5	낮다
	정상	0.5	0.25	0.25	높다
		0.75	0.5	0.5	정상
		1.0	0.75	0.75	낮다
	낮다	0.75	0.5	0.5	높다
		1.0	0.75	0.75	정상
		1.0	1.0	1.0	낮다

표 2 연소계통고장진단소속도(2)

		T/C 입구온도			부하
		높다	정상	낮다	
소기압력	높다	0.75	0.5	0.25	높다
		1.0	0.75	0.5	정상
		1.0	1.0	0.75	낮다
	정상	0.5	0.25	0	높다
		0.75	0.5	0.25	정상
		1.0	0.75	0.5	낮다
	낮다	0.25	0	0	높다
		0.5	0.25	0	정상
		0.75	0.5	0.25	낮다

소기압력과 소기온도 중 어느 것이 연소계통의 고장에 민감하게 반응하는지는 알 수 없으므로 각각을 독립적으로 보는 것이 타당할 것이며 이 두 인자가 각각 독립적이라고 한다면 연소계통의 고장이라고 판단할 때는 Fuzzy의 Max 연산을 하여야 한다. 일어날 수 있는 경우는 배기가스 온도가 정상일 때는 고려하지 않고, 이상일 경우 만 고장진단을 시작하는 것으로 배기가스 온도 이상시 모두 81가지이므로 각각 경우의 소속도를 표시하면 표 3과

뉴럴 네트워크와 지식 기반 퍼지 추론을 이용한 디젤기관 고장진단 시스템에 관한 연구

같다. 그러나 본 연구에서는 두 인자가 서로 복합적으로 연소계통에 영향을 미친다고 보고 각각의 경우에서 평균 소속도가 0.75의 것을 로 0.75 이상의 것을 볼드체로 표시하였다.

표 3 각각의 경우에서 연소계통 고장진단 결과표

부하	T/C 입구 온도	소기 압력	소기온도		
			L	N	H
L	L	L	(0.25, 1.0)	0.25, 0.75)	(0.25, 0.5)
		N	<u>(0.5, 1.0)</u>	(0.5, 0.75)	(0.5, 0.5)
		H	(0.75, 1.0)	<u>(0.75, 0.75)</u>	(0.75, 0.5)
	N	L	<u>(0.5, 1.0)</u>	(0.5, 0.75)	(0.5, 0.5)
		N	(0.75, 1.0)	<u>(0.75, 0.75)</u>	(0.75, 0.5)
		H	(1.0, 1.0)	(1.0, 0.75)	<u>(1.0, 0.5)</u>
	H	L	(0.75, 1.0)	(0.75, 1.0)	<u>(0.75, 0.75)</u>
		N	(1.0, 1.0)	(1.0, 1.0)	(1.0, 0.75)
		H	(1.0, 1.0)	(1.0, 1.0)	(1.0, 0.75)
M	L	L	(0, 0.75)	(0, 0.5)	(0, 0.25)
		N	(0.25, 0.75)	(0.25, 0.5)	(0.25, 0.25)
		H	(0.5, 0.75)	(0.5, 0.5)	(0.5, 0.25)
	N	L	(0.25, 0.75)	(0.25, 0.5)	(0.25, 0.25)
		N	(0.5, 0.75)	(0.5, 0.5)	(0.5, 0.25)
		H	<u>(0.75, 0.75)</u>	(0.75, 0.5)	(0.75, 0.25)
	H	L	<u>(0.5, 1.0)</u>	(0.5, 0.75)	(0.5, 0.5)
		N	(0.75, 1.0)	<u>(0.75, 0.75)</u>	(0.75, 0.5)
		H	(1.0, 1.0)	(1.0, 0.75)	<u>(1.0, 0.5)</u>
H	L	L	(0, 0.5)	(0, 0.25)	(0, 0)
		N	(0, 0.5)	(0, 0.25)	(0, 0)
		H	(0.25, 0.5)	(0.25, 0.25)	(0.25, 0)
	N	L	(0, 0.5)	(0, 0.25)	(0, 0)
		N	(0.25, 0.5)	(0.25, 0.25)	(0.25, 0)
		H	(0.5, 0.5)	(0.5, 0.25)	(0.5, 0)
	H	L	(0.25, 0.75)	(0.25, 0.5)	(0.25, 0.25)
		N	(0.5, 0.75)	(0.5, 0.5)	(0.5, 0.25)
		H	<u>(0.75, 0.75)</u>	(0.75, 0.5)	(0.75, 0.25)

표 3에서 연소계통의 고장진단 규칙을 평균소속도가 0.75 이상의 것만으로 표시하면 모두 26 경우가 되어 간단히 할 수 있다.

연소계통의 고장을 진단한 경우 연소계통의 이상원인으로 볼 수 있는 경우는 분사노즐불량, 피스톤이상마모, 연료분사펌프의 불량, 배기밸브의 누설 등으로 이것이 불량일 때 나타나는 현상과 이에 따른 검사항목을 정리하면 표 4와 같다.

표 4 연소계통이상에 따른 현상과 검사항목

불량	불량시 현상	검사항목
불량 개소		
분사노 즐불량	후연소발생으로 배기온도 높아 짐. 연소각이 작아 지며 Pmax 낮 음. 저출력	배기온도조사 Pmax 조사 지압선도 등 조사
피스톤 링 마모	브로바이발생으 로 피스톤하부 실 고온 Pcomp 및 Pmax 저하 출력저하	피스톤하부실 온 도측정 Pmax 및 Pcomp 조사 △P저하를 검사 지압선도 등 조사
연료분 사 펌프 불량	출력 및 Pmax 저하 배기온도 저하	Pmax, 지압선도 등 조사 배기온도 조사
배기밸 브 누설 및 출력 저하	배기온도 고온 Pcomp, Pmax 및 출력 저하	배기온도조사 Pcomp 및 Pmax 조사 △P는 변화없음

따라서 표 4를 참조하여 배기가스온도, 피스톤 하부실 온도, Pmax 와 Pcomp 등을 조사하면 원인을 밝힐 수 있다. 이러한 세부적인 원인은 고장진단세부예측트리(HMH)에 의해 진단된다. 고장진단세부예측트리는 answer tree 의사결정시스템으로 표 4의 검사항목에 나타낸 바와 같이 몇가지 온도나 압력을 조사하여 IF THEN ELSE의 조건부 구문으로 결정하여 원인을 파악하여 진단한다.

4. 고장진단 지식기반 규칙 설계

각 실린더의 배기가스 온도가 높거나 낮을 경우에 표 3에 근거하여 연소 시스템의 이상유무를 판단할 수 있는 룰은 26개가 되며 이들 룰 중에서 소기온도에 상관없는 룰과 소기압력에 상관없는 룰을 정리하면 최종의 14개의 룰로 압축이 되며 표 5와 같이 할 수 있다. 표 6은 연소시스템 고장에 대한 지식기반 규칙표이다.

표 5 최적화된 규칙 테이블

(1)R1 : If LOAD is L and T/C INLET TEMP is L and SCAV AIR PRESSURE is N and SCAV AIR TEMP is L Then combustion system is fault.
(2)R2 : If LOAD is L and T/C INLET TEMP is L and SCAV AIR PRESSURE is H and SCAV AIR TEMP is L Then combustion system is fault.
(3)R3 : If LOAD is L and T/C INLET TEMP is L and SCAV AIR PRESSURE is H and SCAV AIR TEMP is N Then combustion system is fault.
(4)R4 : If LOAD is L and T/C INLET TEMP is N and SCAV AIR PRESSURE is L and SCAV AIR TEMP is L Then combustion system is fault.
(5)R5 : If LOAD is L and T/C INLET TEMP is N and SCAV AIR PRESSURE is N and SCAV AIR TEMP is L Then combustion system is fault.
(6)R6 : If LOAD is L and T/C INLET TEMP is N and SCAV AIR PRESSURE is N and SCAV AIR TEMP is N Then combustion system is fault.
(7)R7-R9 : If LOAD is L and T/C INLET TEMP is N and SCAV AIR PRESSURE is H Then combustion system is fault.
(8)R10-18 : If LOAD is L and T/C INLET TEMP is H Then combustion system is fault.
(9)R19 : If LOAD is medium and T/C INLET TEMP is N and SCAV AIR PRESSURE is H and SCAV AIR TEMP is L Then combustion system is fault.
(10)R20 : If LOAD is medium and T/C INLET TEMP is H and SCAV AIR PRESSURE is L and SCAV AIR TEMP is L Then combustion system is fault.

표 5 최적화된 규칙 테이블(계속)

(11)R21 : If LOAD is medium and T/C INLET TEMP is H and SCAV AIR PRESSURE is N and SCAV AIR TEMP is L Then combustion system is fault.
(12)R22 : If LOAD is medium and T/C INLET TEMP is H and SCAV AIR PRESSURE is N and SCAV AIR TEMP is N Then combustion system is fault.
(13)R23-R25 : If LOAD is medium and T/C INLET TEMP is H and SCAV AIR PRESSURE is H Then combustion system is fault.
(14)R26 : If LOAD is H and T/C INLET TEMP is H and SCAV AIR PRESSURE is H and SCAV AIR TEMP is L Then combustion system is fault.

표 6 각각의 경우에서 연소계통 고장진단 **Fault** 결과표

부하	T/C 입구 온도	소기 압력	소기온도		
			L	N	H
L	L	L			
		N	Fault		
		H	Fault	Fault	
	N	L	Fault		
		N	Fault	Fault	
		H		Fault	
H			Fault		
M	N	L			
		N			
		H	Fault		
	H	L	Fault		
		N	Fault	Fault	
		H		Fault	
H	L				
	H	L			
		N			
		H	Fault		

5. 결론

본 연구에서는 디젤기관의 고장진단을 위하여 디젤기관의 연소계통 이상 진단에 영향을 미치는 인자들을 중심으로 지식기반 규칙을 유도하

는 모형을 제시 하였으며 제시된 규칙을 이용하여 퍼지추론에 의해 고장진단을 할 수 있음을 보였다. 지식기반 규칙의 모형을 디젤기관의 각 계통으로 확장하면 감시되는 데이터로 디젤기관의 고장진단이 가능할 것으로 판단된다. 추후 데이터 이상감지 시스템, 고장진단 세부예측 트리 시스템과 결합하여 전체 고장진단 시스템을 구성하고 실선 데이터를 이용한 시뮬레이션을 통하여 가능성을 확인하고 실선에 탑재하여 실시간으로 고장진단 성능을 확인하는 연구를 계속할 예정이다.

참고문헌

- [1] 이재규, 최형림, 김현수, 서민수, 주석진, 지원철, "전문가 시스템 원리와 개발", 법영사, 1996.
- [2] Sherif Hashem, "Optimal Linear Combinations of Neural Networks", Pacific Northwest Laboratory, PNL-SA-25166, 1994.
- [3] Detlef Nauck and Rudolf Kruse, "What are Neuro-Fuzzy Classifiers?" IFSA'97, Vol.IV, pp.228-233, Academia Prague, 1997.
- [4] Jan Jantzen, "Arobustness study of fuzzy control rules", Technical University of Denmark.
- [5] Jianwei Zhang and Khac Van Le, "self-Optimization of a fuzzy control with B-spline models", faculty of technology, university of Bielefeld, Germany.
- [6] J. Zhang, A. Knoll and K. V. Le, "A new type of fuzzy logic system for adaptive modelling and control", faculty of technology, university of bielefeld, Germany, 1997.