

# 비상디젤발전기 엔진 상태진단 초음파 탐촉자 개발

## Development of Ultrasonic Sensor for Engine Condition Diagnosis of EDG

이상국\*† · 최광희\*\*  
Sang-Guk Lee\*† and Kwang-Hee Choi\*\*

(접수일 : 2013년 06월 24일, 수정일 : 2013년 08월 05일, 채택확정 : 2013년 08월 06일)

**Abstract:** The emergency AC power supply system of the nuclear power plant is designed to supply the power to the nuclear power plant at the emergency operating condition. The safety function of the diesel generator at the nuclear power plant is to supply AC electric power to the safety system whenever the preferred AC power supply is unavailable. The reliable operation of onsite standby diesel generator should be ensured by a condition monitoring system designed to maintain, monitor and forecast the reliability level of diesel generator. The purpose of this paper is to improve the existing ultrasonic sensor used for condition diagnosis of engine fuel pump and cylinder head for the accurate diagnosis in actual engine condition of emergency diesel generator(EDG). As a result of this study, we could design and develop much more reliable ultrasonic sensor than existing ones.

**Key Words :** Ultrasonic Sensor, Fuel Pump, Cylinder Head, Emergency Diesel Generator, Nuclear Power Plant

### 1. 서 론

원자력발전소에서는 비상시 전력공급을 목적으로 운용하는 비상디젤발전기의 엔진 상태진단을 위해서는 주기적 성능 및 기능 점검 수행이 필수적이다. 디젤엔진의 상태를 감시하고 진단하는 목적은 엔진의 연소과정에서 일어나는 동적특성을 파악하여 엔진의 성능 상태를 감시하고 이상상태를 예측하고자 하는 것이다. 이를 통해 고장의 징후가 있는 실린더를 예방차원의 정비를 수행하도록 함으로써 정비를 보다 효과적으로 수행하게 하

며 최적정비를 통해 계획예방정비를 보다 합리적이고 효율적으로 수립할 수 있는 기반을 제공할 수 있다. 원자력발전소 비상디젤발전기의 상태를 감시하기 위해서는 엔진의 내부 성능을 측정함으로써 가능하다. 중요한 성능변수로는 엔진내부의 폭발압력, 연료펌프 작동상태, 엔진 흡/배기 밸브의 정상적 작동상태, 엔진의 진동상태, 그리고 엔진의 크랭크축 각도, 연료유 공급압력 등이다.<sup>1-3)</sup> 이러한 성능변수를 측정하기 위해서는 신뢰성 높은 성능변수 분석이 요구된다. 엔진 성능분석을 위해서 초음파 및 진동 탐촉자를 사용하여 엔진의

\*† 이상국(교신저자) : 한국수력원자력(주) 중앙연구원  
E-mail : Honggd@hankook.ac.kr, Tel : 042-870-5514  
\*\*최광희 : 한국수력원자력(주) 중앙연구원

\*† Sang-Guk Lee(corresponding author) : Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd. Central Research Institute.  
E-mail : Sgklee@khnp.co.kr, Tel : 042-870-5514  
\*\*Kwang-Hee Choi : Korea Hydro & Nuclear Power Co. Ltd. Central Research Institute.

연소분석과 엔진의 각종 구성기기의 상태를 분석하게 된다.<sup>4)</sup>

현재까지 엔진의 상태진단에 사용되는 초음파 탐촉자 어셈블리는 외국 제품을 사용하고 있으며 내부 초음파 소자의 고장에 따른 탐촉자 분해조립이 어렵고, 고비용의 수리비용이 발생되며, 신호취득시 불감대 및 감도저하에 따른 원인분석이 불가능하고 기타 사용상에 각종 문제점이 발생되었다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여, 비상디젤발전기의 연료펌프와 실린더헤드의 작동상태를 정밀하고 신뢰성 있게 측정할 수 있는 초음파 탐촉자의 성능 개선을 위한 설계 및 제작 연구를 수행하고 그 결과를 제시하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 기존 초음파 탐촉자

초음파 탐촉자는 연료펌프 및 실린더헤드에 접촉하여 연료노즐 등 구성기기의 작동상태와 실린더헤드 내부의 흡배기 밸브 등 구성기기의 작동상태를 측정할 수 있다. Fig. 1은 기존에 사용되어온 초음파 탐촉자를 나타내며, 초음파 탐촉자 소자인 마이크로폰(microphone), 탐촉자 케이블(sensor cable), 어댑터(adaptor), 신호케이블(signal cable), 자석접촉부 및 이들을 감싸고 있는 탐촉자 몸체(sensor body)로 구성된다. 기존 초음파 탐촉자 어셈블리는 Photo. 1과 같이 연료펌프용 및 실린더헤드용으로 구분 없이 사용된다. 또한 기존 초음파 탐촉자 어셈블리 신호케이블은 고정력 부족으로 흔들림에 의해 커플링면과의 잦은 접촉에 의한 마모 또는 단선이 발생하였으며, 분해조립시 마이크로폰 체결 및 분해가 어려워 이에 대한 개선이 필요하였으며, 초음파 신호의 수신을 향상을 위한 고무 접촉부 등의 추가 설계가 요구되었다.

### 2.2 연료펌프 초음파 탐촉자 설계/제작

기존 초음파 탐촉자의 문제점을 개선하기 위하여 초음파 탐촉자를 신규로 설계/제작하였으며, 개선된 연료펌프 측정용 초음파 탐촉자의 구성을 Fig. 2에 나타내었으며, 그 모습을 Photo. 2에 각각

각 나타내었다. 개선된 초음파 탐촉자는 초음파 탐촉자 소자인 마이크로폰, 탐촉자 케이블, 어댑터, BNC 연결부, 신호케이블, 고무 접촉부 및 이들을 감싸고 있는 탐촉자 몸체(sensor body)로 구성된다. 개선된 초음파 탐촉자는 BNC 연결부와 고무 접촉부가 추가되었으며 일체형 탐촉자로 설계 및 제작하였다.

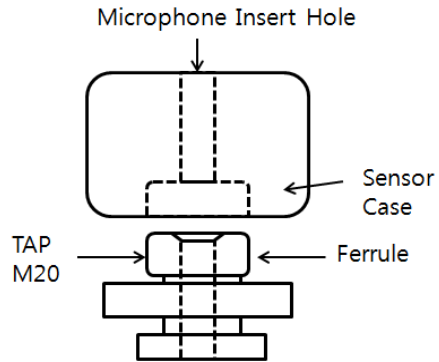


Fig. 1 Layout of existing ultrasonic sensor



Photo. 1 Existing ultrasonic sensor assembly

### 2.3 실린더헤드 초음파 탐촉자 설계/제작

Fig. 3은 최종 개선된 실린더헤드 측정용 초음파 탐촉자의 구성도이며, 그 모습을 Photo. 3에 각각 나타내었다. Photo. 3의 그림에서 오른쪽이 실린더헤드 볼트 표면에서 발생하는 음향을 수집하는 부분이며 왼쪽은 음향신호의 출력을 처리하는 부분이다. 그리고 음향을 수집하기 위한 음향 가이드 역할을 하는 고무캡과 자석 내장 부분으로 분리되도록 설계하였으며, 음향신호의 출력의 전송을 담당하는 BNC 연결부가 별도 분리되도록 개발하였다.

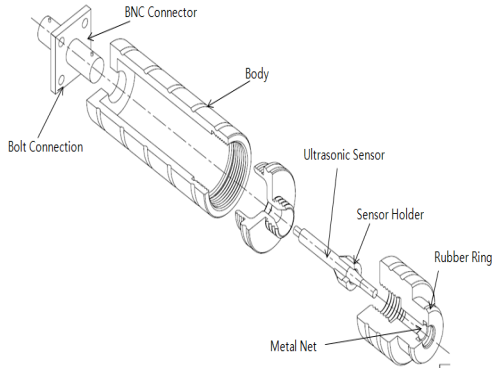


Fig. 2 Layout of improved ultrasonic sensor for fuel pump



Photo. 2 Improved ultrasonic sensor for fuel pump

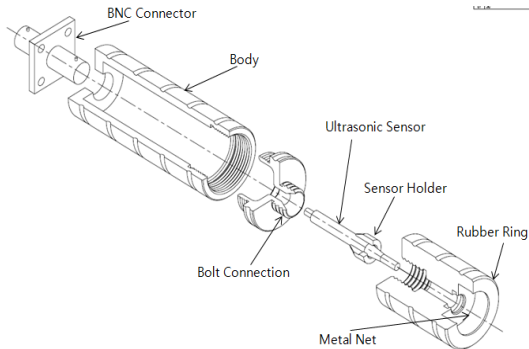


Fig. 3 Layout of improved ultrasonic sensor for cylinder head



Photo. 3 Improved ultrasonic sensor for cylinder head

## 2.4 실험장치 및 방법

개선한 연료펌프용 및 실린더헤드 초음파 탐촉자의 설계 적합성을 평가하기 위하여 햄머링 가진 시험(hammering test)을 수행하여 감도평가를 수행하였다. 신호발생은 인위적인 햄머링 타격에 의한 방식을 채택하였으며, 가능한 광대역 주파수신호가 발생되도록 충격 가진신호(impact hammering signal)를 이용하였다. 테스트 벤치(test bench)에 초음파 탐촉자를 설치하여 가진에 의해 신호를 발생시키고 테스트벤치로 전파된 신호가 초음파 탐촉자에 수신되고, 데이터 수집장치(NI9215)로 전송된 후 PC에서 신호처리를 수행하여 시간에 대한 음압이 표시 되도록 하였다. 샘플링 주기는 200~250 ms가 되도록 하였으며 음압(sound pressure: pa)은 양과 음의 진폭 모두가 표시되도록 하였다. Fig. 4는 실험장치 블록도를 나타낸다.

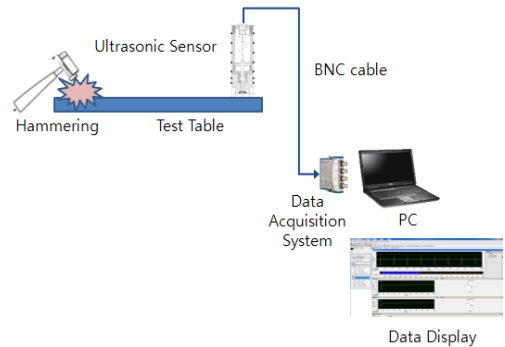


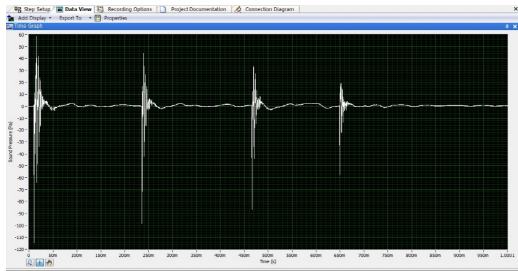
Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

## 3. 결과 및 고찰

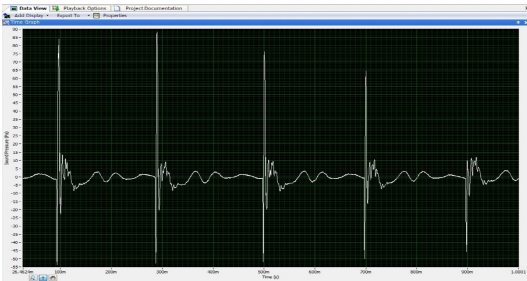
Fig. 5는 연료펌프용 초음파 탐촉자의 햄머링 가진시험을 이용하여 초음파 탐촉자의 신호감도를 측정된 결과를 나타낸다. Fig. 5(a)는 기존 초음파 탐촉자로 측정된 신호감도 화면을 나타내며, Fig. 5(b)는 개선된 초음파 탐촉자로 취득한 신호감도 화면을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 기존 초음파 탐촉자와 비교하여 개선된 초음파 탐촉자의 신호감도 측정결과, 세로축의 타격 가진시간(ms)에 따른 가로축의 음압(pa)이 높은 감도로 수신되었으며, 가진 강도에 따라 변화된 신호가 측정됨을 알

수 있다. 또한 주변 노이즈는 수신되지 않았으며, 신호측정이 양호한 것으로 확인되었다. Fig. 6은 연료펌프에서 기존 및 개선된 초음파 탐촉자로 발전소 비상디젤 발전기의 크랭크 각도에 따른 측정된 초음파신호를 보여준다. Fig. 6 (a) 그림은 개선된 초음파 탐촉자로 측정된 진단화면을 나타내며, Fig. 6(b)는 기존 초음파 탐촉자로 취득한 진단화면을 나타낸다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 크랭크 각도에 따른 진폭(amplitude)의 크기에 있어서 5배 이상 개선된 것을 확인 할 수 있으며, 크랭크각도에 따라 수신되지 않은 신호까지도 개선된 초음파 탐촉자에서 수신되고 있는 것을 확인할 수 있었다.



(a)

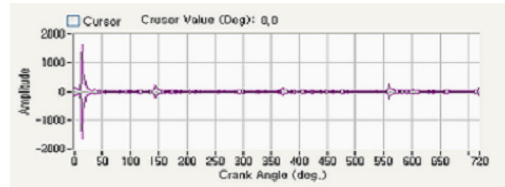


(b)

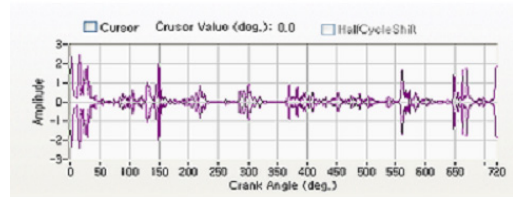
Fig. 5 Results of hammering test for existing and improved fuel pump ultrasonic sensor

Fig. 7은 실린더헤드용 초음파 탐촉자의 햄머링 가진시험을 이용하여 초음파 탐촉자의 신호감도를 측정된 결과를 나타낸다. Fig. 7(a)는 기존 초음파 탐촉자로 측정된 신호감도 화면을 나타내며, Fig. 7(b)는 개선된 초음파 탐촉자로 취득한 신호감도 화면을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 개선된

신호감도 측정결과, 세로축의 타격 가진시간(ms)에 따른 가로축의 음압(pa)이 높은 감도로 수신되었으며 가진 강도에 따라 변화된 신호가 측정됨을 알 수 있다. 또한 주변 노이즈는 수신되지 않았으며 신호측정이 양호한 것으로 확인되었다.

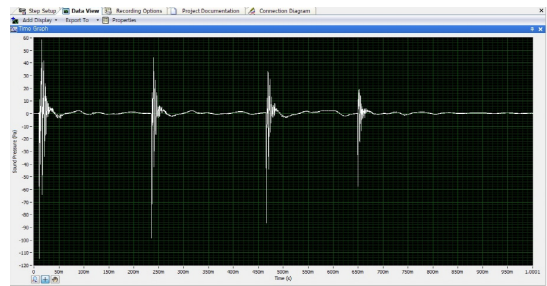


(a)

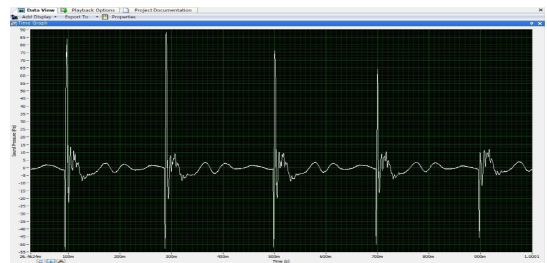


(b)

Fig. 6 Signal comparison between existing sensor and improved sensor for fuel pump

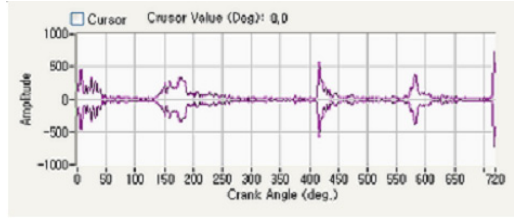


(a)

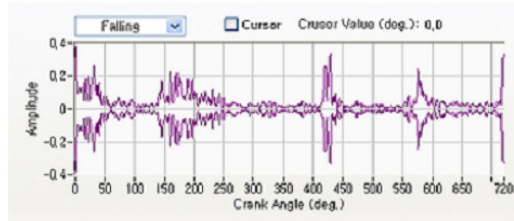


(b)

Fig. 7 Results of hammering test for existing and improved cylinder head ultrasonic sensor



(a)



(b)

Fig. 8 Signal comparison between existing sensor and improved sensor for cylinder head

Fig. 8은 실린더 헤드(cylinder head)에서 기존 및 개선된 초음파 탐촉자로 발전소 비상디젤 발전기의 크랭크 각도(crank angle)에 따른 측정된 초음파 신호를 보여준다. Fig. 8 (a)는 기존 초음파 탐촉자로 측정된 진단화면을 나타내며, Fig. 8 (b)는 개선된 초음파 탐촉자로 취득한 진단화면을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 크랭크각도에 따른 진폭의 크기에 있어서 약 2배 이상으로 개선된 것을 확인할 수 있으며, 크랭크각도에 따라 수신되지 않은 신호까지도 개선된 초음파 탐촉자에서는 수신되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

비상디젤발전기 엔진상태진단의 신뢰도 향상을 위하여 엔진 연료펌프 및 실린더헤드 상태진단용 초음파 탐촉자 설계/제작 개선 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 엔진 상태진단용 초음파 탐촉자에 대한 설계/제작 개선 연구를 통하여 높은 감도와 정확도로 비상디젤발전기의 상태진단이 가능하였다.

2. 개선된 초음파 탐촉자의 햄머링 가진시험 및 비상디젤발전기 현장시험을 통하여 개선된 초음파

탐촉자의 유용성을 확인하였다.

3. 향후 본 비상디젤발전기의 초음파 탐촉자 개선 연구결과는 엔진 상태진단용 초음파 탐촉자의 현장 적용의 기초자료로 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### References

1. Heywood, John, 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw-Hill
2. Mark O'Connell, Mark Staley and Christian Haller, 2008, "Engine Signature Analysis Training Manual"
3. Hatschek, R, 1977, "Sonic Signature Monitor for Internal Combustion Engines," Supervision in Operation and Preventive Maintenance of Marine Machine Systems Conference, Paris : May 4-6, pp. 177-182.
4. S. G. Lee, K. H. Choi and Y. S. Choi, 2011, "Study on Design Improvement of Ultrasonic Sensor for Condition Diagnosis of EDG Engine in Nuclear Power Plant", The Korean Society for Power System Engineering(KSPSE) Fall Conference, pp. 267-270.