

< 논 문 >

차량용 교류발전기의 전자기소음 특성에 관한 연구

A Study of Electromagnetic Noise Characteristics of Alternator

차 항 병* · 장 경 환*

Hang-Byung Cha and Kyung-Hwan Jang

(1997년 4월 7일 접수 ; 1997년 6월 13일 심사완료)

Key Words : Alternator(차량용 교류발전기), Stator Teeth(고정자 티쓰), Bracket(브라켓), Order(차수), Electromagnetic Noise(전자기소음)

ABSTRACT

In general, the noise of alternator is generated by structure of attachment and structural characteristics of alternator itself. In this paper, general phenomena and causes of alternator noise have been considered. Especially, electromagnetic noise source of alternator has been discussed by consideration about the vibration of stator teeth. Also experimental method and simulation method have been used for the proof.

1. 서 론

차량용 교류발전기(alternator)는 1960년대 초 현재와 같은 원리의 제품이 개발된 이래 기본 원리는 변하지 않고, 자동차 산업의 시대적 변혁기에 부응하여 소형화, 경량화, 고출력화, 원가절감 등의 측면에서 최적화 설계개념으로 발전되어 왔다. 그러나 최근에는 자동차 산업에서도 환경문제와 관련된 소음규제 정책에 의해 관련부품의 개발에는 소음대책이 필수적으로 요구된다. 따라서 차량용 교류발전기도 근래에는 저소음화 기술에 중점을 두고 개발이 진행되고 있으며, 제작 회사들도 소음저감과 관련된 특허를 다수 출원하고 있다.

엔진(engine)의 회전력에 의해 벨트(belt)로 구동되는 차량용 교류발전기의 소음원은 엔진장착과 관련된 차량구조에 의한 소음과 차량용 교류발전기 자체의 구조적 특성에 의한 소음으로 구별된다. 본 연구에서는 후자에 의해 발생하는 차량용 교류발전기

의 일반적인 소음진동 특성에 대하여 고찰하였으며, 특히 고정자 teeth의 진동에 의한 전자기소음의 발생현상에 대하여 고찰하였다. 고정자 teeth의 진동현상을 실험적으로 측정하여 비교하였으며, 전자장 해석 소프트웨어인 MSC/EMAS를 이용하여 고정자 teeth에 작용하는 전자기력 분포를 확인하였다.

2. 차량용 교류발전기의 구조와 발생소음

차량용 교류발전기는 펌프(pump)의 유무에 따라 펌프가 달린 상용(商用)과 펌프가 없는 승용(乘用)으로 구분될 수 있으며, 팬(fan)의 부착위치에 따라 팬내장형과 팬외장형으로 구분된다. Fig. 1에 소음측면에서 유리하여 최근 주로 생산되는 팬내장형의 승용차용 교류발전기의 구조를 나타내었다.

풀리(pulley)로 전달된 엔진의 회전력은 베어링(bearing)에 의해 지지된 회전자(rotor)를 회전시키고, 고정자 코일(stator coil)에서는 전자유도작용에 의해 교류가 발생된다. 발생된 전류는 정류기(rectifier)에 의해 직류로 정류되어 차량의 전기부하에 공급된다. 이 때 발생하는 소음은 전기적 부하가

*정회원, 만도기계 중앙연구소

결린 상태이기 때문에 기계적, 전기적 소음이 복합적으로 발생된다. 차량용 교류발전기에서 발생하는 소음은 크게 세가지로 분류될 수 있다. 즉, 기계적 소음(mechanical noise), 공기역학적 소음(aerodynamic noise), 전자기적 소음(electromagnetic noise)이다.

기계적 소음에는 베어링에 의한 소음, 축(shaft)의 불균형(unbalance)에 의한 소음, 브러쉬(brush)와 슬립링(slip ring)간의 마찰(friction)에 의한 소음 등이 있다. 베어링에서 발생하는 소음은 음압레벨(SPL)이 낮고 유막에 의해 효과적으로 감소되기 때문에 문제시되지는 않으나, 조립시의 공차나 회전자와 과다진동, 벨트장력에 의해 충격이 가해져 마모될 경우 심한 소음이 발생될 수 있다. 축의 불균형은 정적불균형(static unbalance)과 동적불균형(dynamic unbalance)으로 구분되며, 각각 [rpm/60], [2*rpm/60]의 주파수를 갖는 소음이 발생된다. 회전자 코일에 전류를 공급하기 위해 접속되어 있는 브러쉬와 슬립링간의 마찰음은 슬립링의 표면조도와 브러쉬의 거칠기 등에 의해 영향을 받는다.

공기역학적 소음에는 웅에 의해 발생하는 소음과 회전자극(pole) 사이의 간극에서 발생하는 공기유동에 의한 소음이 있다. 웅에 의한 소음은 익(blade)수와 회전속도에 의해 [익수*rpm/60]의 이산주파수 소음을 발생시키며, 고정자 코일의 돌출부에 의해서도 영향을 받게된다. 웅은 주로 소음에 유리한 원심웅과 사류(斜流)웅을 사용하며, 익수와 익의 형상, 브라켓(bracket)의 공기 흡입구와 배기구의 구조 등에 의해 소음특성이 다르게 나타난다. 현재의 12극을 사용하는 차량용 교류발전기의 극사이

의 간극에서 발생하는 소음은 12차(order) 주파수 성분으로 나타나며, 이에 의한 소음도 공기역학적 소음의 상당부분을 차지한다.

전자기적 소음은 고정자와 회전자 사이의 전자기력에 의한 고정자와 회전자의 진동과 그것이 구조부재를 진동시켜 발생하는 소음을 말한다. 이 전자기력은 회전자의 극(pole) 표면과 고정자 철심(stator core) 사이의 공간에서 기본과자속과 고조과자속에 의해 발생하는 자기(磁氣)흡인력으로서 자속밀도의 자승에 비례한다. 이 흡인력은 교번자계에 의해 발생하므로 결국 고정자는 다각형 변형의 진동을 일으킨다. 이 진동에 구조부재가 공진하면 전자기소음이 발생된다. 이 소음은 실제로 사람의 귀에 거슬리는 소리로서 심리음향학(psychoacoustic)적 차원에서 문제가 되며 본 논문에서 주로 논의될 사항이다.

3. 일반적인 소음특성

차량용 교류발전기의 소음은 일반적으로 무부하시와 완전부하시로 나누어 측정한다. 후방 30 cm에서 측정한 차량용 교류발전기의 일반적인 소음특성을 Fig. 2에 나타내었다.

무부하시에는 기계적 소음과 공기역학적 소음에 의해 소음특성이 결정된다. 부하시에는 주로 7000 rpm 이하에서 전자기소음의 영향으로 여러개의 피크(peak)가 발생한다. 각 피크에서의 소음에 대한 주파수분석은 차수분석을 통하여 실시하였으며, 이 때 차수(order)는 초당 회전수를 기본주파수(1차)로 하여 고조파(harmonics) 성분으로 정의된다.

$$\text{차수} = \frac{\text{주파수}}{\text{회전수 (rpm)}} \times 60 \quad (1)$$

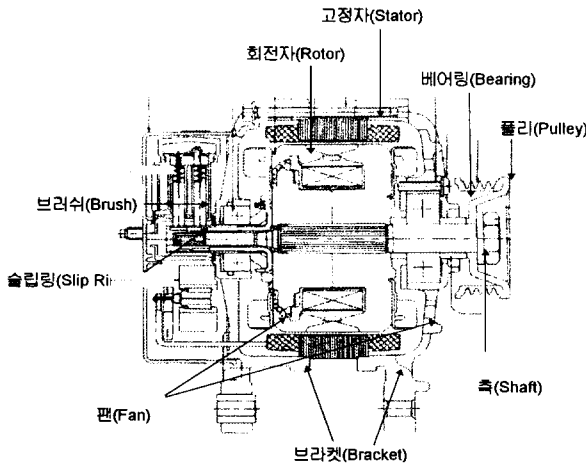


Fig. 1 Structure of alternator

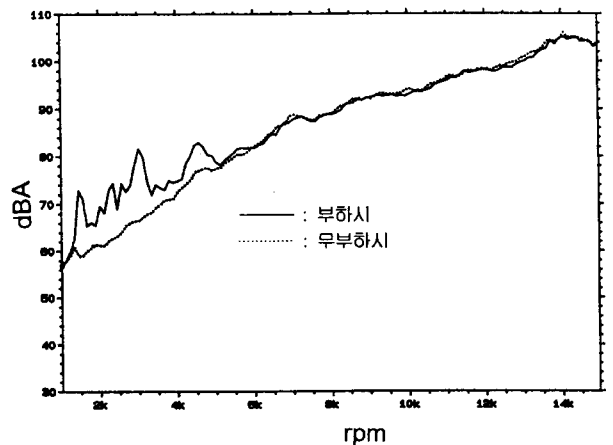


Fig. 2 Overall noise level of alternator

4500 rpm에서의 소음에 대한 차수분석을 Fig. 3에 나타내었다. 무부하시에 발생하는 피크주파수는 주로 웬과 회전자의 간극수에 의해 결정되며, 부하시에는 회전자와 고정자의 구조적 특성상 주로 6차 고조파 성분이 피크로 나타난다. 즉, 회전자는 12극

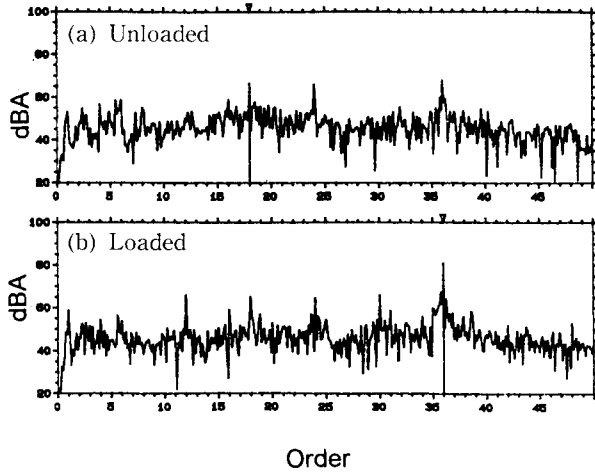


Fig. 3 Order vs. noise level of alternator (4500 rpm)

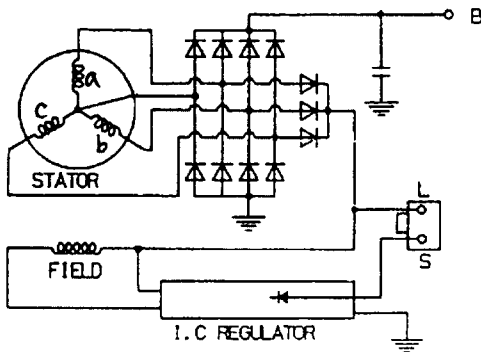


Fig. 4 Circuit diagram of alternator

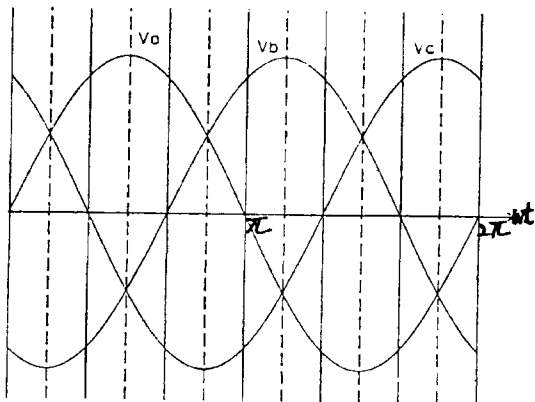


Fig. 5 Voltage wave form of alternating current

(N극 6개, S극 6개)으로 구성되어 있어 6개의 전자석에 의한 기전력이 발생한다. 이 때 회전자가 초당 1회전시 고정자 코일의 각 상에서 위상차가 120°인 6Hz의 3상교류가 발생된다. 따라서 회전속도에 따라 발생교류의 주파수가 변한다. 이를 수식으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$\text{발생교류 주파수 (Hz)} = 6 \times \frac{\text{회전수 (rpm)}}{60} \quad (2)$$

Fig. 4과 Fig. 5에 각각 차량용 교류발전기의 회로도와 고정자 코일에서 발생하는 3상교류의 상전압 파형을 나타내었다.

4. 전자기소음의 진동원 및 현상

12극의 교류발전기에서 발생하는 주파수는 6차성분의 교류로서 정류되기 전에 각 상의 순간전력의 맥동에 의해 구조부재의 진동을 유발시킨다. Fig. 6

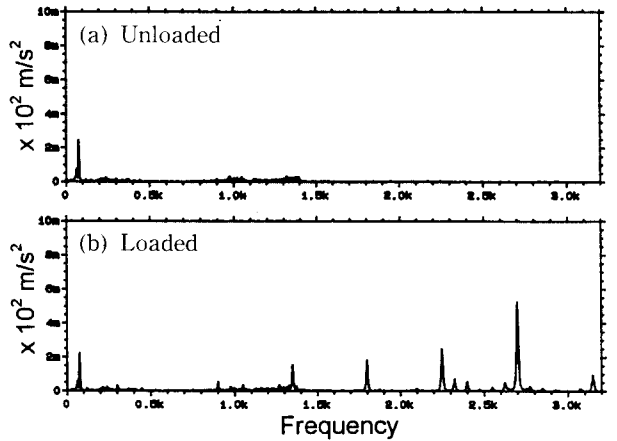


Fig. 6 Vibration frequency spectrum of stator (4500 rpm)

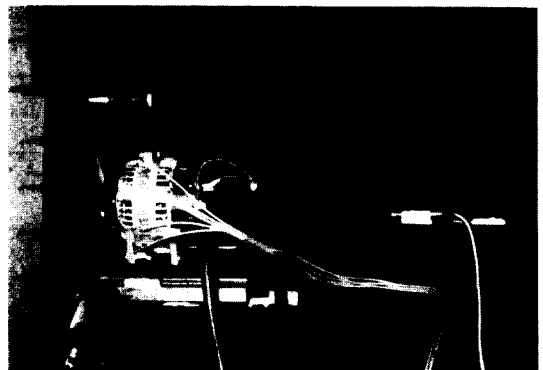


Fig. 7 Overview of test set-up

에 고정자의 진동주파수 스펙트럼을 나타내었다. Fig. 6에서 보듯이 차량용 교류발전기에서 발생하는 진동은 6차 고조파 성분에 의한 영향으로 각 구조부재의 진동 또는 조립특성에 의해 피크주파수가 발생하게 된다. 특히 구조적 복잡성으로 인하여 조립특성에 의한 영향을 많이 받는다.

6차 고조파 성분중에서 36차 성분의 영향이 가장 크게 나타나는데 이는 고정자의 구조적 특성(36개의 고정자 teeth) 으로부터 기인된다. 이 때 전자기력으로 인해 고정자 teeth 부분이 진동하게 되는데 각각의 teeth가 어느 정도의 시간위상을 갖고 진동하게 된다. 이 때 시간위상은 식 (3)과 (4)에 의해 결정된다.

$$6n < m \leq 6(n+1) \quad m = \text{teeth간격수}, n = 0 \text{ to } 5 \quad (3)$$

$$\text{시간위상}(s) = \frac{6n-m}{36} \times \frac{60}{\text{rpm}} \quad (4)$$

식 (3)을 만족하는 n에 대하여 회전 앞부분 teeth 진동의 시간위상이 식(4)만큼 빠르게 나타난다. 실험적 검증을 위하여 Fig. 8과 같이 스트레인 게이지

(strain gage)를 이용하여 진동의 파형을 측정하여 시간위상을 계산하였다. 각각 3000 rpm과 4500 rpm에 대하여 측정하였으며 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

로터의 회전방향을 고려하면 ②가 ①진동의 시간위상보다 식 (4)만큼 빠르게 나타난다. 3000 rpm, 4500 rpm에 대한 시간위상은 각각 식 (5), (6)과 같다.

3000 rpm시 :

$$\text{시간위상} = \frac{12-10}{36} \times \frac{60}{3000} \cong 1.1 \text{ ms} \quad (5)$$

4500 rpm 시 :

$$\text{시간위상} = \frac{12-10}{36} \times \frac{60}{4500} \cong 0.74 \text{ ms} \quad (6)$$

Fig. 9에서 보듯이 각각의 rpm에서 teeth①, ②의 파형이 유사하게 나타나며, 이 때의 시간위상 차이는 각각 1.1ms, 0.73ms로 1.4%의 오차 내에서 나타난다. 즉, 회전자의 회전시 전자기력을 받는 36개 고정자 teeth에서 진동이 발생하고 이 진동이 브라켓(bracket)을 비롯한 구조부재로 전달되어 소음화된다.

5. 회전자와 고정자의 전자장해석

전자장해석 S/W인 MSC/EMAS를 이용하여 각각 2000, 3000, 4500, 5000 rpm으로 회전시 고정자 철심(stator core)과 회전자 극(pole)에서의 자속밀도 및 전자기력 분포를 계산하였다. 해석시의 조건은 필드(field) 전류는 4.0 A로 하였으며, 주기경계조건을 적용하였다. 계산 결과는 Table 1에 나타내었으며,

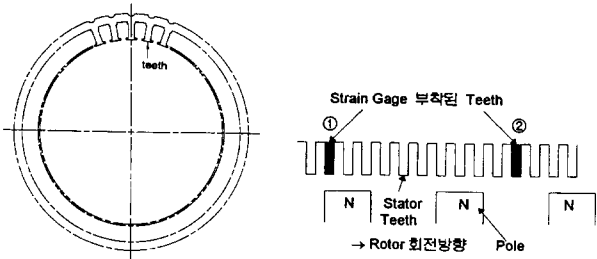


Fig. 8 Attachment set-up of strain gage to stator teeth

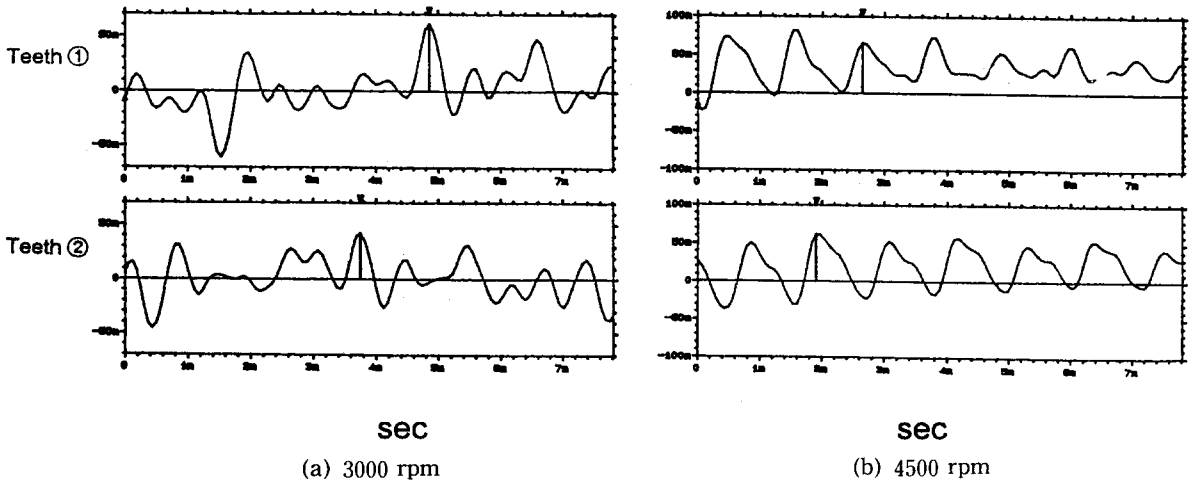


Fig. 9 Vibration wave form of stator teeth

4500 rpm시 고정자 teeth에서의 전자기력 분포를 Fig. 10에 나타내었다.

Table 1 Maximum magnetic flux density and electromagnetic force

		rpm	2000	3000	4500	5000
Magnetic Flux	Pole		1.786	1.777	1.770	1.768
	Density (Wb)	Stator	2.299	2.367	2.420	2.431
Electromagnetic	Pole		2.036	2.165	2.266	2.286
	Force (N)	Stator	0.218	0.255	0.295	0.303

rpm이 증가할수록 고정자 teeth와 회전자 극에 걸리는 전자기력은 점점 커지는 것으로 나타났다. 자속밀도는 회전자 극면과 고정자 철심의 teeth부분이 최대치를 나타내며, 특히 회전 뒷부분의 회전자 극면에서 포화가 발생된다. 회전자 극과 고정자 철심의 전자기력은 회전자 극의 최대 포화부위와 고정자 teeth의 끝단에서 가장 크게 나타난다. Fig. 10에서 보듯이 고정자 teeth 끝단에 전자기력 분포가 집중됨을 확인할 수 있다. 즉, 전자기력이 고정자 teeth의 끝단에 작용하여 teeth 진동을 발생시킴을 추측할 수 있다.

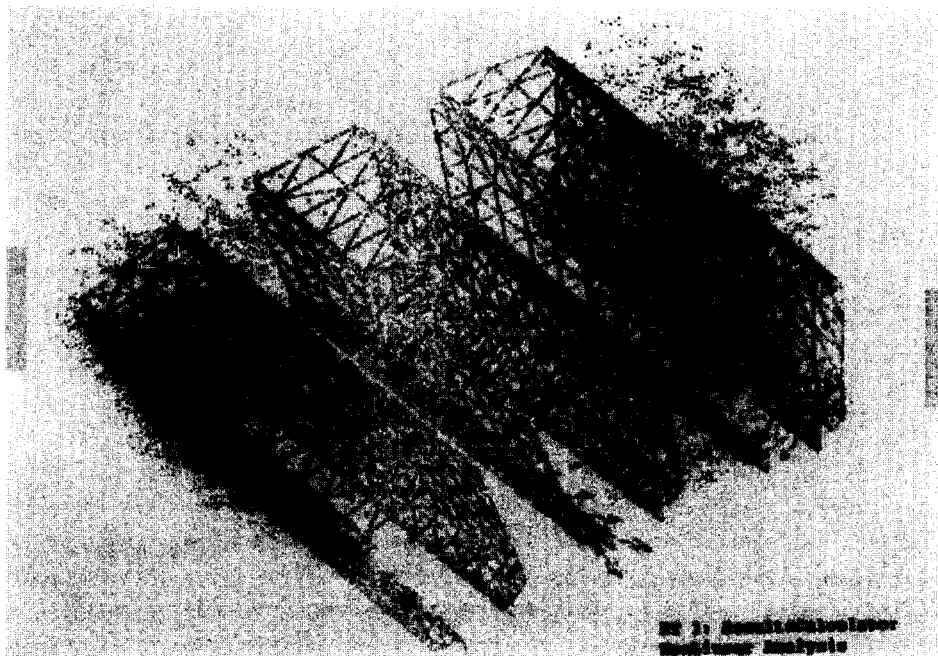


Fig. 10 Electromagnetic force distribution of stator teeth (4500 rpm)

6. 결 론

전기적 설계시방과 관련된 사항을 제외한다면 전자기 소음에 대한 대책으로는 고정자와 회전자의 동심도 오차를 최대한 줄여 그 사이의 에어갭 (air gap)에서 자기흡인력의 불평형을 최대한 줄여야 한다. 고정자는 브라켓에 의해 지지되고 회전자는 브라켓의 베어링에 의해 지지되므로 회전자와 고정자 사이의 동심도는 각 구조부재의 공차와 조립의 정밀도가 복합적으로 영향을 미친다. 따라서 가공 및 공정상의 문제도 상당히 중요하다고 할 수 있다. 또 다른 한편으로는 각 구조부재의 강성과 고유진동 특성의 변화를 통하여 전자기력에 의한 구조부재의 진

동을 감쇄시키는 것이 대책으로 논의될 수 있다.

본 연구에서는 차량용 교류발전기의 일반적인 소음진동 특성에 대하여 고찰하였으며, 특히 고정자 teeth의 진동에 의한 전자기소음의 발생현상을 확인하였다. 고정자 teeth의 진동 현상을 실험적으로 측정하여 검증하였으며, 전자장해석 소프트웨어인 MSC/EMAS를 이용하여 고정자 teeth에 작용하는 전자기력 분포를 확인하였다.

참 고 문 헌

- (1) 三輪修三, 1992, “회전기계의 진동·소음,” 도서출판 세화
- (2) Takayuki Nagal, 1992, “Acoustic Noise Reduc-

tion in Automobile Alternator by Constrained Layer Damping of the Stator," SAE 920407

- (3) 平田他, "誘導電動機の負荷時の騒音について," 日本電氣學會技術報告, 제120호
- (4) 한국표준연구소, 1988, "자동차용 Alternator의

소음특성규명 및 소음감소 대책"

- (5) P. L. Tímár, 1989, "Noise and Vibration of Electrical Machines," Akadémiai Kiadó és Nyomda Vállalat, Budapest, Hungary