

침탄치차의 AE법에 의한 크랙발생의 계측에 관한 연구

A Study on Crack Initiation Measurement of Carburized Gear Tooth by Acoustic Emission

류 성 기*

Sung-Ki Lyu

ABSTRACT

Acoustic emission technique is applied to the fatigue crack initiation in a carburized gear tooth. Acoustic emission test performed on carburized gear and three-point bending test equal to carburized gear hardness.

The marked acoustic emission are detected at the early stage of crack initiation measured by a crack gauge and the final stage just before the tooth failure. The estimated acoustic emission energy rate are characteristic of the measured acoustic emission.

1. 서 론

동력 전달용 치차에 침탄처리를 실시함으로써 표면 경화층이 형성되고 압축잔류응력이 생성된다. 저자는¹⁾ 이 표면 경화층과 압축잔류응력이 치차의 굽힘피로강도에 미치는 영향을 밝히고, 피로 크랙진전에 대하여 일련의 기초적인 연구를 행하였다. 즉 잔류응력의 영향을 고려한 응력확대계수를 구하고²⁾, 크랙 진전을 경도의 함수로서 나타내어, 침탄치차의 크랙진전을 해석하였다. 또한, 피로파괴 과정이 크랙진전 과정에 있다고 가정하여

초기크랙길이를 계산하였다³⁾.

재료의 국소적인 변형과 파괴를 계측하는 방법으로서 AE(Acoustic Emission)법은 유효하다. AE는 재료가 변형 또는 파괴될 때 축적되어진 탄성에너지가 해방되어 탄성파로 되어 전파하는 현상으로서 재료내의 동적인 변화를 아는 데에 적절하다^{4,5)}. 그러나 치차의 굽힘피로손상에서 AE를 계측하고 고찰을 행한 예는 지금까지 많지 않다⁶⁾.

따라서 본 연구에서는 침탄치차의 크랙발생, 수명 등을 알기 위한 기초로서 굽힘피로 시험에 AE법을 적용하여 크랙 발생과 함께 동적변화를 계측하여 AE와 크랙발생의 관계를 정량적으로 고찰하

* 전북대학교 공과대학

는 것을 목적으로 한다.

2. AE 측정

AE측정에는 AE검출기(MD-1100SS, (주)SUN 전자공업)를 사용하였다. AE측정장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

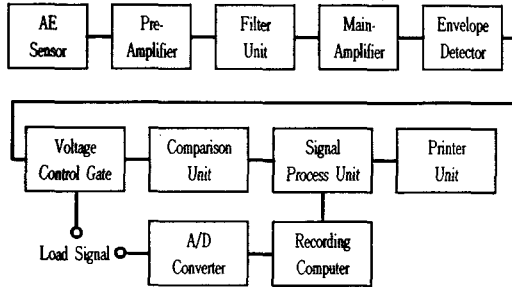


Fig. 1 Block diagram for AE measurement

시험편 표면에 붙인 AE센서가 AE신호를 검출하여 pre-amplifier에서 검출된 다음, 노이즈를 감소시키는 필터 유닛을 통한 후 main-amplifier에서 증폭되어 진다. 이때 공진형센서에서 검출된 AE신호중 피크값을 기록하고 다음단계의 비교 유닛에 입력된다. 비교 유닛에서는 8레벨로 분류하여 신호처리 유닛에서 측정시간 간격 중 각 레벨들의 사상수를 적산한다. 그 결과는 프린트에 출력되고 또 기록용 컴퓨터에도 보존된다.

통상 AE센서를 측정대상에 고정할 때에는 순간 접착제를 사용하였다. 그러나 AE센서를 시험편과 착탈할 때 파괴되지 않도록 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 AE신호의 감쇠를 적게하기 위해 센서의 선

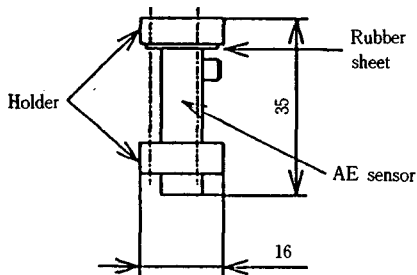


Fig. 2 Shape of AE sensor

단에는 실리콘그리스를 바르고 다른쪽에는 고무시트를 끼워 넣었다.

그리고 본 장치에서는 8레벨로 나누어진 AE사상수로부터 AE에너지값 E_{AE} 를 다음식으로 계산하여 구한다.

$$E_{AE} = \sum_{i=1}^8 n_i \left(\frac{v_i + v_{i+1}}{2} \right)^2 \quad (1)$$

n_i : 레벨 i 의 사상수,

v_i : 레벨 i 의 전압설정값

여기에서 증폭율이 다른 실험조건하에서 얻어진 AE에너지값의 비교를 가능하도록 전압설정값을 조절하여 출력단의 값으로 환산하였다. 식(1)의 에너지값은 검출된 AE파의 강도분포를 포함하고 있고, 파괴현상의 정량적 해석에 적합하다. AE에너지값을 측정시간 간격에 포함되는 피로부하 반복회전수 n 으로 나누면 AE에너지율 E_{AE}/n 이 계산된다.

Table 1 condition of AE measurement

AE signal level	20~50dB	
AE signal filter	100kHz H. P. F.	
AE peak level(V)	Lv1	0.10~0.14
	Lv2	0.14~0.20
	Lv3	0.20~0.28
	Lv4	0.28~0.39
	Lv5	0.39~0.56
	Lv6	0.56~0.79
	Lv7	0.79~1.12
	Lv8	1.12~
Print interval time	10sec	
V. C. G. open load	0.8Pmax~	

AE측정조건은 다음에 논하는 탄소강의 3점 굽힘피로시험과 침탄치차의 굽힘피로시험 모두 동일하며, 그 측정조건을 Table 1에 나타냈다.

3. 탄소강의 3점굽힘피로시험

3.1 목적

비교적 잡음이 적은 3점굽힘피로시험에서 AE를 측정하고 크랙발생 및 진전과 AE의 관계를 고찰하는 것을 목적으로 한다.

3.2 시험편의 제원

시험편으로서 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 라운드노치가 있는 3점굽힘시험편을 사용하였다. 재질은 STC3이고 Fig. 4와 같이 열처리를 하였다. 크랙근방의 측면 및 그 단면에서 경도를 측정하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 평균치는 765Hv가 얻어졌으며, 이 값은 침탄치차의 경화층 최대값 (Fig. 10참조)과 거의 일치하였다.

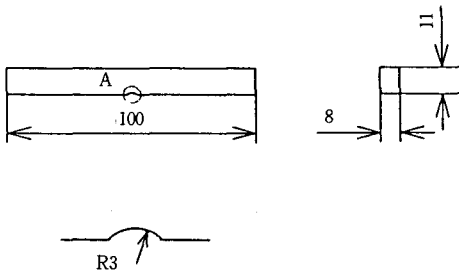


Fig. 3 Shape of three-point bend specimen

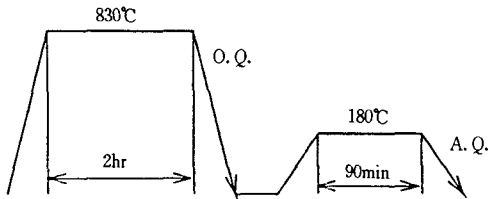


Fig. 4 Condition of heat-treatment

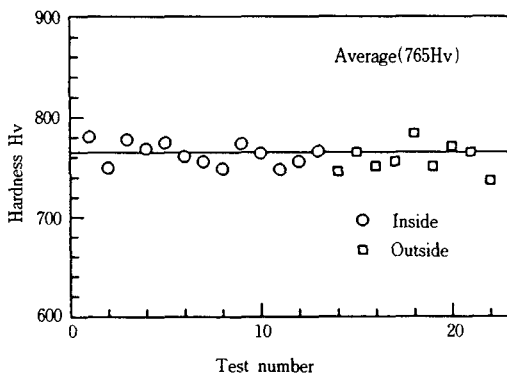


Fig. 5 Hardness distribution of three-point test

3.3 실험방법

3점굽힘피로시험기의 개략도를 Fig. 6에 도시하였다. Fig. 6에는 AE센서를 붙이는 위치도 함께 나타냈다. 센서는 순간접착제를 사용하여 고정하였다. 반복회전수 속도는 15Hz로 하였고 인장축 표면의 응력레벨 S는 1200MPa, 1040Mpa, 960MPa를 주었다.

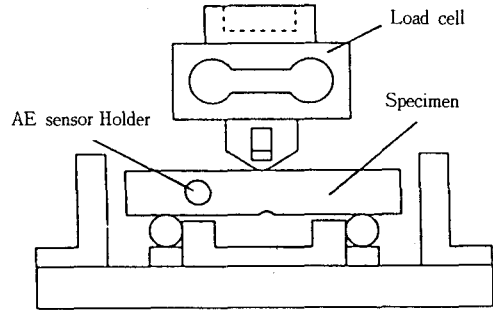


Fig. 6 Loading system of three-point bend test

3.4 실험결과 및 고찰

응력레벨 960MPa에서 Over All AE와 peak load AE의 측정결과와 예를 각각 Fig. 7, 8에 나타냈다. over all AE측정에서는 노이즈라고 생각되어지는 AE가 많이 검출되고 있지만, peak load AE의 측정에서는 측정개시값 후의 초기변형과 하중의 불안정에 의해 AE신호이외의 노이즈가 제거되고 있다. 시험편이 파단될 때 커다란 AE가 검출되고 있는 점으로 보아, peak load AE는 크랙의 발생 및 진전에 대응된다고 생각된다. 다른 응력레벨의 경우에도 적은 반복회전수에서 파단되지만, peak load AE에서 노이즈가 제거되는 점과,

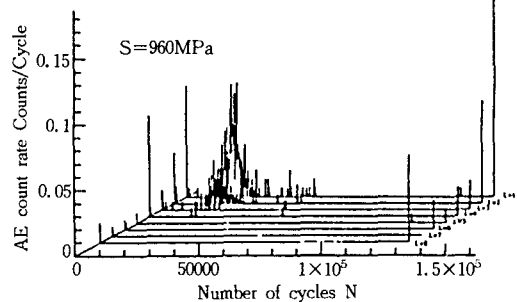


Fig. 7 AE counter rate of over all

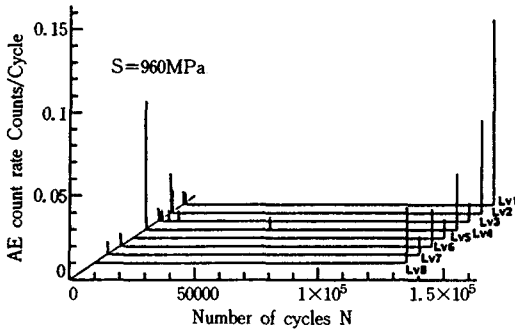


Fig. 8 AE counter rate of peak load

Fig. 8에 나타난 바와 같이 파단시에 커다란 AE 신호가 검출되는 점등은 위의 결과와 같았다. 크랙 진전은 측정되지 않을 정도로 빠르기 때문에 시험편의 파단을 크랙발생이라고 가정하면 크랙발생시에만 AE가 검출되고 있다.

4. 침탄 치차의 굽힘 피로 시험

4.1 목적

침탄치차의 굽힘피로시험에 있어서 AE측정을 하였다. 동시에 detective gauge(D.G)와 crack gauge(C.G)를 이용하여 크랙상태를 관찰하여, AE와 크랙 발생의 관계를 정량적으로 고찰한다.

4.2 시험 치차 제원

시험 치차는 SCM415재의 침탄치차를 이용하였다. 시험치차의 제원을 Table 2에, 시험치차의 기계가공 및 열처리 조건을 Fig. 9에 나타냈다. 시험치차의 이뿌리면 위험단면 부근의 깊이방향의 경도를 측정하여 그 결과를 Fig. 10에 나타냈다. 경

Table 2 Dimension of test gears

Module m [mm]	5
Number of teeth	18
Pressure angle[deg]	20
Profile modification coefficient	0
Face width [mm]	8.0± ^{0.01}
Tip diameter [mm]	ø100.0± ^{0.01}
Finish	Hobbed
Material	SCM415
Heat treatment	Carburized

도측정결과 표면경도 705Hv, 최대경도 761Hv, 심부경도 318Hv, 유효침탄깊이 0.85mm가 얻어졌다.

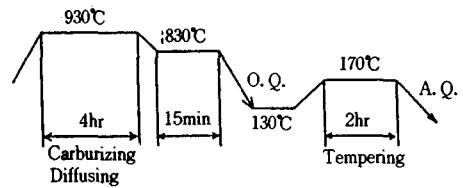
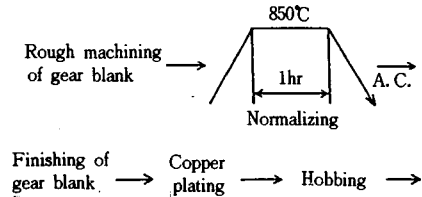


Fig. 9 Machining process and condition of heat-treatment

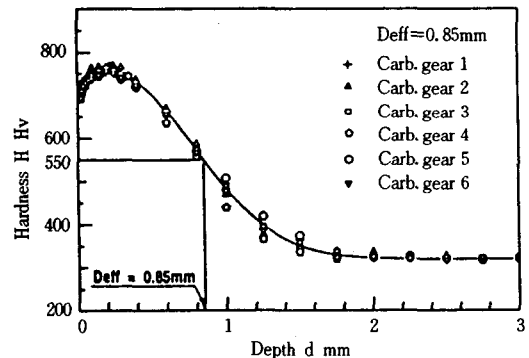


Fig. 10 Hardness distribution of carburized gears

4.3 실험 장치

치차의 굽힘피로시험기의 개략도를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에는 AE센서의 위치도 함께 나타냈다. 반복회전 속도는 3점굽힘피로시험과 똑같이 15Hz로 하였고, 인장축 최대 실용력 1040M-Pa에 상당하는 응력을 이끌선단에 하중을 주었다. 또 D.G와 C.G의 붙이는 위치를 Fig. 12에 도시하였다.

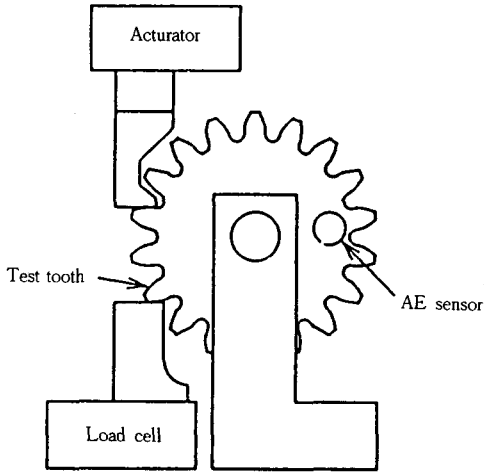


Fig. 11 Loading system of gear tooth bending test

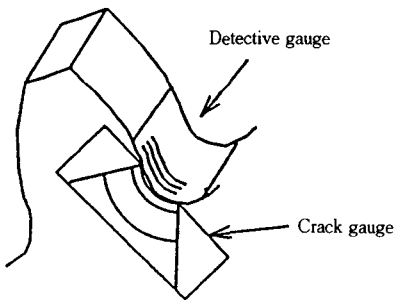
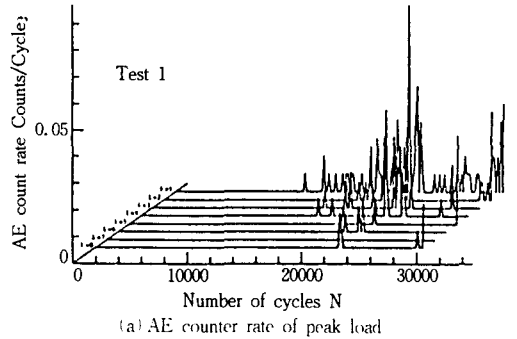


Fig. 12 Location of D. G. and C. G

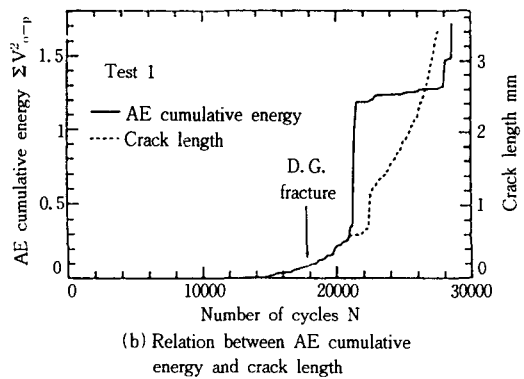
4.4 실험 결과 및 고찰

침탄치차의 굽힘피로시험에서 AE측정 결과의 예를 Fig. 13(a), (b) 나타내었다. Fig. 13(a)는 AE카운터율, Fig. 13(b)는 AE에너지 누적값과 C.G.를 이용한 크랙길이의 측정결과를 나타냈다. D.G. 절단 부근에서 적은 에너지값의 AE가 1000 사이클 후에 커다란 에너지의 AE로 검출되었다. 또, D.G. 절단전후 1000사이클의 AE에너지율을 구해 5번의 실험결과를 정리하여 Fig. 14에 나타냈다. Fig. 14로부터 D.G. 절단시에 적은 에너지값의 AE가 검출되지 않는 경우가 많았다. 이것은 폐미소한 크랙의 발생 때문에 AE의 발생이 있었는지를 본 실험에서 설정하고 있는 8레벨에서는 검출되지 않는 점이 원인이라고 여겨지며, 차후 개

선 할 필요가 있다고 생각된다.



(a) AE counter rate of peak load



(b) Relation between AE cumulative energy and crack length

Fig. 13 Result of AE measurement

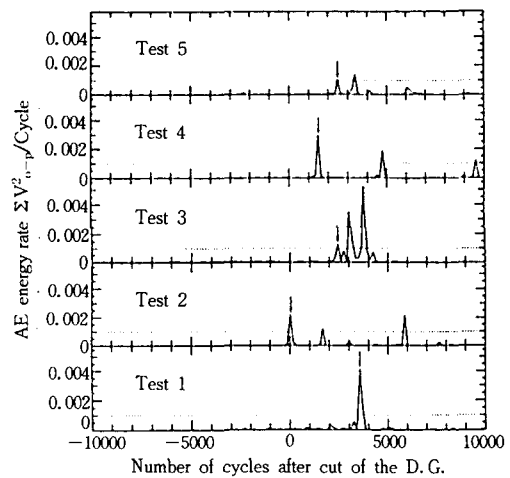


Fig. 14 AE energy rate after cut of the D. G.

그러나, D.G. 절단후부터 4000사이클 후까지 커다란 에너지값의 AE가 검출되었다. 앞에서 논한 3점굽힘시험 결과와 같이 크랙의 발생시에만 peak load AE가 검출되는 점으로부터 보아 실험에서의 peak load AE는 크랙발생 및 진전에 대응된다고 사료된다.

본 연구에서 D.G.는 AE계측의 보조로 사용되었고, 전체적으로 보면 AE는 비교적 커다란 에너지값으로 나타났다. $0.001 \Sigma V^2_{-p}/\text{cycle}$ 을 넘는 시점을 AE측정에 있어 크랙발생이라고 생각된다.

5. 결 론

침탄치차의 경화층과 같은 정도의 경도를 가진 탄소강의 3점굽힘피로시험에 있어서 AE측정을 행하였다. 그 결과 peak load AE는 크랙발생 및 진전에 대응된다고 사료되며 시험편의 파단을 크랙발생이라고 가정하면 크랙발생시에만 AE가 검출된다는 점을 알았다.

침탄치차의 굽힘피로시험에 있어서 AE측정에 의한 D.G. 절단으로부터 4000사이클까지의 사이

에 $0.001 \Sigma V^2_{-p}/\text{cycle}$ 를 넘는 비교적 커다란 에너지값의 AE가 검출되었다. 이것은 3점굽힘시험의 결과로부터 이와 같은 AE검출의 시점을 AE측정에 있어 크랙발생이라고 사료되며, AE에너지율을 평가량으로 하여 침탄치차의 크랙진전에 따른 AE의 특징을 밝혔다.

참 고 문 헌

- 1) 柳晟基外4人, 浸炭齒車の 曲げ疲労強度に 及ぼす 表面處理の 影響, 日本機械學會, 60卷 572號C偏, 1391-1396, 1994.
- 2) 柳晟基外3人, Shot Peened 浸炭齒車の 殘留應力推定 および 應力擴大係數に 對する 影響, 日本機械學會, 60卷578號C偏, 3504-3509, 1994.
- 3) 柳晟基, 東北大學大學院 博士學位論文(1994).
- 4) 國尾外2人, 破壞力學實驗法, 朝倉書店, 1984.
- 5) 大津: AE의 特性と 理論, 森北出版, 1988.
- 6) 小田 外3人, 齒車の 疲労損傷の AE計測, 日本機械學會, 58卷551號C偏, 2219-2225, 1992.