

## 교류전위차법을 이용한 효과적인 응력확대계수의 측정 방법 Effective Way of Measuring $K_I$ by Means of ACPD Technique

이 정 회\*  
 Jeong-Hee Lee\*

초 록 교류전위차법(alternating current potential drop : ACPD)을 이용하여 이차원 표면균열을 갖고 있는 강자성체(ferromagnetic material)와 상자성체(paramagnetic material)의 모드 I (opening mode) 응력확대계수( $K_I$ )를 효과적으로 계측하는 방법을 개발하기 위하여 하중에 따른 교류전위차 변화(change in ACPD)에 미치는 자속(magnetic flux)의 영향을 연구하였다. 그리고 하중에 따른 전위차 변화에 미치는 탈자(demagnetization) 및 균열길이의 영향을 연구하였다. 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계의 경우 하중에 따른 교류전위차 변화량은 크게 증가하였다. 아울러 교류전위차 변화와 응력확대계수 변화 사이의 관계는 탈자 등의 조치가 없어도 선형적이며, 탈자는 전위차 변화에 거의 영향을 미치지 않았다. 일정  $K_I$  변화에 의한 전위차 변화량은 균열길이에 의존하지 않고 계측계에 의존한다. 교류전위차법을 이용하여 효과적으로 응력확대계수를 결정하는 방법은 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계를 사용하여 교류전위차 변화를 측정하는 것이다.

**Abstract** In order to develop an effective way of measuring the mode I stress intensity factor,  $K_I$ , by the technique based on the alternating current potential drop (ACPD), the effect of the magnetic flux in the air on the change in potential drop due to load for both ferromagnetic and paramagnetic materials containing a two-dimensional surface crack was investigated. Additionally the effects of the demagnetization and the crack length on the change in potential drop were examined. In the case that the measuring system was designed to induce a large amount of electromotive force, the amount of the change in potential drop due to load was shown to increase largely. Also the relationship between the change in potential drop and that in  $K_I$  was indicated to be linear without any treatment and it was shown that the demagnetization had almost no effect on the change in potential drop. The change in potential drop did not depend on the crack length but on the measuring system. For the application of the ACPD technique to determine  $K_I$ ,

### 1. 서 론

기계구조물의 건전성을 선형파괴역학을 기초로 평가하려고 할 때 모드 I 응력확대계수를 알면 용이하다. 기계구조물의 형태 및 하중조건이 간단한 경우 응력확대계수는 이론적으로도 쉽게 구할 수 있다. 그러나 기계구조물의 형태 또는 하중조건이 복잡하면 경계조건이 모델화가 어려워 응력확대계수의 이론적 계산이 항상

용이한 것만은 아니다. 최근 Saka[1]는 고주파의 교류전류가 재료의 표면과 균열면을 따라서 흐른다는 표피효과(the skin effect)를 이용하여, 응력에 의하여 변하는 교류전위차를 측정하여 실험적으로 응력확대계수를 구하는 방법을 제안하였다. 이 방법의 가장 큰 장점은 응력확대계수를 재료의 표면에서 계측할 수 있다는 점이다.

이정회는 교류전위차법을 이용하여 강자성체(fer-

romagnetic material)(2,3)와 상자성체(paramagnetic material)(4)의 응력확대계수 결정을 위하여 동축선의 원리를(5) 이용하여 시험편 외부의 공기중 자속을 제거한 계측계를 고안하고 이를 이용하여 하중에 따른 전위차 변화의 원인과 하중에 따른 전위차 변화에 미치는 자속의 영향을 연구하였으며, 하중이력이나 잔류응력에 의한 강자성체의 국부적인 자화(magnetization)를 제거하기 위해 실시하는 탈자 하중에 따른 전위차 변화에 미치는 영향도 규명하였다. 아울러 응력확대계수는 균열길이와 함수관계를 가지고 있으므로 균열길이가 전위차 변화에 미치는 영향을 연구하였다. 계측계가 시험편 외부의 자속에 영향을 받지 않는 경우 하중에 의한 교류전위차 변화의 원인은 균열 선단의 변형률에 의한 균열선단의 전자기 물성치(electromagnetic properties)의 변화 즉 강자성체에서는 투자율(permeability)의 변화(2), 상자성체에서는 도전율(conductivity)의 변화(4)이었다. 전위차 변화량은 시험편 주위의 자속에 영향을 받았다. 탈자는 강자성체의 하중에 따른 전위차 변화에 큰 영향을 주었으나 상자성체의 하중에 따른 전위차 변화에는 영향을 미치지 않았다. 단위  $K_I$ 의 증가에 따른 전위차 변화량은 균열길이에 의존하지 않았다.

참고문헌 [2], [3] 및 [4]에서 시험편 외부 자속을 전부 제거한 계측계로 균열을 가진 강자성체인 강(JIS G 4103 SNCM439)과 상자성체인 알루미늄 합금(JIS H4000 A2017) 시험편에 인장하중을 증가시키면서 10kHz, 1A의 전류를 이용하여 측정된 전위차 변화량은 각각  $0.041\mu V/(MPa \cdot m^{1/2})$ 과  $-0.053\mu V/(MPa \cdot m^{1/2})$ 로 그 크기가 매우 작다. 현장에서 참고문헌 [2], [3] 및 [4]에 사용한 것과 같은 계측계들을 사용하여 응력확대계수를 계측하려고 하면 하중에 따른 전위차 변화량이 매우 작아 계측의 감도가 나쁘다. 따라서 이를 보다 효과적으로 수행하기 위하여 감도가 좋은 전위차 변화 계측 기술의 개발이 필요하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 보다 효과적으로 응력확대계수를 계측할 수 있는 계측계에 대하여 연구하였다. 아울러 새로 개발한 계측계에 있어서 하중에 따른 전위차 변화에 미치는 자속, 탈자 및 균열길이의 영향을 연구하였다.

2. 실험

강자성체의 한 예인 강(JIS G4103 SNCM439)과 상자성체의 한 예인 알루미늄 합금(JIS H4000 A

2017)으로 시험편을 제작하였다. 시험편의 형상은 Fig. 1과 같으며, 시험편의 2차원 표면균열은 2mm의 초기 노치팁(initial notch tip)으로부터 3점 굽힘(three-point bending)에 의한 피로로 삽입하였다. 이때 사용한 피로주파수는 10Hz, 파형은 사인파(sine wave)이었다. 또 피로시험중 시험편에 가한 최대하중은 강과 알루미늄 합금에 대하여 응력확대계수의 값으로 각각 26.5와  $13.6MPa \cdot m^{1/2}$ 이며, 응력비(stress ratio)는 0.1 이었다. 초기 노치 길이와 피로 균열의 길이를 합한 시험편의 균열길이는 강의 경우 6.1, 9.5과 13.1mm, 알루미늄 합금의 경우 6.1, 10.4 및 12.4mm의 각각 3 종류를 준비하였다. 균열길이는 전위차 측정을 모두 끝낸 후 시험편을 파괴하여 측정된 값이다.

전위차를 측정하기 위해 1A, 10kHz의 일정한 교류 전류를 function generator와 power amplifier를 사용하여 시험편에 공급하였다. 그리고 교류전위차를 x-y mode의 lock-in amplifier와 두 개의 전압계를 사용하여 3점굽힘에 의한 정하중 상태에서 측정하였다. 이때 3점굽힘시험의 주지지 span의 거리는 120mm, 시험편 위의 전류입출력점 사이의 거리는 60mm 그리고 전위차 측정점 사이의 거리는 20mm이었다.

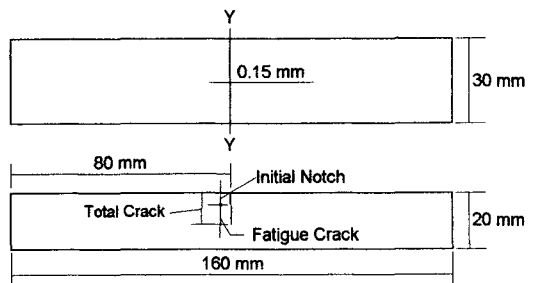


Fig. 1 Geometry of specimen

전위차를 계측하기 위하여 4종류의 계측계를 제작하였다. 이후 이들을 시스템 1에서 시스템 4라고 하며, 각각의 개략도는 Fig. 2에서 Fig. 5와 같다. 시스템 1은 시험편 외부의 공기중 자속을 제거하기 위해 동축선의 특성을 이용하여 제작되었다. 구리상자와 시험편을 전선(wire)으로 연결하여 구리상자와 시험편에 흐르는 전류의 방향이 서로 반대가 되게 하였다. 구리상자와 연결된 전선의 집합부를 제외한 시험편의 모든 표면을 절연 테이프로 구리상자와 절연하였다. 시스템

1의 경우 전류는 시험편의 표면을 따라 흐른 후 구리상자로 되돌아 흐르도록 하여 구리상자의 외부에는 자속이 거의 존재하지 않게 하였다(2-4). 구리상자는 시험

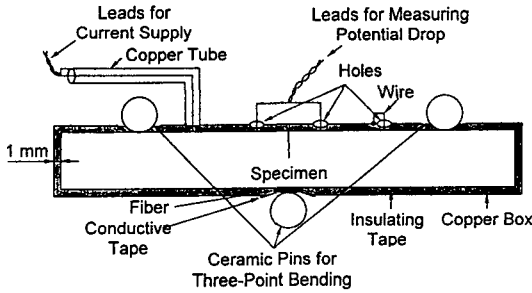


Fig. 2 Schematic diagram of system 1

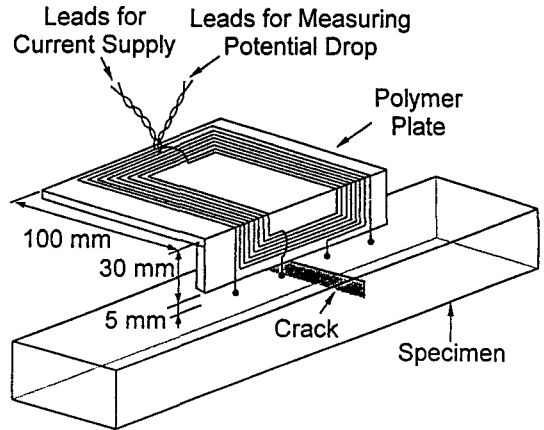


Fig. 5 Diagram showing system 4

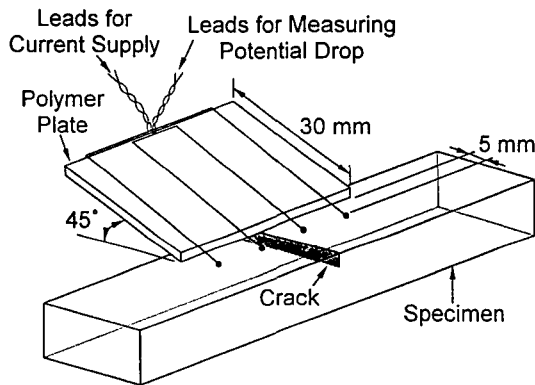


Fig. 3 Diagram showing system 2

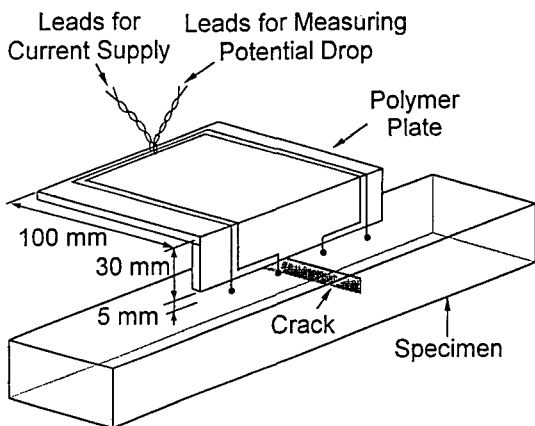


Fig. 4 Diagram showing system 3

편에 하중을 가할 때에도 하중의 영향을 전혀 받지 않도록 고안되었다. 다른 3개의 시스템에서는 전류 입출력선과 전위차 계측선간의 거리를 조정하거나 전위차 계측선과 시험편이 만드는 폐곡선의 면적을 조정하여 각각 다른 양의 기전력이 계측계에 유도되도록 하였다. 시스템 4는 Fig. 5와 같이 계측계가 유도할 수 있는 기전력을 극대화하기 위하여 전위차 계측선을 전류 입출력선 가까이 까지 연장하고 전위차 계측선을 코일과 같이 감았다. 시스템 2, 시스템 3 그리고 시스템 4에 10kHz의 1A 전류를 공급할 경우 전위차 계측선과 시

Table 1 Four kind of experiment

Case	Specimen	Loading
A	Not demagnetized	Increasing
B	Not demagnetized	Decreasing
C	demagnetized	Increasing
D	demagnetized	Decreasing

Table 2 Initial load,  $K_{II}$ , used

Material	Total crack length(mm)	$K_{II}$ MPa·m <sup>1/2</sup>	
		Increasing load	Decreasing load
SNC439	6.1	1.15	24.2
	9.5	1.16	24.3
	13.1	1.26	26.3
A2017	6.1	0.58	11.1
	10.4	0.66	12.4
	12.8	0.60	11.2

시험편이 만드는 폐곡선에 유도되는 기전력의 양은 각각 1.6, 13.8 과 64.9mV이다. 교류전위차 측정의 재현성을 높이기 위하여 전류공급선과 전위차 계측선을 합성수지판에 고정시켰다.

시험편의 탈자는 Fig. 1의 Y-Y 방향으로 1.6mm의 전선을 100회 감아서 만든 전자석을 이용하여 수행되었다. 전자석으로 처음 30000A/m의 자계를 공급한 후 이를 0까지 천천히 줄이면서 시험편을 탈자하였다.

각 시스템에 대하여 Table 1에 표시한 4종류의 시험을 수행하였으며, 이들을 각각 Case A, Case B, Case C 및 Case D라고 한다. Case A와 Case B는 각각 탈자하지 않은 시험편에 하중을 증가, 감소시키면서 교류전위차 변화를 측정하였다. 하중의 증가 및 감소는 초기하중으로부터 시작되었으며, 초기하중의  $K_I$  값( $K_{II}$ )은 Table 2와 같다. 하중 증가시의 초기하중은 loading fixture위에 시험편을 고정시키기 위하여 가했다. 한편 Case C와 Case D는 각각 탈자한 시험편에 하중을 증가와 감소를 하면서 교류전위차 변화를 측정하였다. 시험편의 탈자는 초기하중이 시험편에 가해진 상태에서만 수행되었다. 교류전위차의 측정은 실온에서 강의 경우는 11단계의 다른 정하중 하에서 수행되었으며, 알루미늄 합금은 10단계의 다른 정하중 하에서 수행되었다. 교류전위차 변화를 측정하기 위해 시험편에 가한 최대 정하중의  $K_I$  값은 강과 알루미늄 합금의 시험편에 각각 피로균열을 삽입할 때 사용한 최대하중인 26.5와 13.6  $MPa \cdot m^{1/2}$  보다 작다.

### 3. 결 과

#### 3.1. 자속의 효과

Case A 및 Case B의 교류전위차 변화량은 고려중인 하중에서의 교류전위차로부터 Case A의 초기하중에서의 교류전위차를 뺀 값으로 이는 Case A의 실험을 수행한 후 연속적으로 Case B를 수행하기 때문에 전위차 변화의 가역성을 비교해 보기 위해서 이다.

Case C 및 Case D의 교류전위차 변화량은 고려중인 하중에서의 교류전위차로부터 초기하중에서의 교류전위차를 뺀 값이다. Fig. 6은 유도기전력의 영향을 작게 받는 시스템 1과 2에서 Case A 및 Case B의 경우  $K_I$ 의 변화에 대한 전위차 변화를 나타낸 그림이며, 시험편에 가해지는 인장하중의 증가 및 감소를 화살표로

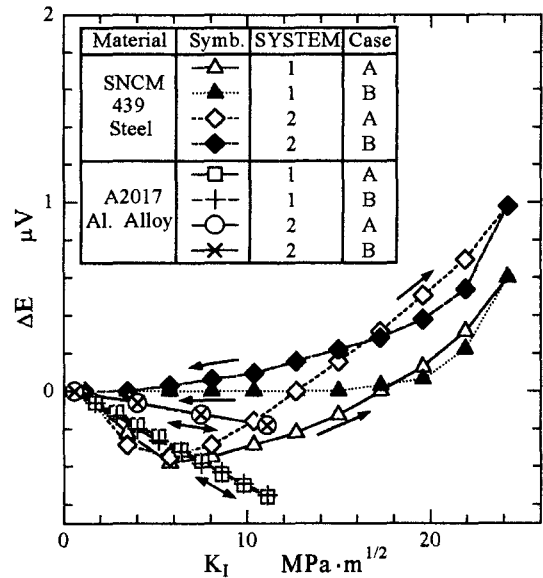


Fig. 6 Change in potential drop with  $K_I$  measured by systems 1 and 2 for not demagnetized specimen with crack length 6.1mm

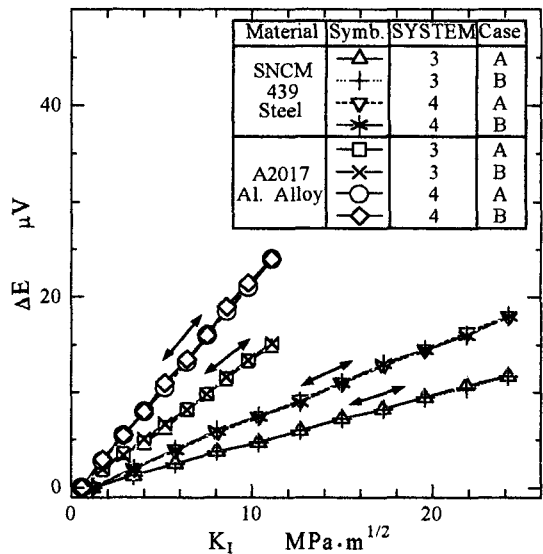


Fig. 7 Change in potential drop with  $K_I$  measured by systems 3 and 4 for not demagnetized specimen with crack length 6.1mm

표시하였다. 이 그림에서  $\Delta E$  와  $K_I$  의 관계는 강 의 경우 비선형적이며, 알루미늄 합금 의 경우 인장하중의 증가에 따라 교류전위차는 선형적으로 감소하였다. 시스템 1과 2에 있어 사용된  $K_I$  의 범위 내에서 강과 알루미늄 합금의 교류전위차 변화량의 절대값은  $1 \mu V$ 보다 작다.

Fig. 7은 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계, 시스템 3과 4에서 Case A 및 Case B의 경우  $K_I$  의 변화에 대한 전위차 변화를 나타낸 그림이다. Fig. 7에서 인장하중의 증가에 따른 교류전위차 변화량은 Fig. 6에 비하여 크게 증가하였으며,  $\Delta E$  와  $K_I$  의 관계는 두 재료에 대하여 모두 선형적이었다. 이 결과로부터 두 가지 사실을 알 수 있다. 첫째, 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계에 있어 하중 증가에 따른 큰 값의 교류전위차 변화를 측정할 수 있다. 그러므로 전위차 변화의 계측 감도를 향상시키기 위하여 많은 기전력을 유도할 수 있도록 설계된 계측계를 사용하여야 한다. 둘째, 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계의 경우  $\Delta E$  와  $K_I$  의 관계는 아무런 처리 없이도 선형적인 관계를 갖는다. 시스템 3과 4의 Case A의 경우 단위증가의  $K_I$  에 의한 전위차 변화량은 강 의 경우 각각  $0.511$  과  $0.766 \mu V/(MPa \cdot m^{1/2})$ 이며, 알루미늄 합금의 경우 각각  $1.416$ 과  $2.281 \mu V/(MPa \cdot m^{1/2})$ 이다.

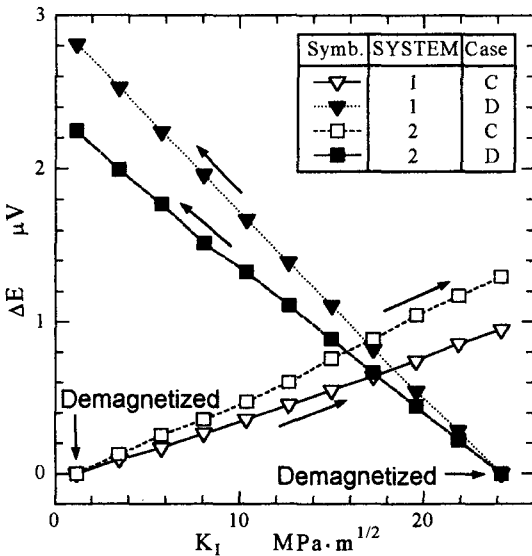


Fig. 8 Change in potential drop with  $K_I$  measured by systems 1 and 2 for demagnetized steel with crack length 6.1mm

### 3.2. 탈자의 효과

Fig. 8은 유도기전력의 영향을 적게 받도록 설계된 계측계, 시스템 1과 2로 균열길이가 6.1mm인 강 의 시험편에 탈자한 경우  $K_I$  의 변화에 대한 교류전위차 변화를 나타낸 그림이다. Fig. 6과 Fig. 8을 비교해보면 강 의 경우 하중에 의한 교류전위차 변화량은 탈자에 많은 영향을 받고 있으며, 탈자에 의하여  $\Delta E$  와  $K_I$  의 관계는 선형적으로 변하였다. 한편 Fig. 9는 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계, 시스템 3과 4로 균열길이가 6.1mm인 강 의 시험편에 탈자한 경우  $K_I$  의 변화에 대한 교류전위차 변화를 나타낸 그림이다. Fig. 7과 Fig. 9를 비교해 보면 계측계가 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 경우 탈자는 거의 전위차 변화량에 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있다. 이 사실로부터 계측계가 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 경우 하중에 따른 전위차 변화는 자화에 영향을 거의 받지 않고 있음을 알 수 있다. 상자성체의 하중에 의한 교류전위차 변화는 탈자에 영향을 받지 않았다.

### 3.3. 균열길이의 효과

전위차 변화에 대한 균열길이의 영향을 평가하기 위

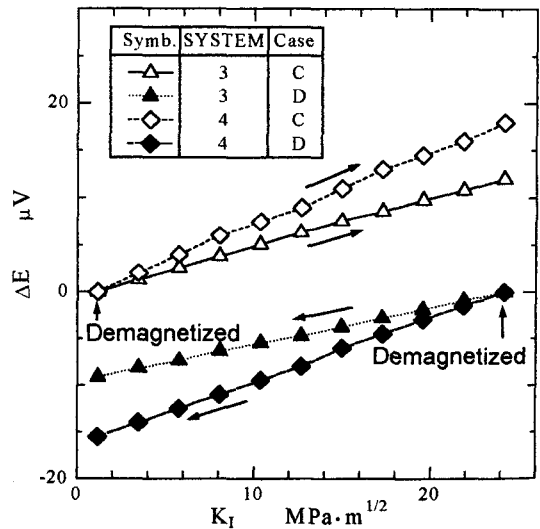


Fig. 9 Change in potential drop with  $K_I$  measured by systems 3 and 4 for demagnetized steel with crack length 6.1mm

하여 각각의 재료에 대하여 다른 균열길이를 가진 3 종류의 시험편을 사용하여 실험을 수행하고 얻은 결과의 일부를 Fig. 10에 나타내었다. Fig. 10의 횡축의 양  $K_I - K_{II}$  는 서로 다른  $K_{II}$  값에서 얻은 결과를 동일한 점에서 시작하도록 결과를 정리하기 위하여 사용하였다. 그림에서 동일한 계측계에 대하여 일정  $K_I$  변화에 의한 전위차 변화량은 균열길이에 의존하지 않음을 알 수 있다.

4. 고 찰

시스템 4와 같이 시험편 내외부에 자속이 존재하고 계측계가 기전력을 많이 유도할 수 있는 경우 하중에 의한 교류전위차 변화의 주된 원인을 알아보려고 한다. 시스템 4는 시험편 내외부에 자속이 존재하고 계측계가 기전력을 많이 유도할 수 있으므로 시험편과 계측계를 Fig. 11과 같이 상호인덕턴스(mutual inductance)를 고려한 전기회로로 모델화 할 수 있다. 여기서  $I$ 는 총전류,  $Z$ 는 전위차계측에 사용된 lock-in amplifier의 임피던스(impedance),  $L_2$ 는 전위차계측의 인덕턴스(inductance),  $I_1$ 은  $Z$  쪽으로 흐르는 전류,  $L_3$ 은 전류입출력선의 인덕턴스이며,  $R, L_1$  및  $L_e$ 는 각각 시험편의 저항, 내부 인덕턴스(internal in-

ductance) 그리고 외부 인덕턴스(external inductance)이다. 또  $M_1$ 은  $L_1$ 과  $L_3$ ,  $M_2$ 는  $L_2$ 와  $L_3$  그리고  $M_3$ 은  $L_1$ 과  $L_2$  사이의 상호인덕턴스이다. Fig. 11의 점 C와 D사이에는 병렬회로이므로

$$R(I - I_1) + j\omega(L_1 + L_e)(I - I_1) + j\omega M_1 I - j\omega M_3 I_1 = ZI_1 + j\omega L_2 I_1 - j\omega M_2 I - j\omega M_3 (I - I_1) \dots (1)$$

을 얻을 수 있으며, 여기서  $\omega$ 는 교류전류의 각주파수이다. lock-in amplifier에 계측된 전위차  $E$ 는

$$E = ZI_{10} \dots \dots \dots (2)$$

이며, 여기서  $I_{10}$ 은  $I_1$ 의 크기이다. lock-in amplifier의 임피던스는 시험편의 임피던스보다 대단히 크기 때문에 식 (1)과 (2)로부터 전위차는

$$E = \sqrt{R^2 + \left\{ \omega(L_1 + L_e + M_1 + M_2 + M_3) \right\}^2} I_0 \dots (3)$$

이 되며, 여기서  $I_0$ 은  $I$ 의 크기이다. 만약  $L^* = L_1 + L_e + M_1 + M_2 + M_3$ 라고 하면 식 (3)은 식(4)와 같다.

$$E = \sqrt{R^2 + (\omega L^*)^2} I_0 \dots \dots \dots (4)$$

식 (4)에서 하중에 의한 교류전위차 변화를  $R$ 과  $L^*$ 의 변화에 의한 것이라고 할 때 교류전위차 변화를 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$dE = \frac{\partial E}{\partial R} dR + \frac{\partial E}{\partial L^*} dL^* = \frac{I_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L^*)^2}} (RdR + \omega^2 L^* dL^*) \dots \dots \dots (5)$$

여기서 lock-in amplifier를 이용하여 얻은 실험결과에서  $\omega L^*$ 는  $R$ 보다 약 11배 큰 값이고,  $\omega^2 L^* dL^*$ 는  $R dR$ 의 약 12배 큰 값이었기에 식 (5)를 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$dE \approx \omega dL^* I_0 \dots \dots \dots (6)$$

식 (6)의  $dL^*$ 는

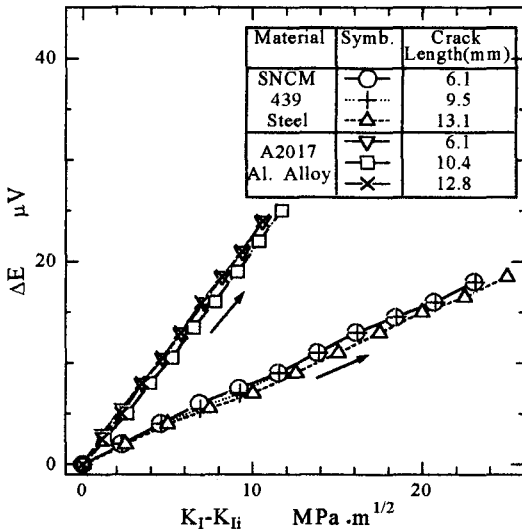


Fig. 10 Change in potential drop with  $K_I$  for different values of crack length in system 4

$$dL^* = dL_i + dL_e + dM \dots\dots\dots (7)$$

이며, 여기서  $M = M_1 + M_2 + M_3$ 이다.

시스템 4에 있어 하중에 따른 교류전위차 변화는 식 (7)에 나타난 바와 같이  $L_i$ ,  $L_e$  및  $M$ 의 변화에 의한 것이므로  $L_i$ 와  $L_e + M$  사이의 크기를 비교해 본다. 시스템 1의 경우 하중에 따른 전위차 변화량은 시험편의  $R$ 과  $L_i$ 의 변화에 의한 것이다. [2,4] 그리고 하중에 따른  $R$ 의 변화와  $L_i$ 의 변화의 부호는 동일하다. 즉  $R$ 이 증가하면  $L_i$ 도 증가한다.  $L_i$ 의 변화에  $R$ 의 변화를 합한 전위차 변화를 나타낸 Fig. 6과  $R$ ,  $L_i$ ,  $L_e$  및  $M$ 의 변화를 합한 전위차 변화를 나타낸 Fig. 7을 비교해보면 강의 경우 전위차 변화량이 약 18배 증가하였으며, 알루미늄 합금의 경우 하중증가에 따라 전위차가 감소하던 경향이 증가하는 경향으로 큰 변화가 있고 전위차 변화량도 약 24배 증가하였다. 따라서 많은 기전력을 유도할 수 있도록 설계된 계측계의 경우  $L_i$ 의 변화에 의한 전위차 변화량은  $L_e$  및  $M$ 에 의한 전위차 변화량보다 대단히 작음을 알 수 있다. 따라서 식(6)의 전위차 변화는  $L_e$  및  $M$ 의 변화에 의한 것이라 할 수 있다.  $L_e$  및  $M$ 의 변화는 하중에 따른 균열선단의 전자기 물성치의 변화에 의하여 시험편 내의 전류흐름이 변경되었기 때문이라고 판단된다. 그리고 시험편의 전류흐름이 변경되어도  $M_2$ 는 변하지 않으므로 식 (7)은 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$dL^* = dL_e + dM_1 + dM_3 \dots\dots\dots (8)$$

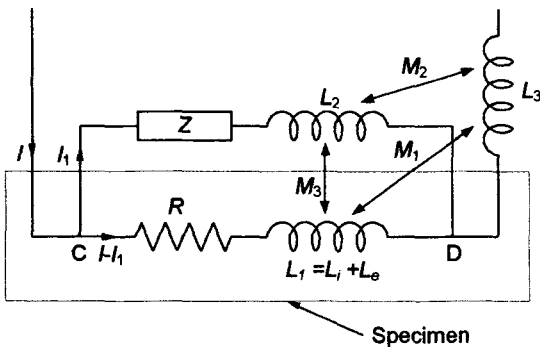


Fig. 11 Electric circuit model of the measuring system with a large amount of induced electromotive force

그러므로 전위차 변화는 식 (8)을 식 (6)에 대입하면 식 (9)와 같다.

$$dE \approx \omega(dL_e + dM_1 + dM_3)I_0 \dots\dots\dots (9)$$

식 (9)로부터 시스템 4와 같이 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계에 공급전류의 크기 및 각주파수가 일정할 경우 하중에 따른 교류전위차 변화는 균열선단의 전자기 물성치의 변화에 의하여 시험편내의 전류흐름이 변경되어  $L_e$ ,  $M_1$  및  $M_3$ 을 변화시키기 때문이라 할 수 있다.

5. 결 론

이차원 표면균열을 가진 강자성체와 상자성체의 응력 확대계수를 효과적으로 계측할 수 있는 계측계의 개발을 위하여 하중에 의한 교류전위차 변화에 미치는 자속의 영향, 탈자의 영향 및 균열길이의 영향을 연구하고 교류전위차 변화의 원인을 고찰하였다. 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계의 경우 하중에 따른 전위차 변화량은 크게 증가하였으며, 전위차 변화량과  $K_I$ 의 관계는 탈자를 하지 않아도 선형적이었다. 시스템 3과 4에서 얻은 단위증가의  $K_I$ 에 의한 전위차 변화량은 강의 경우 각각 0.511과 0.766 $\mu$ V/(MPa·m<sup>1/2</sup>) 그리고 알루미늄 합금의 경우 각각 1.416 과 2.281 $\mu$ V/(MPa·m<sup>1/2</sup>) 이었다. 하중에 따른 전위차 변화는 균열선단의 전자기물성치의 변화에 의하여 시험편의 전류흐름이 변화하고 이는 시험편의 외부 인덕턴스와 상호인덕턴스를 변화시켰기 때문이다. 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계의 경우 전위차 변화량은 탈자에 거의 영향을 받지 않았으며, 일정  $K_I$  변화에 의한 전위차 변화량은 균열길이에 의존하지 않는다. 교류전위차법을 이용한 응력확대계수의 결정에 가장 효과적인 계측계는 시스템 4와 같이 기전력을 많이 유도할 수 있도록 설계된 계측계이다.

후 기

이 연구에 많은 유익한 논의와 지원을 해주신 일본 동북대학 공학부 Abé Hiroyuki 교수 및 Saka Masumi 교수에게 감사드립니다.

**참고문헌**

- [1] M. Saka, M. Nakayama, T. Kaneko and H. Abé, "Measurement of stress intensity factor by means of A-C potential drop technique", *Experimental Mech.*, Vol. 31, pp. 209-212, (1991)
- [2] 이정희, "교류전위차법에 의한 강자성체의 응력확대계수 결정", *대한기계학회논문집(A)*, 제 20권, 제 9호, pp. 1392-1399, (1997)
- [3] J. H. Lee, M. Saka and H. Abé, "Loading effect on ACPD of a crack in ferromagnetic material", *Experimental Mech.*, Vol. 37, pp. 132-136, (1997)
- [4] 이정희, "균열을 가진 상자성체의 교류전위차에 미치는 하중의 영향", *비파괴검사학회지*, Vol. 19, No. 1, pp.1-7
- [5] 박한규, 윤상원, "전자기학", pp. 224-263, 회중당, 서울, (1992)