한국항해항만학회지 제28권 제1호, pp. 43~49, 2004 (ISSN-1598-5725)
*Journal of Korean Navigation and Port Research*

# 공간필터법을 이용한 온라인 표면결함 계측

문 성 배* · 전 승 환**

*한국해양대학교 실습선 한바다호, **한국해양대학교 운항시스템공학부 교수

# On-line Surface Defect Detection using Spatial Filtering Method

*Serng-Bae Moon* · Seung-Hwan Jun***

**Training ship Hanbada, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*
***Department of Ship Operation System Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

**요 약** : 결함검사는 생산공정에 있어서 상품의 디자인과 함께 매우 중요한 부분으로서, 상품의 경쟁력을 높이는데 필수 불가결한 것이다. 만약, 실시간 결함검출이 상품에 대한 어떤 손상도 없이 할 수 있다면, 품질 및 공정의 효율적 관리와 고비용 인력의 절감을 통하여 생산원가를 줄일 수 있다. 본 논문에서는 철판과 같은 표면에 결함이 있는 경우 필요한 정보만을 추출할 수 있는 3가지 공간필터법에 대하여 제안하였고, 공간필터의 특성을 통하여 결함검출 시스템을 구성하였다. 그리고, 최적의 표면결함 계측용 공간필터법을 개발하기 위하여 결함의 크기와 형태, 광도의 크기 및 외부 광간섭 그리고 슬리트의 개수와 같은 파라메타의 변화에 따른 측정 성능을 비교 및 분석하였다.

**핵심용어** : 결함검사, 공간필터법, 표면결함 계측, 결함의 크기와 형태, 슬리트 개수

**Abstract** : *Defects inspection of commodities are very important with those design and manufacturing process and essential to strengthen the competitiveness of those. If on-line automatic defects detection is performed without damaging to products, the production cost shall be curtailed through the reducing man-power, economical management of Q.C.(Quality Control).*

*In this paper, it is suggested three spatial filtering methods which can extract the necessary information in case of defects being on the surface of object like iron plate. In addition, the dependence of filtering characteristics on parameters such as the pitch and width of slits is analyzed and the surface defect detection system is constructed. Several experiments were carried out for determining the adequate spatial filtering method through comparing and analyzing effects of parameters like defect's size and shape, intensity of light, noise of coherent source and slit number.*

**Key words** : *Defects inspection, Spatial filtering method, Defect's size and shape, Surface defect detection, Slit number*

## 1. 서 론

결함(defect)은 부품 또는 완제품에서도 발견될 수 있는 것으로, 이것을 제품에 손상을 주지 않으면서 온라인(on-line)으로 자동 검출하는 것은 중요한 과제이다. 이러한 결함검출은 품질 및 공정의 효율적 관리와 고비용 인력의 절감을 통하여 제품의 경쟁력을 높일 수 있다. 외관 결함검사의 경우는 검사항목이 많고, 대상의 형상이 다양하기 때문에 시각 인식능력이 뛰어나고 경험이 풍부한 熟練者에 의해 이루어지고 있는 실정이다. 그러나, 사람에 의한 결함검출은 여러 가지 문제점을 가지고 있기 때문에 검사의 자동화에 대한 필요성이 급속히 높아지고 있다.

결함검사의 자동화는 기계의 인식능력을 정량화하여 이루어지는 것으로, 제품의 균일화를 기할 수 있고, 샘플검사가 아닌 전량검사이므로 신뢰성을 높일 수 있다. 또한, 검사결과가 곧바로 온라인 제조공정에 피드백됨으로써 불량품 발생의 방지와 결함검사의 고속화 등을 실현할 수 있는 것이다. (Batchelor, et. al. 1985),(中川泰夫, 1989) 이와 같은 외관검사의 자동화는 1970년대 후반부터 시작되어 1980년대에 본격적으로 활용되기 시작했고, 최근에는 제조업뿐만 아니라 식품, 화학, 농수산 등 많은 분야에서 실용화를 위한 개발이 진행되고 있다.(丸谷洋次,1987) 한편, 측정대상에 대한 정보를 수집하는 과정에서 계측목적에 필요한 정보만을 검출할 수 있도록 하는 계측시스템의 실현이 가능하다면, 보다 소형화 및 고속화된 계측시스템의 구성이 가능할 것이다. 이것을 실현하기 위한 신호처리 기법으로 공간필터법이 있다. 이 필터법은 측정대상이 지니고 있는 모든 정보 중에서 계측목적에 필요한 정보만을 추출하기 위하여 센서(sensor)의 형상, 크기, 배치방법 또는 하중함수의 적절한 설계를 통하여 실현되는 것이다. 이것은 공간적 정보처리기능에 근거를 둔 공간영역에서의 병렬신호처리 기법으로, 계측목적에 대응하여 요구되는 연산조작을 하드웨어적으로 처리함으로써 비접촉이며, 신호처리의

* 대표저자 : 문성배(정회원), msbae@mail.hhu.ac.kr 051)410-4206
** 종신회원, korjun@mail.hhu.ac.kr 051)410-4245

고속화, 계측계의 간소화 및 고성능화의 장점을 가지고 있는 고기능 신호처리법이다.(内藤,1968)

본 연구에서는, 표면이 균일한 철판, 유리, 플라스틱 등에서 발생될 수 있는 결함에 대해 신호가 잡음에 비하여 큰 즉, 高SN比로 실시간 검출하기 위하여, 3종류의 공간필터를 제안하고 각 필터의 구조와 특성을 검토하였다. 또한, 여러 가지 형태의 결함에 대한 검출실험을 통해 각 필터의 성능을 검증하고, 비교분석하고자 한다. 아울러, 협대역 재거형 공간필터의 파라메터 최적설정을 설계론적 견지에서 검토하고자 한다.

## 2. 공간필터의 구성

### 2.1 공간필터법

Fig.1은 공간필터법의 기본개념을 설명하기 위한 모델을 나타낸 것이다. 결함검출 대상으로서 종이와 같이 불규칙한 광투과면을 지닌 물체를 선정하고, 대상면 위에 직교좌표 $(x, y)$를 설정한다. 종이의 아래쪽에서 균일한 빛을 비추면, 종이를 투과한 빛은 랜덤한 빛의 광도분포 $f(x, y)$를 지니게 된다. 이 물체에 특정한 투과율분포 $h(x, y)$를 지닌 유한크기의 공간필터를 근접 설치하고, 필터전체에 대응하는 렌즈를 두어 필터를 통과한 빛을 수집한다. 그리고 렌즈의 초점위치에 적절한 광전소자를 둠으로써 光학系를 이용한 공간적 신호처리계가 구현되는 것이다.

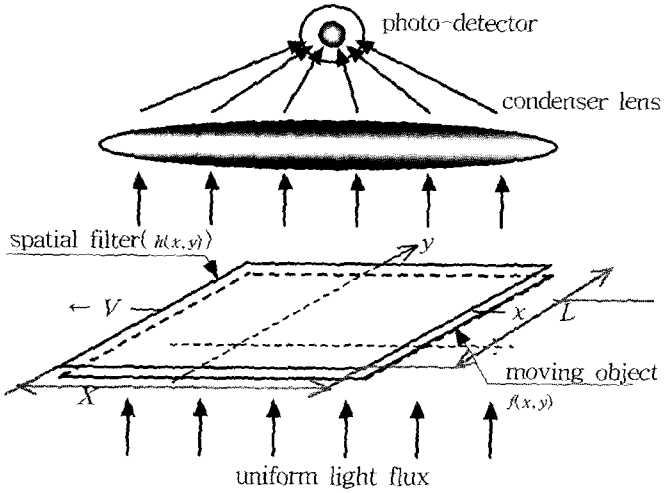



Fig. 1 Schematic model for spatial filter

대상으로 하는 물체의 공간패턴이 $x$축의 음(-)방향으로 일정속도 $V$로 이동하고, 공간필터는 $x, y$ 방향에 대해 각각 크기 $X, L$ 이외의 영역에서는 값이 0(zero)이 되는 하중함수로서 관측계에 고정되어 있는 것으로 한다. 이 때 검출되는 신호의 순간값 $g(x_0, y_0)$는 식(1)로 나타낼 수 있다.(内藤,1968) 식(1)은 입력 $f(x, y)$, 공간필터 $h(x, y)$ 및 출력 $g(x_0, y_0)$의 관계를 일반화한 식으로서, 본 연구에서의 기본식이 된다.

$$g(x_0, y_0) = \int_{x_0}^{x_0+X} dx \int_{y_0}^{y_0+L} dy\, f(x, y) \cdot h(x - x_0, y - y_0) \qquad (1)$$

단, $x_0 = V_t + c_1$ , $y_0 = c_2$

$c_1$과 $c_2$는 대상과 공간필터의 상대적인 위치관계를 나타내는 임의상수이다.

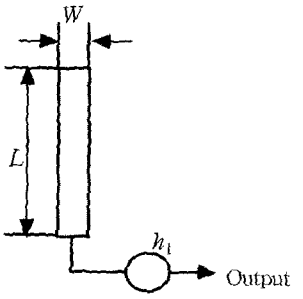



Fig. 2 Configuration of spatial filter(single slit)

### 2.2 단슬리트형 공간필터

Fig.2는 단슬리트형 공간필터의 구조를 나타낸 것으로, 이것은 슬리트로부터의 출력신호에 전기적으로 일정한 하중을 가한 형태를 하고 있다. 여기서, $L$은 슬리트의 길이이고 $W$는 슬리트의 폭을 나타낸다. 하중함수를 $h(x, y)$로 나타내면, 이는 식(2)로 나타낼 수 있다. 또한, $x$ 방향의 공간적 하중값 $h_x(x)$를 식(3)으로, $y$ 방향의 공간적 하중값 $h_y(y)$를 식(4)로 나타낼 수 있다. 측정대상을 $x$방향으로 이동하는 것을 전제로 하기 때문에 $h_y(y)$에 대한 고찰은 생략하기로 한다. 단슬리트형 공간필터의 필터링 특성 $|H_s(\mu)|^2$은 식(5)로 구해진다. 그리고, Fig.3은 $|H_s(\mu)/(LW)|^2$에 대하여 $W$는 0.25와 0.85로 하였을 때의 필터링 특성을 나타낸 것으로, 직류성분을 포함하여 광대역에 걸쳐 저역통과 필터링 특성을 보이고 있으며, $W$가 작을수록 고주파 대역에 걸쳐 필터링 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이 그림에서 $\mu$는 $x$방향의 공간주파수를 나타낸다.

$$h(x, y) = h_x(x) \cdot h_y(y) \qquad (2)$$

$$h_x(x) = \begin{cases} 1 & (0 \le x \le W) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \qquad (3)$$

$$h_y(y) = \begin{cases} 1 & (0 \le y \le L) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \qquad (4)$$

$$|H_s(\mu)|^2 = (LW)^2 \cdot \left( \frac{\sin \pi \mu W}{\pi \mu W} \right)^2 \qquad (5)$$

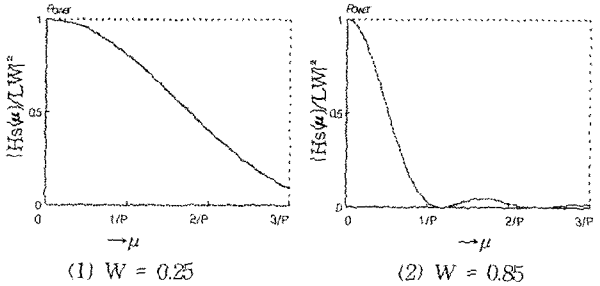



Fig. 3 Filtering characteristics of $|H_s(\mu)/LW|^2$

### 2.3 차분형 공간필터

Fig.4는 차분형 공간필터를 나타낸 것이다. 이것은 크기가 동일한 두 개의 슬리트를 평행하게 배열하고, 각 슬리트 출력단에 전기적으로 일정한 하중, $h_1$과 $h_2$를 가한 후, 두 슬리트의 차분구성으로 구현되는 것이다. 여기서, $P$는 슬리트의 피치를 나타낸 것이고, 슬리트의 $x$ 방향 하중값은 식(6)으로 나타낼 수 있고, 차분형 공간필터의 필터링 특성 $|H_d(\mu)|^2$은 식(7)로 구해진다.

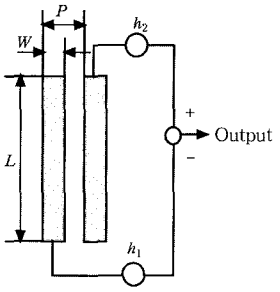
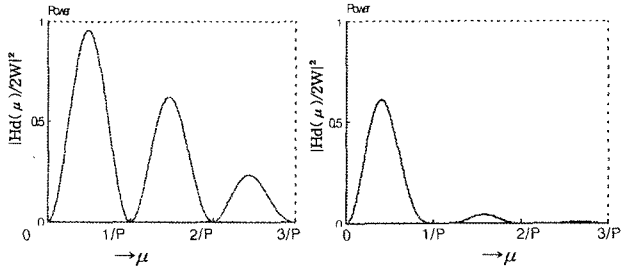



Fig. 4 Configuration of spatial filter(two slit)

$$h_d(x)=\begin{cases}-1 & (0\le x\le W)\\ +1 & (P\le x\le P+W)\\ 0 & (otherwise)\end{cases} \tag{6}$$

$$|H_d(\mu)|^2=(2W)^2\cdot\left(\frac{\sin\pi\mu W}{\pi\mu W}\right)^2\cdot\sin^2\pi\mu P \tag{7}$$

Fig.5는 $|H_d(\mu)/(2W)|^2$에 대하여 $P$=1, $W$는 0.25$P$와 0.85$P$로 두고 그래프로 나타낸 것으로, 직류성분을 포함하여 일정 간격의 주파수성분이 제거되고 있으며, $W$가 클수록 고주파 대역에 대한 검출효과는 약해짐을 알 수 있다.




(1) W=0.25P (2) W=0.85P

Fig. 5 Filtering characteristics of $|H_d(\mu)/2W|^2$

### 2.4 협대역 제거형 공간필터

Fig.6은 협대역 제거형 공간필터의 구조를 나타내는 것으로, 이것은 크기가 동일한 홀수개의 슬리트를 평행하게 등간격으로 배열하고, 각 슬리트 출력단에 전기적으로 일정한 하중을 가한다. 이와 같은 구성에 따른 필터링특성은 슬리트 열의 피치크기에 의해 결정되어지는 특정한 공간주파수 성분만을 통과시키게 된다. 그리고, 정 중앙에 있는 한 개의 슬리트에는 이 슬리트를 제외한 나머지 슬리트 열에 가해지는 하중의 총합과 같은 크기의 전기적 하중을 가한다. 이 단슬리트는 광대역에 걸쳐 저역통과 필터링 특성을 갖게 되고, 이 단슬리트와 슬리트 열의 차동구성에 의해 협대역 제거형 공간필터가 구현된다.

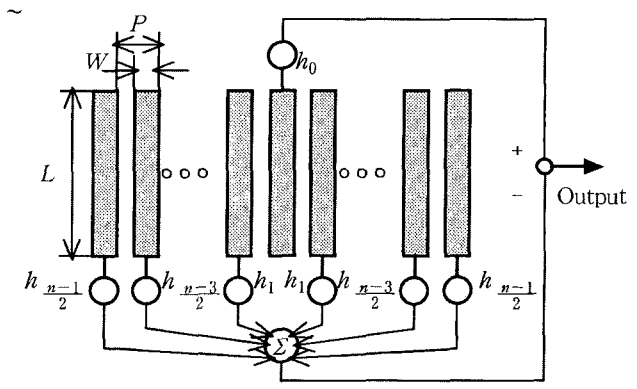



Fig. 6 Configuration of narrow band elimination spatial filter (NBESF)

정중앙의 단슬리트에는 '+'하중을 주고, 나머지 슬리트열에는 '−'하중을 가하였다. 따라서, 정부(正負) 양방향의 하중치가 같기 때문에 출력신호에 내재되어 있는 직류성분이 제거된 출력신호가 얻어지게 되는 것이다.

협대역 제거형 공간필터의 $x$방향의 하중함수 $h_x(x)$는 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.(田,1994)

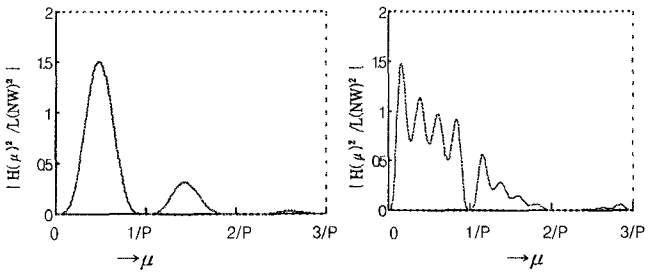
$$h_x(x)=\begin{cases}-1 & (nP-W/2\le x\le nP+W/2)\\ N & (-W/2\le x\le W/2)\\ 0 & (otherwise)\end{cases} \tag{8}$$

단, $n=-(N-1)/2,\cdots,-1,0,1,\cdots,(N-1)/2$

여기서, $N$은 슬리트의 총 개수로 기수(홀수)이다. 한편, $L$이 $P$에 비해 어느 정도 이상 크다고 가정할 때, 필터의 필터링 특성 $|H(\mu)|^2$ 은 식(9)로 나타낼 수 있다.(Batchelor,1985)

$$|H(\mu)|^2=L(NW)^2\left\{\frac{\sin(\pi\mu W)}{\pi\mu W}\right\}^2\left\{1-\frac{\sin(\pi\mu PN)}{N\cdot\sin(\pi\mu P)}\right\}^2 \tag{9}$$

Fig.7은 $|H(\mu)^2/L(NW)^2|$ 에 대하여 $P$=1, $W$=0.45$P$로 두고, $N$을 3과 9로 변화시키면서 구한 필터링 특성을 나타낸 그래프이다.




(1) N = 3 (2) N = 9

Fig. 7 Filtering characteristics of $|H(\mu)^2/L(NW)^2|$

## 3. 결함검출 실험 및 결과분석

### 3.1 결함검출의 원리

공간필터로부터 얻어진 신호의 순간값을 $s(x)$, 공간필터상에 결상되는 光强度를 $i(x)$, 공간적 하중함수를 $h(x)$라고 한다면, 순간값 $s(x)$는 다음과 같은 콘볼루젼 적분으로 나타낼 수 있다.

$$s(x)=\int_0^X i(\xi)\cdot h_x(x-\xi)\,d\xi \qquad (10)$$

단, $X$는 $x$ 축 방향의 공간필터 전체 길이

결국, 시계열신호의 순간값 $s(x)$를 관측함으로써 결함검출을 하게된다. 즉, 공간필터의 출력신호가 경계값(threshold value)이상으로 되었을 때, 결함이 발생한 것으로 판정하는 것이다.

### 3.2 결함검출 실험

실험에 사용된 공간필터는 9소자용으로, 슬리트열의 피치는 0.5 ㎜, 슬리트 폭은 0.45 ㎜, 길이는 20 ㎜이다. Table 1은 이 공간필터의 전기적 광학적 사양을 나타낸 것이다.

Table 1 Specifications of spatial filter

| 항 목 | 사 양 |
|---|---|
| 광출력전류 | 3 nA/㎟ Lux 이상, +0.8 %/℃ 이하 |
| 개방전압(1000 Lux이상) | 330 ㎷, -2.9 ㎷/℃ 이하 |
| 분광감도 피크값 | 750 ㎚±150 ㎚ |
| 암전류 | 100 nA 이하 |

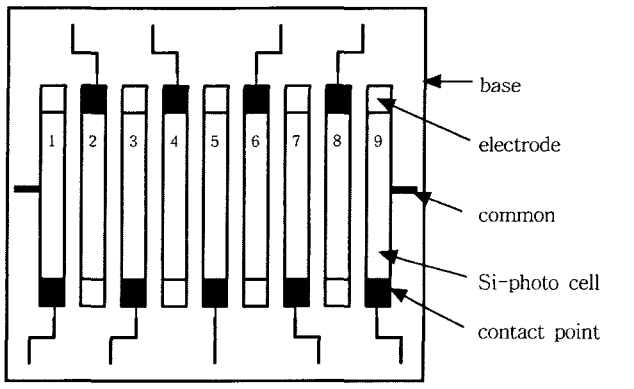
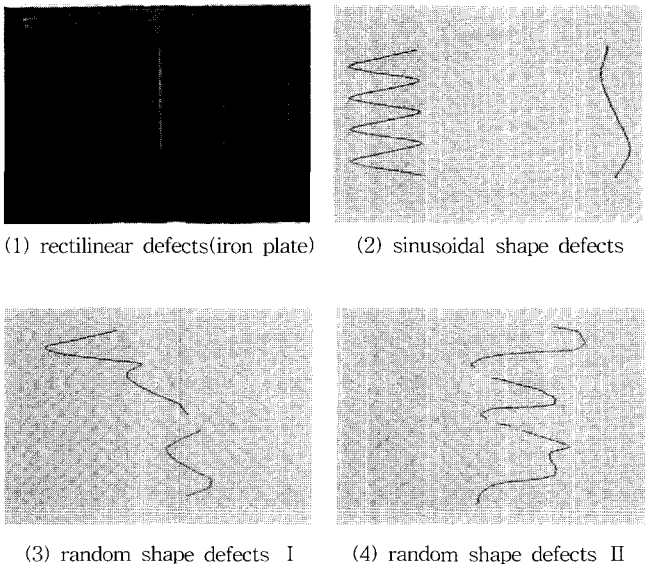



Fig. 8 Configuration of narrow band eliminating spatial filter

Fig.8은 9소자용 협대역 제거형 공간필터의 구조를 나타낸 것이다. 정 중앙에 위치한 5번 소자만으로 단슬리트형 공간필터를 구성하였으며, 4번과 5번 소자를 이용한 2슬리트 차분형 공간필터를 구성하였다. 또한, 정 중앙의 5번 소자를 포함하여 4번과 6번 소자를 이용한 공간필터, 3, 4, 6, 7번 소자를 이용한 공간필터, 2, 3, 4, 6, 7, 8번 소자에 의한 것 및 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9번 소자에 의한 공간필터 등 4종류의 협대역 제거형 공간필터를 구현하였다.

한편, Fig.9는 본 실험에서 사용한 측정 대상(object)과 결함의 형태를 나타낸 것이다. Fig.9의 (1)은 표면이 균일한 280 ㎜×210 ㎜×3.5 ㎜ 크기의 일반 강판에 조명의 반사광을 감소시키기 위하여 무광택 검은색 페인트로 도색하고, 폭이 약 0.1~0.5 ㎜, 결함 간격이 40 ㎜인 직선형 결함이 있는 것을 나타낸 것이다. 또한, Fig.9의 (2), (3) 및 (4)는 결함의 형태에 따른 결함검출의 효과를 검증하기 위하여, (1)과 같은 강판이 아닌 백색 용지에 검은색으로 폭이 약 0.8 ㎜인 결함을 만든 것이다. (2)는 정현파 형태의 결함으로 주기를 서로 달리하였고, (3)과 (4)는 불규칙한 형태로 결함이다.



(1) rectilinear defects(iron plate) (2) sinusoidal shape defects

(3) random shape defects I (4) random shape defects II

Fig. 9 Measured objects

Fig.10은 본 실험계의 세부적인 실계측계 및 신호처리계를 나타낸 것이고, 공간필터의 결함검출부, H/W 신호처리부, S/W 신호처리부 및 연산표시부로 크게 나뉘어 진다.

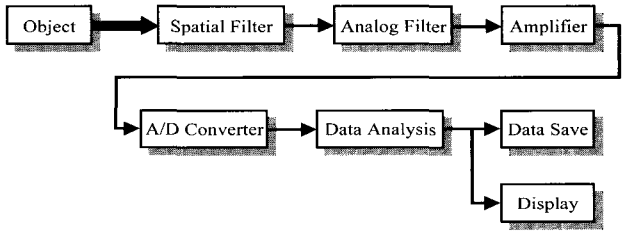



Fig. 10 Diagram of defect detection processing

Table 2는 결함검출기의 사양을 나타낸 것이고, Table 3은 AD변환기의 특성을 나타낸 것이다.

Table 2 Defect detection system

| 항 목 | 사 양 | 항 목 | 사 양 |
|---|---|---|---|
| 전구 | 반투명색,110V,60W | 접사링 | PK-11,12,13 |
| 렌즈 | Micro NIKKON 55mm (F2.3) | 이동레일 | THK-FBW50110 |
| 렌즈노출 | 2.8 | 이동속도 | 16 cm/sec |

Table 3 Specifications of A/D converter

| 항 목 | 사 양 | 항 목 | 사 양 |
|---|---|---|---|
| 제조사 | Hewlett-Packard | Resolution | 8 bit |
| 모델 | DT 2838 | Channel | 8 |
| 샘플링 주파수 | 5 kHz | 입력전압 | ±10[V] |

### 3.3 실험결과

1) 슬리트 갯수의 영향

결함이 없는 경우, 각 슬리트에서 출력되는 파형은 신호성분은 없고 대상물 및 외부에서 혼입되는 노이즈가 주성분이 된다.

Fig.11은 결함이 없는 경우 단슬리트를 포함하여 6종류의 공간필터에서 검출한 파형을 나타내고 있다. 그림에 보이는 것과 같이, 단슬리트로부터 출력되는 노이즈 진폭이 가장 크고, 슬리트의 개수가 증가할 수록 노이즈의 크기가 점차 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 특히, 9슬리트 공간필터는 단슬리트에 비해 매우 미약한 노이즈를 출력하고 있다. 이것은 단슬리트의 경우는 노이즈성분을 그대로 출력하고, 슬리트 수가 증가하면 차분효과가 더욱 커지기 때문이다.

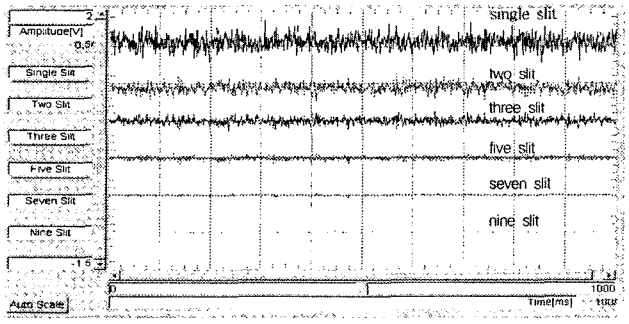



Fig. 11 White noise of each spatial filter type

2) 조명강도에 의한 결함검출 효과

결함검출 시스템에서 조명의 밝기에 따른 결함검출 효과를 파악하기 위하여, 조명의 강도를 변화시키면서 결함의 검출 여부 및 신호의 크기를 비교 분석하였다. 광원으로 백열전구를 이용하였고, 조명강도는 조명에 입력되는 전압의 조절을 통하여 조절하였고, 본 실험에서는 전압을 AC 110 V와 80 V의 2단계로 변화시켰다.

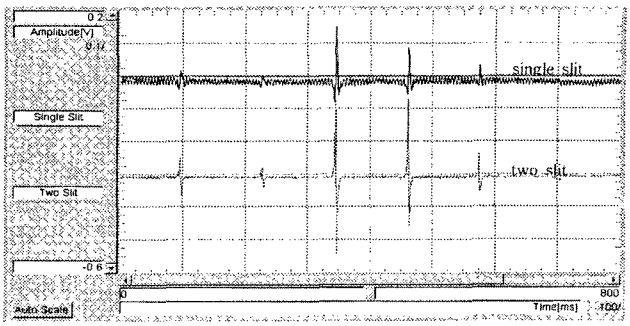



Fig. 12 Defect detection under 110[V] illumination

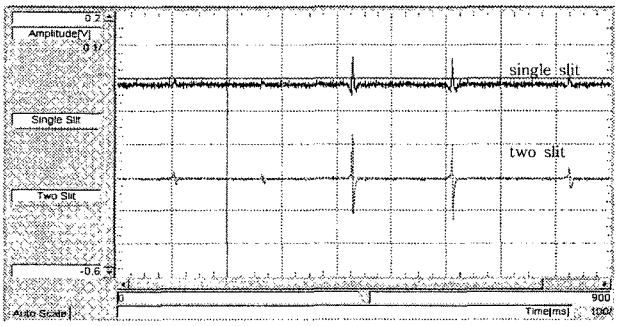



Fig. 13 Defect detection under 80[V] illumination

Fig.12는 광원인 백열등에 110 V의 전압을 가했을 경우의 결함검출 결과의 일부를 나타낸 것으로, 두 형태의 공간필터 모두 미소한 결함까지 검출이 가능하였다. Fig.13은 80 V의 전압일 경우의 실험결과를 나타내는 것으로, 검출된 결함들의 전체적인 진폭은 광원의 밝기가 110 V일 때와 비교하여 상당히 줄어든 것을 보여주고 있다. 또한, 단슬리트의 출력신호 중에서 첫 번째와 두 번째 결함신호는 SNR(신호대 잡음비)가 작기 때문에 노이즈와 구분하기에는 어려움이 있었다. 그러나, 2슬리트는 단슬리트보다 정확하게 검출하였다. 따라서, 동일한 조명조건하에서는 단슬리트보다 2슬리트 차분형 공간필터가 결함검출에 적합하다고 할 수 있다.

3) 외부 광간섭에 대한 결함검출 효과

Fig.14는 강력한 외부 노이즈를 가했을 때, 단슬리트, 2슬리트 및 3슬리트 공간필터의 실험결과이다. 결함으로는 폭이 약

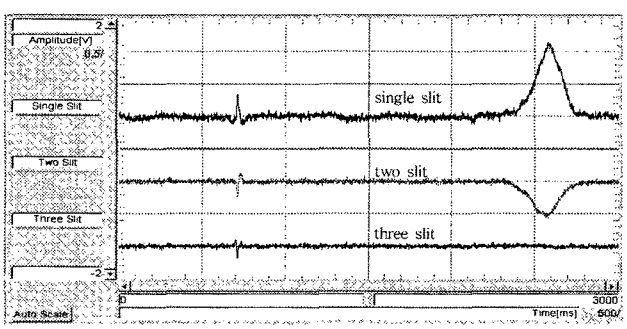



Fig. 14 Noise influence of single, two and three slits

0.5㎜인 직선형 결함을 이용하였다. 결함이 있는 부분에서는 세 필터 모두 정확하게 결함신호를 출력시키고 있다. 그러나, 그림의 뒷부분에서 보이듯이 결함이 아닌 외부 노이즈가 가해졌을 때, 단슬리트와 2슬리트는 노이즈를 마치 결함신호처럼 출력하는 결과를 보이고 있지만, 3슬리트는 이와 같은 노이즈를 완전히 감쇠시키고 있음을 나타내고 있다.

4) 직선형 결함의 검출 효과

Fig.15는 직선형의 결함에 대한 3, 5, 7, 9개의 슬리트를 이용한 경우의 실험결과이다. 3슬리트의 효과가 매우 뛰어남을 보여주고 있다. 슬리트 갯수가 많을수록 노이즈제거 효과는 뛰어나지만, 결함신호의 최대값은 현저히 떨어지고 있음을 알 수 있다. 이는 Fig.3, Fig.5 및 Fig.7에서의 필터링 특성과 같이 공간필터의 크기가 클 수록 고주파에 대한 필터링 특성이 우수하지만 통과역의 대역폭이 줄어들 뿐만 아니라 파워가 작아지기 때문이다.

이상의 결과에 의해 슬리트 배열과 평행한 방향의 직선형 결함에서는 3슬리트로 구성된 공간필터가 결함검출에 가장 적합하다고 볼 수 있다.

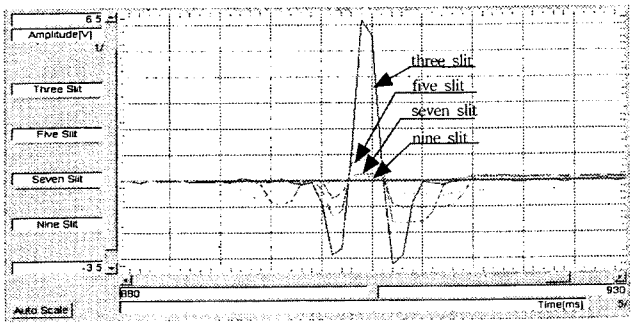



Fig. 15 Rectilinear shape defect detection on iron plate(3, 5, 7, 9 slit)

5) 정현파형 및 불규칙형 결함의 검출효과

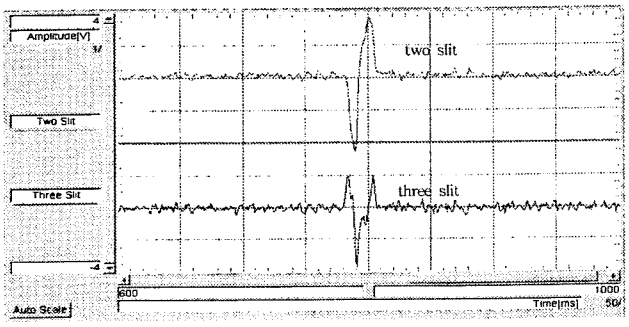



**Fig. 16** Detection of sinusoidal shape defect

Fig.16과 Fig.17은 정현파형 및 불규칙형 결함의 검출결과를 나타내고 있다. 결함검출은 두 종류의 공간필터 모두 가능하였으나, 2슬리트가 조금 양호한 성능을 보이고 있다. 여기서 주목해야 할 것은, 결함신호에서 정(+) 최대값이 부(−) 최대값보다 크게 출력되고 있다. 이것은 앞서 설명했듯이, 측정대상의 정상상태 부위에 의한 신호와 결함에 의한 신호를 공간차분하기 때문에 발생하는 것으로, 결함이 측정대상물에 비해 상대적으로 어두울 경우에는 이와 같은 현상이 발생한다. 즉, 본 실험에서 사용한 백색용지의 대상물에 대해서는 부(−)방향으로 최대값이 출력되지만, 강판의 경우에는 정(+)방향으로 최대값이 출력되는 것이다. 따라서, 측정대상물의 재질에 따라 공간필터의 출력신호 극성을 역으로 할 필요가 있다.

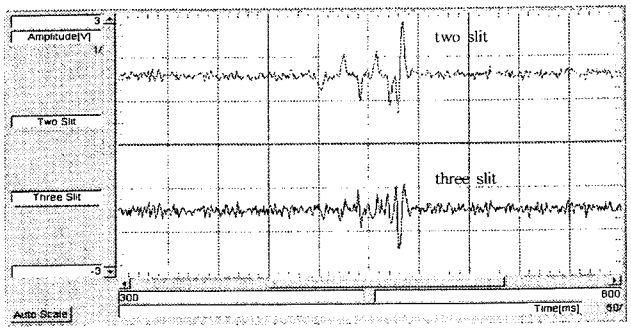



Fig. 17 Detection of random shape defect

## 4. 결 론

본 논문에서는 표면에 발생하는 결함을 高SN비로 검출하기 위하여 3종류의 공간필터법을 제안하고, 실제 결함검출 실험을 통해 이들 공간필터의 성능을 비교, 분석하였다.

실험의 결과로서, 검출 시스템에서 노이즈(noise) 성분은 단슬리트의 경우가 가장 크게 출력되었고, 슬리트의 개수가 많을수록 줄어들어 9슬리트 공간필터는 단슬리트에 비해 매우 미약하였다. 반면 슬리트 개수가 5개 이상일 때는 결함신호의 출력값이 현저히 작아지는 것을 확인하였다. 또한, 외부 광간섭 노이즈가 공간필터에 유입되었을 때, 단슬리트와 2슬리트는 노이즈를 결함신호인 것처럼 출력하는 등 결함검출에 어려움이 있었지만, 3슬리트는 이러한 노이즈의 영향을 거의 받지 않았다. 따라서, 외부노이즈와 같은 환경적 영향을 고려한다면, 3슬리트 공간필터가 표면결함 검출의 효과가 우수함을 검증하였다.

또한, 결함종류별 검출실험에서는, 슬리트의 배열과 평행한 직선형의 결함에 대해서는 3슬리트에 의한 공간필터를 사용한 것이 결함 검출에 가장 적합하였으며, 곡선형태의 결함이나 불규칙한 형태의 결함에 대해서는 미약하나마 2슬리트에 의한 공간필터가 조금 우수한 검출효과가 있음을 확인하였다.

결론적으로, 본 연구에서는 2슬리트와 3슬리트 공간필터를 동시에 이용함으로써 대상물의 표면결함 검출은 물론 종류의 판별도 가능할 것으로 여겨진다. 그러나, 공간필터를 이용하여 검출한 신호파형을 분석하여 결함의 크기 및 결함의 형상을 추정하는 것은 본 실험에서 확인하지 못하였다. 이러한 것들은 본 연구에서 제안한 것보다 더욱 깊은 연구가 진행되어야

할 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

1] 中川泰夫,(1989), "電子産業における目視檢査の自動化", 電學論D, Vol. 9, No. 7, 458-462

2] 丸谷洋次,(1987), 目視檢査の自動化技術, 日刊工業新聞社

3] 內藤, 小林,(1968), "空間フィルタによる速度計測", 計測と制御, Vol. 7, No. 11, 761-772

[4] 田, 大山, 小林, 山浦, (1994), "狹帶域除去型空間フィルタ法によるメリヤス地のオンライン傷の種類判別と大きさ計測", 計測自動制御學會論文集, Vol. 30, 276-284

[5] Batchelor, B. G., Hill, D. A., and Hodgson, D. C.(1985), Automated visual inspection, IFS

원고접수일 : 2003년 10월 31일
원고채택일 : 2003년 12월 12일