

# 온라인 결함계측용 협대역 제거형 공간필터의 최적설계 및 제작

전 승 환\*

Optical Design and Construction of Narrow Band Eliminating Spatial Filter for  
On-line Defect Detection

*Seung-Hwan Jun\**

Abstract	4. 협대역 제거형 공간필터의 최적설계
1. 서론	5. 결함계측용 공간필터의 제작
2. 협대역 제거형 공간필터의 구조	6. 실험 및 결과분석
3. 측정대상 및 결함의 특성	7. 결론 및 고찰
3.1 측정대상의 특성	참고문헌
3.2 결함의 종류와 특성	

## Abstract

A quick and automatic detection with no harm to the goods is very important task for improving quality control, process control and labour reduction. In real fields of industry, defect detection is mostly accomplished by skillful workers.

A narrow band eliminating spatial filter having characteristics of removing the specified spatial frequency is developed by the author, and it is proved that the filter has an excellent ability for on-line and real time detection of surface defect. By the way, this spatial filter shows a ripple phenomenon in filtering characteristics. So, it is necessary to remove the ripple component for the improvement of filter gain, moreover efficiency of defect detection.

The spatial filtering method has a remarkable feature which means that it is able to set up weighting function for its own sake, and which can to obtain the best signal relating to the purpose of the measurement. Hence, having an eye on such feature, theoretical analysis is carried out at first for optimal design of narrow band eliminating spatial filter, and secondly, on the basis of above results spatial filter is manufactured, and finally advanced effectiveness of spatial filter is evaluated experimentally.

\* 정회원, 한국해양대학교 해사수송과학부

### 1. 서론

제품의 국제경쟁력 시대에 들어간 만큼, 결합계측은 제품의 설계 및 제조와 함께 중대한 자리를 차지하고 있다. 제품을 손상시키지 않으면서 온라인 자동검출하는 것은 品質관리, 工程관리 및 人力 낭비의 방지를 위하여 대단히 중요한 과제이다. 특히, 외관검사는 검사항목이 많고 또 검사대상의 다양한 형상 때문에 시간인식능력이 매우 뛰어난 사람의 눈에 의존할 수밖에 없으며, 실제로 대부분의 산업분야에 있어서 외관 결합검사는 오랜 경험의 숙련자에 의해 이루어지고 있는 실정이다.

한편, 최근 컴퓨터 및 정보처리기술의 비약적인 발전에 의해 計測系의 구성은 점점 복잡해지고 있다. 이에 대해 계측계의 구성이 복잡해지더라도 多量의 정보처리는 컴퓨터에 맡기면 된다고 하는 안이한 생각도 늘고 있는 실정이다. 그러나, 컴퓨터에 의한 정보처리는 Super Computer와 같은 특별한 시스템이 아닌 경우, 본질적으로 一次元的인 時系列 처리이고, 시간적 처리방법을 아무리 연구하여도 온라인 실시간 고속처리의 실현에는 그 나름대로 限界가 있다

그러나, 측정대상에 관한 정보를 입수하는 과정에서 계측목적에 필요한 정보만을 센싱하도록 하는 系가 실현가능하다면, 보다 小型化·高速化된 계측계 구성이 가능할 것이다. 이것을 실현하기 위한 신호처리방법으로 공간필터법이 있다. 이는, 측정대상이 지니고 있는 모든 정보 가운데 계측목적에 필요한 정보만을 추출하기 위하여, 센서의 형상, 크기, 배치방법 또는 하중함수를 고안, 설계함으로써 실현되는 공간적 정보처리 기능에 근거를 둔, 공간영역에서의 병렬신호처리 수법이다.<sup>1)</sup> 공간필터법에 있어서 무엇보다도 중요한 것은, 측정대상의 공간패턴으로부터 계측목적에 대응한 특정 공간주파수성분을 선택하도록 공간필터의 공간적 하중함수를 설계하는 것이다. 이와 같은 특성에 근거하여, 田 등은 特定한 공간주파수만을 제거할 수 있는 특성을 지닌 협대역 제거형 공간필터를 개발하였으며, 이는 측정대상에 존재하는 특정한 공간

주파수성분에 대해 응답이득이 0이 되는 필터링특성을 지닌 것으로, 직물(메리야스)과 같은 공간적으로 규칙적인 구조를 지닌 물체표면에 발생하는 결합의 온라인 실시간 계측에 탁월한 효과를 가지고 있음을 입증한 바 있다.<sup>2)</sup> 그러나 이 공간필터는 주파수대역에서의 필터링 특성이 고르지 못한, 다시 말해 필터링특성에 리플현상이 두드러지게 나타나고 있다. 이 리플성분을 제거하여 필터링특성이 평활하도록 하는 것이 필터의 利得향상, 더 나아가 결합계측의 효율향상을 높이는 것이 된다.

이를 위해 공간필터법의 특성인 하중함수설정의 자유도에 착안하여 협대역 제거형 공간필터의 최적 설계를 위한 이론해석을 하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 필터의 성능개선을 확인하였다. 실제적인 응용으로서, 측정대상으로 메리야스를 선정하고 여기에 발생하는 결합을 高SN비로 검출하기 위하여, 메리야스 자체가 지니고 있는 고유한 성질을 분석하고, 여기에 발생하는 대표적인 결합이 지닌 공간주파수성분을 검토하였다. 이상의 분석결과를 근거로 협대역 제거형 공간필터를 제작하고, 메리야스의 결합검출실험을 통해 필터의 성능향상을 검증하고자 한다.

### 2. 협대역 제거형 공간필터의 구조 및 특성

Fig. 1에 보이듯이, 같은 크기의 슬리트를 주기적으로 평행하게 홀수개 배열하고, 각각의 슬리트에

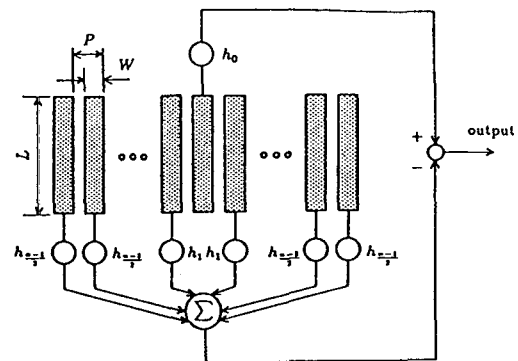


Fig. 1 Configuration of narrow band eliminating spatial filter

정해진 하중값을 전기적으로 가한다. 이같은 구성에 의한 필터링특성은 특정한 공간주파수성분만을 선택하는 것이 된다. 다음으로, 한 가운데에 있는 1개의 스트리트에, 이것은 제외한 스트리트열의 하중값 총합과 같은 크기의 하중을 가한다. 단스트리트는 넓은 주파수대역에 걸치는 저역통과형 필터링특성을 가지고 있으며, 단스트리트와 스트리트열의 差動구성에 의해 협대역 제거형 공간필터를 실현할 수 있다.

Fig. 2에 협대역 제거형 공간하중함수를 나타낸다. 스트리트열에는 '-'하중을, 단스트리트에는 '+'의 하중을 가하였으며, '+-'양쪽의 전체 하중값이 같기 때문에 출력신호에 내재되어 있는 직류성분은 제거된다. 이와 같은 형의 하중함수를 지닌 공간필터의 필터링특성은 식(1)로 나타낼 수 있다.<sup>2)</sup>

$$|H(\mu)|^2 = L(NW)^2 \frac{\sin^2(\pi \mu W)}{[1 - \frac{\sin(\pi \mu PN)}{N \sin(\pi \mu P)}]^2} \dots\dots\dots(1)$$

단,  $\mu$ 는 x방향에 대한 공간주파수이고, L, N, P, W는 각각 스트리트길이, 개수, 스트리트열의 피치, 폭을 나타낸다.

L이 P에 비해 충분히 클 경우, y방향에 대한 공간주파수성분은 고려하지 않아도 되며,<sup>3)</sup> 따라서 특별한 경우를 제외하고는 공간필터법에 의한 푸를 1차원적으로 해석하여도 아무런 문제가 없는 것이

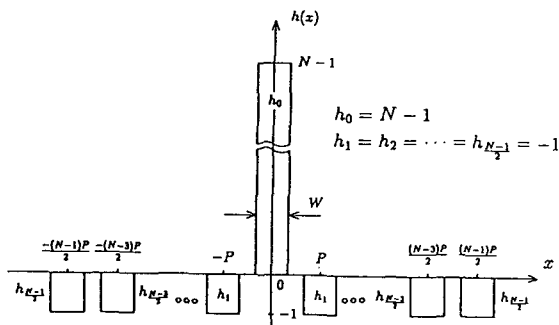


Fig. 2 Weighting function of narrow band eliminating spatial filter

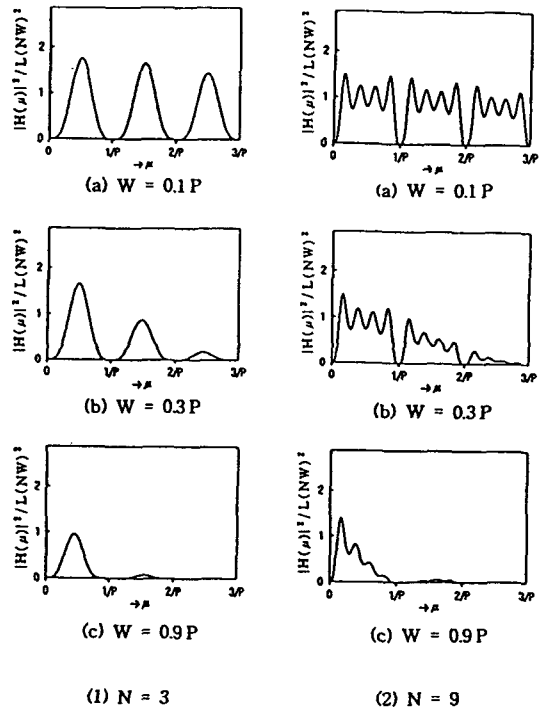
다. 또한 P의 값에 의해 제거되는 공간주파수대역이 정해진다.

Fig. 3은,  $|H(\mu)|^2 / L(NW)^2$ 을 파라미터N과 W를 바꾸어가며 필터링특성을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, N이 클수록 제거되는 주파수대역은 좁아진다. 또, 동일한 스트리트수(N)에 대해 W가 클수록 고주파대역으로 갈수록 필터링효과는 줄어들며, 이는 W가 클수록 빠른 변동의 신호성분은 평활화되기 때문이다.

이상과 같이, 각 파라미터의 값의 크기에 따라 필터링 특성도 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 각 파라미터의 값은 측정대상의 고유한 성질에 대응해서 정해야 할 필요가 있다.

### 3. 측정대상 및 결합의 특성

본 연구에서는 측정대상으로서 주기적인 공간패



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

Fig. 3 Filtering characteristics of

$$|H(\mu)|^2 / L(NW)^2$$

턴을 지닌 직물(메리야스)을 선정하였으며, 여기에 발생하는 결함을 검출하고자 하였다.

### 3.1 측정대상의 특성

메리야스 및 여기에 발생하는 결함패턴을 Photo. 1에 나타낸다. 사진을 자세히 관찰하면 실이 중첩으로 일정한 간격을 두고 짜여져 있음을 알 수 있다. 따라서 주기적 공간패턴이 연속해 있으므로 메리야스는 어떠한 특정 공간주파수성분을 지니고 있을 것으로 추측할 수 있다. 이러한 패턴의 메리야스가 실제 어떠한 스펙트럼을 지니고 있는가를 직물눈의 간격보다 충분히 작은 單슬릿를 이용하여 실험에 의해 구하였다.

Fig. 4-(1)에 단슬릿로부터 얻어진 시계열 신호를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이, 피크값이 서로 다른 신호가 연이어 나타나고 있다. 이 신호의 스펙트럼 분석결과를 Fig. 4-(2)에 나타낸다. 그림에 보이듯이 스펙트럼에는 2개의 날카로운 피크가 나타나 있다. 따라서 협대역 제거형 공간필터의

스리트열의 피치(P)를, 최초의 피크가 되는 공간주파수성분이 제거되도록 설정하여야 하며, 협대역 제거형 공간필터법의 원리에 의해 2번째 피크성분도 동시에 제거될 수 있다. 즉 메리야스의 주기적 패턴에 의해 생기는 신호는 제거되게 된다.

### 3.2 결함의 종류와 특성

메리야스의 실에는 항상 일정한 장력이 걸려 있기 때문에 여기에 발생하는 결함은 눈의 간격보다 큰 형태로 나타나므로, 결함이 지나는 공간주파수 성분은, 메리야스 고유의 공간주파수보다 낮은 주파수대역에 분포하게 된다. 또한 메리야스 눈의 간격은 미소하지만 불규칙적으로 유동하므로 메리야스 자체가 지나는 공간주파수 성분은 어느 정도 폭을 지닌 펄스파형과 유사한 형태를 하게 된다.

메리야스에 생기는 결함은 그 발생원인에 따라 여러 가지 형상을 하고 있으며, 본 연구에서는 Photo. 1에 보이는 대표적인 4종류의 결함만을 다루기로 한다. 같은 종류의 결함이라 할지라도, 크기가 다르면 결함의 스펙트럼 분포도 다르다. 따라서, 다양한 형태의 결함에 대해 효율 좋은 결함검출이 가능한 공간필터를 설계하기 위해서는, 각 결함

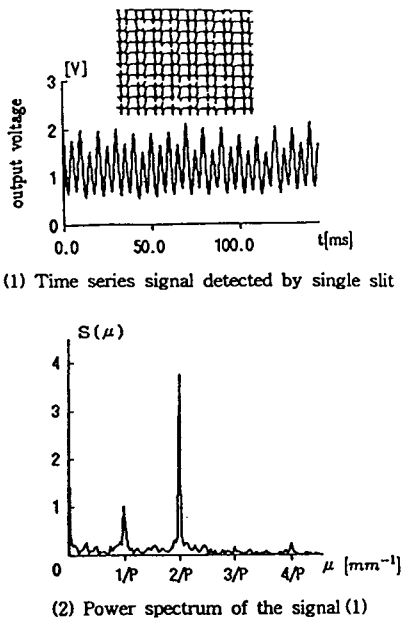


Fig. 4 Signal analysis of the knitted fabrics

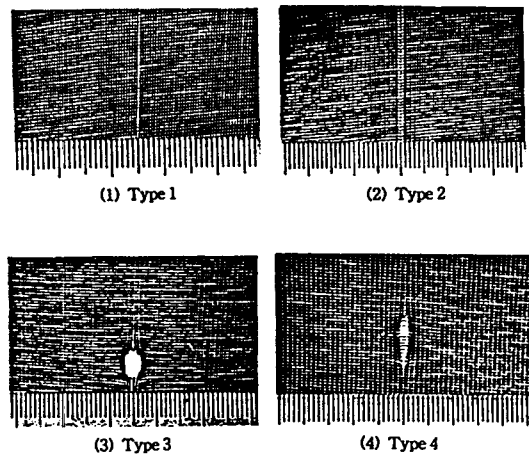


Photo. 1 The typical pattern and defects of knitted fabrics

패턴의 주파수성분을 파악할 필요가 있다. 이것은 결합이 지니고 있는 스펙트럼성분과 공간필터의 통과대역을 일치시키는 것이 보다 뛰어난 결합검출효과가 기대되기 때문이다.

4. 협대역 제거형 공간필터의 최적설계

결합계측용 공간필터의 파라미터의 최적설계이라는 것은, 노이즈에 대한 결합신호의 피크값의 비가 가장 높게 되도록 하는 설계를 의미한다. 협대역 제거형 공간필터의 기본특성에서, 통과대역의 리플성분이 두드러지게 나타나는 현상은 어떠한 형태로든 결합계측효과에 영향을 미칠 것이며, 이를 평활하게 하는 것은 필터특성 개선을 위하여 매우 중요한 것이며, 또한 폭넓은 응용을 위해서도 이론적으로 고찰해야 할 부분이다.

협대역 통과형 공간필터의 경우, 『공간적 하중의 최적값은, 슬릿열의 중앙으로부터 양 외측을 향해 하중값이 포락선을 그리며 대칭적으로 점점 작아지는 형을 하고 있다』<sup>4)</sup>라는 것이 알려져 있다. 이 같은 사실을 근거로 공간하중함수의 설계측면에서 결합계측용 공간필터의 최적설계를 하고자 한다.

협대역 제거형 공간필터는 앞서 설명한 것과 같이, 넓은 주파수대역에 걸쳐 저역통과형 필터링특성을 지닌 單슬릿와 특정한 공간주파수성분만을 선택하는 특성을 지닌 슬릿열의 差動구성으로 실현되는 것을 생각한다면, 슬릿열이 협대역 통과형과 같은 포락선적인 하중값을 갖도록 설계해야 할 것으로 직감할 수 있다. 이 같은 패턴의 함수로서 본 연구에서는 하밍 윈도우(Hamming window)함수<sup>5)</sup>를 적용하는 것으로 하였다. 그 이유는, 하밍 윈도우함수의 주파수영역에서의 특성은 main lobe와 side lobe의 최대값의 차가 크고, 또 side lobe가 감소해가는 비율이 비교적 완만하기 때문이다. 이러한 특성이 협대역 제거형 필터링특성곡선의 통과대역에서의 리플성분을 편평하게 되도록 작용할 것으로 예측할 수 있다.

하밍 윈도우를 이용한 공간하중함수  $h_x(x)$ 를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$h_x(x) = \begin{cases} -0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) & (nP + \frac{W}{2} \leq x \leq nP + \frac{W}{2}) \\ \sum_{n=0}^{N-1} 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) & (-\frac{W}{2} \leq x \leq \frac{W}{2}) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (2)$$

단,  $n = -(N-1)/2, -1, 0, 1, (N-1)/2$ ,  $N$ 은 슬릿의 총수로 홀수개이다.

필터링특성을 구하면 다음과 같다. 단 슬릿길이가  $L$ 에 관한 계수부분은 생략한다.

$$M(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (3)$$

으로 두면,

$$H(\mu) = \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \int_{nP-\frac{W}{2}}^{nP+\frac{W}{2}} dx [-M(n) \cdot \exp(-j2\pi\mu x)] + \sum_{n=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \int_{-\frac{W}{2}}^{\frac{W}{2}} dx [M(n) \cdot \exp(-j2\pi\mu x)] \quad (4)$$

$$|H(\mu)|^2 = W^2 \cdot (\text{sinc}(\pi\mu W))^2 \cdot \left(\sum_{n=0}^{N-1} M(n) \cdot 2(1 - \cos(2\pi\mu Pn))\right)^2 \quad (5)$$

가 된다.

파라미터  $W$ 를 바꾸어가면서,  $|H(\mu)|^2 / L(QW)^2$ 를 그래프로 나타낸 것이 Fig. 5이다.

$$\text{단, } Q = \sum_{n=-\frac{(N-1)/2}{(N-1)/2}}^{\frac{(N-1)/2}{(N-1)/2}} M(n) \quad (6)$$

Fig. 3과 Fig. 5을 비교하면,  $1/P$ 과 그 정수배인 주파수를 포함해서 그 부근의 주파수대역에서 협대역 제거특성을 갖는 기본원리는 같으나, 하밍 윈도우 함수를 적용한 것이 리플성분이 감소되었으며, 필터링특성이 개선된 것을 알 수 있다.

5. 결합계측용 공간필터의 제작

메리야스에 발생하는 결합을 검출하는 경우, 메리야스의 주기적인 공간패턴에 의한 공간주파수성분은 제거하고, 결합패턴에 의해 발생하는 공간주파수성분은 검출하여야 한다. 그러나, 메리야스 눈의 간격이 작지만 불규칙적으로 변동하고 있기 때

문에, 직물이 지니고 있는 고유한 공간주파수성분도 어느 정도 폭이 있는 주파수대역에 분포하게 된다. 따라서 공간필터에 의해 제거되는 주파수대역이 너무 좁아도 좋지 않으며, 너무 넓어도 결함패턴에 의한 공간주파수성분이 부분적으로 제거되어 버리므로 좋지 않다. 또한, 메리야스의 결함은 항상 눈의 간격보다 큰 형태로 나타나므로, 결함의 스펙트럼성분은  $1/P$ 의 공간주파수보다 낮은 주파수대에 대부분 분포하게 되며, 결함이 클수록 스펙트럼은 저주파대역으로 이동한다. 따라서 저주파성분을 고감도로 검출하는 필터링특성이 필요하다는 것을 알 수 있다. 이러한 것들을 감안, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 온라인 메리야스 결함검출을 위한 공간필터의 파라미터 최적설정을 하였다. 그 결과 슬릿열의 하중값을 일정하게 한 경우와 마찬가지로 슬릿개수  $N = 5 \sim 9$ 개, 폭  $W = 0.6 \sim 0.7P$ 가 좋은 SN비를 보여주었다. 슬릿 개수를 11개

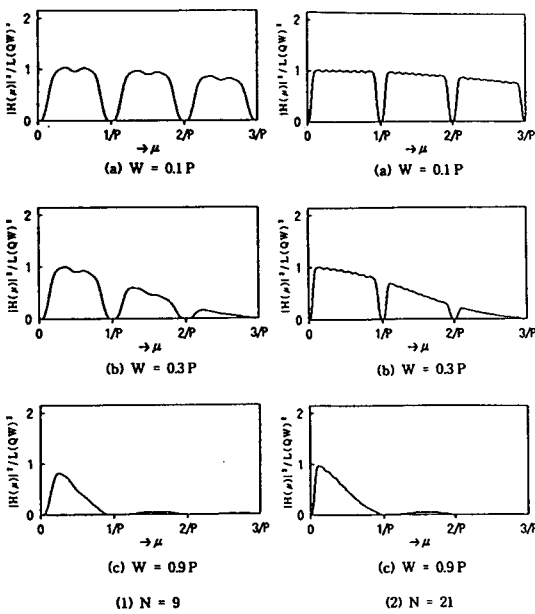


Fig. 5 Filtering characteristics of  $|H(\mu)|^2 / L(QW)^2$

이상 늘려도 그만큼의 효과는 나타나지 않았으며, 개수가 많으면 그만큼 외부 노이즈가 혼입될 가능성이 크다. 시뮬레이션 방법은 참고문헌<sup>6)</sup>에 구체적으로 기술되어 있으므로 생략하기로 한다.

이상의 검토결과를 근거로 실제 Si 태양전지를 이용한 공간필터를 제작하였다 그 구조를 Fig. 6에, 외관을 Photo. 2에 나타낸다. 사진에 보이는 공간필터는 9소자용이다.

Si태양전지는 빛량에 비례하여 광전류가 흐르기 때문에, 각 슬릿출력에 +-극성의 전기적인 하중을 가함으로써 광전변환작용과 적분작용이 동시에 이루어지게 되어, 목적으로 하는 공간하중합수를 지닌 공간필터가 실현되는 것이다.

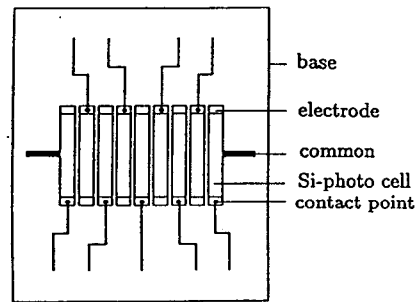


Fig. 6 Configuration of manufactured narrow band eliminating spatial filter

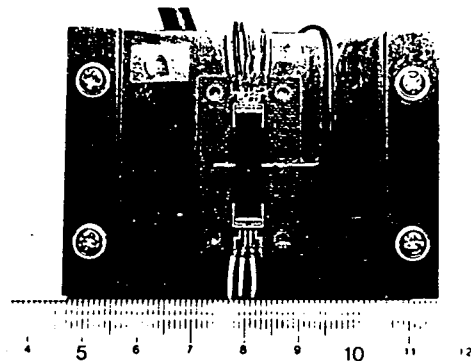


Photo. 2 Narrow band eliminating spatial filter

### 6. 실험 및 결과분석

실제 제조공장에서의 상황을 재현하기 위해 원통형 모의직물기를 이용하였다. 공장에서는 직물기의 상공에 다수의 실타래가 있고, 거기서부터 실이 직물기의 최상부에 붙어 있는 바늘에 의해 짜여져서 직물이 되고, 직물기가 일정속도로 회전하면서 짜여진 직물을 아래로 보낸다. 그리고 원통의 최하부까지 간 직물은 옆에 있는 드럼에 감긴다. 즉, 직물기의 상부에서 회전하면서 짜여진 메리야스는 직물눈이 수직인 상태에서 아래방향으로 이동하고, 같은 회전수로 회전하는 드럼에 감긴다. 이 모양을 모의직물기와 함께 Fig.7에 나타낸다. 그림의 점선은 실이 짜여지는 궤적으로 나선형이다. 따라서 결함검출기를 제조중인 직물의 어느 한 곳을 관측하도록 설치하면, 직물전체를 감시할 수 있게 되는 것이다. 실험에서는 메리야스 눈의 간격이 0.5mm가 되도록 하였으며, 결함은 크기마다 인위적으로 만들었다. 직물종류에 따라 눈의 간격이 서로 다를 수 있으며, 이 경우에는 검출기의 렌즈배율을 조정하여 공간필터의 각 슬리트 간격과 일치되도록 하면 된다. 메리야스의 결함검출에 이용하는 협대역 제거형 공간필터법은, 직물기의 회전에 따른 직물눈에 의한 빛강도의 변화성분은 제거하고, 결함만에 의한 빛강도의 변화를 추출하고자 하는 것이다. 따라서, 조명광의 강도에 변동이 생기면 결함신호의 피크값이 변동하므로 직류전원을 이용하여 조명하였으며, 이 빛이 메리야스를 통해 검출기 내에 장착되어 있는 공간필터에 결상되는 것이다. 메리야스 원단의 재질과 콘트라스트, 주위의 조명 등의 영향을 고려하여 직물기의 내부에서 빛을 비추도록 하였다. 슬리트로부터는 미약한 광전류가 흐르기 때문에, 이것을 부하저항을 이용해서 전압신호로 변환한다. 이 부하저항은 조명이 어두운 곳에서는 되도록 크게 하는 것이 바람직하며, 여기서는 주위의 여건을 고려해서 부하저항을 10k $\Omega$ 으로 하였다. 본 실험에 이용한 공간필터의 정전용량을 고려하면 시정수가 약 0.1  $\mu$ s 이므로, 모의직물기의 회전속도(230 mm/s; 15rpm)와 비교해볼 때 공간필터의 응답속

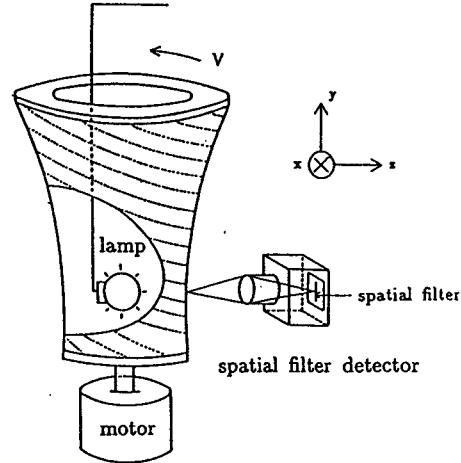


Fig. 7 Configuration of inspection system

도는 문제가 되지 않는다.

슬리트열의 하중값 설정에 하밍 윈도우함수를 이용한 경우에 검출된 결함신호의 예를 Photo. 3에, 슬리트열의 하중값을 일정하게 했을 때에 검출된 결함신호의 예를 Photo. 4에 나타낸다. 사진에 보듯이 메리야스의 결함이 뚜렷히 검출되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 공간필터의 슬리트가 세로로 긴 장방형을 하고 있으므로, 이와 유사한 모양의 결함에 대해 신호레벨이 높고 따라서 쉽게 결함검출이 가능함을 알 수 있다.

실험에 있어서, type 1 결함검출의 경우 정상시의 메리야스눈의 간격이 0.5 mm인 것에 대해 0.7-1.5 mm 크기의 결함을 다루었으며, 결함검출이 모두 가능하였다.

type 2의 결함은 실험을 위해 인위적으로 만드는 것이 어려웠다. 그러나 일반적으로 type 1보다 큰 형태로 발생하고, 또 type 1이 검출된다는 것은 type 2는 더 쉽게 검출될 것으로 여겨진다.

type 3,4의 경우, 메리야스실에는 어느 정도의 장력이 걸려 있기 때문에 Photo. 1에 나타나 있는 것처럼 실이 풀기면 구멍이 크게 발생되고, 현실적으로도 보통 수 mm정도의 구멍으로 커진다. 여기서는 1.0×1.0에서 5.0×9.0 mm까지 종횡방향으로 각각 1.0 mm씩 증가시키면서 실험하였고, 모두 결함검출이 가능한 것을 확인하였다.

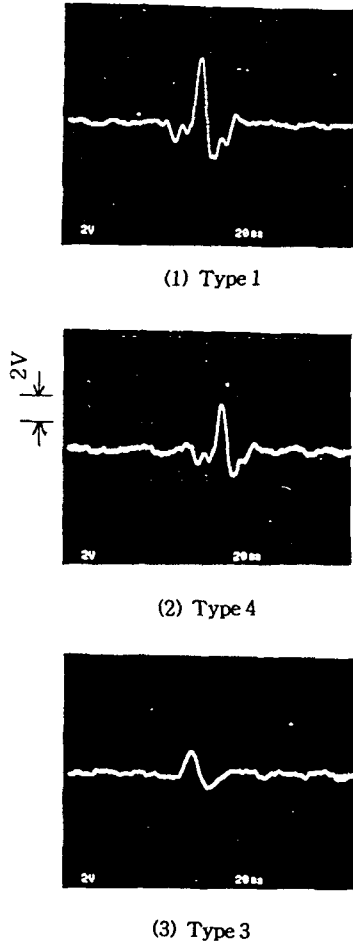


Photo. 3 Observed defect signals by Hamming window weighting function

Photo. 3과 Photo. 4를 비교해 보면, 결함검출이라는 계측목적은 모두 만족시키고 있다. 그러나 검출 효능면에서는 공간하중함수로서 하밍 윈도우를 이용한 공간필터가 더 좋은 결과를 보이고 있다. 즉, SN비가 향상된 것을 알 수 있다. 두 사진에서 결함신호를 제외한 노이즈성분의 크기가 서로 다른 것은, 부드러운 메리야스를 정확하게 눈의 간격이 0.5mm가 되도록 인위적으로 설치하는 것은 대단히 어려웠으며, 그때마다 메리야스의 상태가 조금씩 달랐기 때문이다. 그러나, 노이즈성분과 결함신호의 피크값을 비교해 볼 때 Photo. 3의 쪽이 검출 효율이 향상되었다고 할 수 있을 것이다. 또한, 계

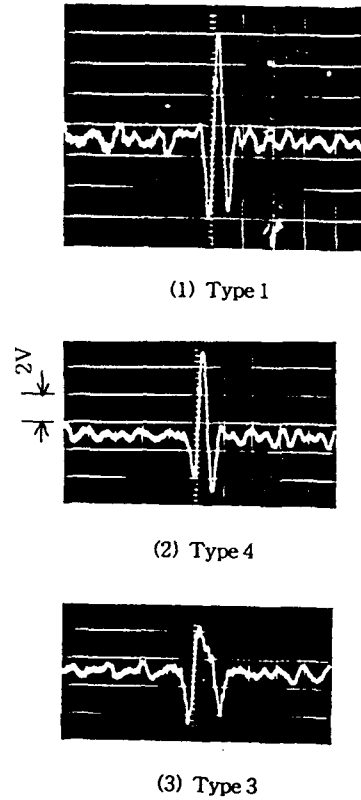


Photo. 4 Observed defect signals by uniform weighting value

측에 있어서 반복성과 재연성은 대단히 중요한 의미를 지니고 있기 때문에 본 실험을 여러 차례 걸쳐서 하였으나, 결과는 마찬가지였다.

한편, 공간필터의 파라미터(스리트의 개수, 길이, 피치, 폭)가 같을 경우, 하밍 윈도우함수를 이용한 쪽이 제거되는 대역의 폭이 조금 넓다. 이것이 직물의 결함계측 효과에 어떻게 영향을 미치는가를 판단하기란 사실상 어렵다. 그 이유는, 메리야스 눈 간격의 불규칙성의 정도에 따라 제거되는 대역의 폭을 달리해야 하기 때문이다. 즉, 눈 간격의 불규칙성이 크면 제거대역이 큰 것이 효과적이며, 불규칙성이 작을 경우 제거대역폭도 작은 것이 SN



비가 높기 때문이다.

## 7. 결론 및 고찰

협대역 제거형 공간필터의 기본특성에서, 주파수 통과대역에 나타나는 리플성분은 결합검출효과에 영향을 미치게 되며, 이를 평활하게 하는 것은 필터의 취득방향뿐만 아니라, 폭넓은 응용을 위해서도 이론적으로 고찰해야 할 부분이다. 공간필터법은 계측목적에 따라 공간적 하중함수를 자유롭게 설정할 수 있는 것이 특징이다. 이점에 착안하여 공간적 하중함수로서 하밍 윈도우 함수를 도입하였으며, 그 결과 리플성분은 거의 제거할 수 있었다.

실제적인 응용으로서, 메리야스에 발생하는 결합을 온라인 검출하기 위한 협대역 제거형 공간필터를 설계론적 견지에서 검토하였다. 이를 위해 메리야스 자체가 지니고 있는 고유한 성질을 분석하고, 여기에 발생하는 대표적인 결합의 공간주파수 특성을 분석을 하였다.

이상의 분석결과를 근거로 하여, 협대역 제거형 공간필터를 실제 제작하고 결합검출실험을 하였다. 실험결과에 의하면, 스트리트열의 하중값으로 하밍 윈도우함수를 이용한 공간필터가 하중값을 일정하게 한 것보다 결합의 온라인 검출효과가 뛰어났음을 확인할 수 있었다.

전기소자를 이용하여 구성된 전기적 필터는, 전기소자자체의 응답특성으로 인하여 측정대상의 움직임이 아주 빠른 경우에는 이를 따라가지 못한다. 그러나, 본 연구에서 개발한 공간필터법은 센싱하는 단계에서 필요한 정보만을 하드웨어적으로 필터링하므로, 측정대상이 아무리 빨리 움직여도 필요로 하는 정보는 추출해 낼 수 있다. 또한, 광학센서를 이용하므로, 높은 응답속도, 고분해능, 소형이며 경량한 장치로서 온라인 실시간 계측이 가능하다는 것등의 계측계의 간략화를 실현할 수 있다.

또한, 메리야스 결합검출 이외에도 다음과 같은 분야에서 효능을 발휘할 수 있을 것이다.

- ① 제조중인 철판의 표면결합계측
- ② 반도체 마스크 패턴의 결합계측
- ③ 자기테이프 표면의 결합계측
- ④ 제지(종이) 표면의 결합계측

그리고, 본 연구의 계측 알고리즘은, 센서의 종류, 형상, 크기, 배치방법 또는 하중함수 등을 연구·검토함으로써, VTS용 안테나의 지향성제어, 선체진동계측, 交通流계측(차종식별) 등의 분야에 응용될 수 있을 것이다.

## 감사의 말씀

본 연구는 한국과학재단 핵심전문 연구비(961-0924-145-1)지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 山捕富雄, “パターン計測用空間フィルタ検出器”, 光技術コンタクト, Vol.26, No.1 (1988)
- 2) 田, 大山, 小林, 山捕, “空間フィルタ法による織物のオンライン傷計測”, 電気學會産業計測制御研究會資料, IIC-90-37, 31/40 (1990)
- 3) 内藤, 小林, “空間フィルタによる速度計測”, 計測と制御, Vol.7, No.11, 761/772 (1968)
- 4) 内藤, 小林, “計測のための狭帯域通過型空間フィルタ”, 計測自動制御學會論文集, Vol.5, No.2, 142/149 (1968)
- 5) 谷萩隆嗣, デジタル信號處理の理論, pp.78-79, コロナ社 (1988)
- 6) 田, 大山, 小林, 山捕, “傷検出のための空間フィルタの設計に關る一考察”, 第34回自動制御聯合講演會, 471/472 (1991)