

高分子 PVDF 振動子を 利用한 点集束超音波探觸子の 특성

韓 應 教* · 黃 汐 泰** · 李 範 成** · 朴 俊 緒** · 小 倉 幸 夫***

Characteristics of Point-Focus Type Ultrasonic Transducer using PVDF Element

E. K. Han,* S. T. Hwang,** B. S. Lee,** J. S. Park** and Y. Ogura***

Abstract In this study, we examine the characteristics of beam and the effect of these characteristics on the flaw detection by using different type of two transducers, which are PZT and PVDF film transducer.

Consequently, the detection of infinitesimal flaw is more possible than PZT, since it has beam width at focus of 60%~65% in contrast with PZT's. Moreover we can know PVDF transducer has superiority in detecting ability for sub-surface flaw detection in view of its acoustic impedance is near to water's and its focusing range is narrower than PZT's as 65~85% because it has spherical surface.

1. 序 論

最近, 精密産業이 발달함에 따라 製造品의 事後 品質檢査라든지 여러가지 機械構造物 등의 安全度등이 중요한 문제가 되었고 이를 위한 非破壞的 缺陷探傷 특히, 超音波를 이용한 内部缺陷의 定量的 평가는 상당한 발전과 함께 중요한 위치를 차지하게 되었다. 이와 같은 상황에서 探傷精密正確度를 향상시키기 위하여는 分解能等의 성능이 우수하고 여러 탐상조건에 맞는 探觸子の 개발

이 필수적이어서 오래전부터 그에 대한 많은 연구와 노력이 이루어져왔다.^{1), 2), 8)}

그 결과 일반적인 探觸子에 비하여 초음파의 빔이 가늘어 작은 결함에 대하여 高感度이고 缺陷位置의 推定精密正確度와 缺陷值數의 測定精密正確度를 향상시킬 수 있는 点集束形 探觸子가 개발되어 사용되어 왔다.^{3), 4)}

그러나 지금까지 사용되어온 点集束探觸子는 대부분 壓電세라믹계통의 진동자를 사용한 일반探觸子에 음향렌즈를 부착하여 빔을 集束함으로써 빔의 集束에 한계가 있고 음향

* : 漢陽大學校 精密機械工學科(Hanyang Univ.)

** : 漢陽大學校 精密機械工學科(Hanyang Univ.) 大學院

*** : 日本 日立(Hitachi) 建機(株)

접수 : 1992년 5월 15일(Received May 15, 1992)

렌즈에 의한 손실, 진동자 自體의 불필요 모드등으로 인하여 진동발생등의 문제점이 대두되어 왔다.

最近 高分子 PVDF필름의 경제적인 가공 방법이 개발되어 구면진동자의 가공이 가능하게 됨에 따라 음향렌즈 없이도 빔의 集束이 가능하고 특히 진동자 자체의 음향입피던스가 물에 가까워 특히 수침탐상에서 분해능이 더욱 향상된 探觸子가 개발되고 있는 추세이다.^{5), 6)}

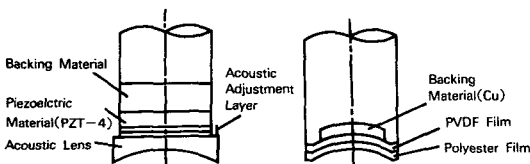
本 研究에서는 이렇게 개발된 水浸用 高分子(PVDF) 探觸子와 종래에 사용되어온 水浸用 壓電세라믹(PZT-4) 探觸子를 사용하여, 반사체와 探觸子사이에 물만이 介在된 경우와 물과 아크릴수지가 介在된 경우의 빔의 특성과 이러한 빔의 특성이 결합탐상에 미치는 영향에 대하여 실험을 통해 규명하였다.

2. 超音波 探觸子

2-1. 探觸子の 構造

음향렌즈가 부착되어 있는 探觸子와 高分子진동자를 사용한 탐촉자의 일반적인 구조를 아래의 Fig.1에 나타내었다.

壓電세라믹의 경우 평평한 진동자를 사용하고 그 앞에 오목한 음향렌즈를 부착하여 빔을 集束하는 방식을 사용했으나, 高分子진동자의 경우 진동자 자체를 球面으로 가공하여 음향렌즈 없이도 빔을 集束하는 것에 가장 큰 차이점이 있다.



(a) Acoustic lens type transducer
(b) Transducer used PVDF vibrator

Fig.1 Structure of the ultrasonic transducers

2-1-1. 球面진동자와 音軸상의 音壓
아래의 Fig.2에 보인 球面진동자(直徑D, 曲率半徑R)의 초점 Fop부근의 음축상의 음압p는 근사적으로 다음의 식(1)과 같다.

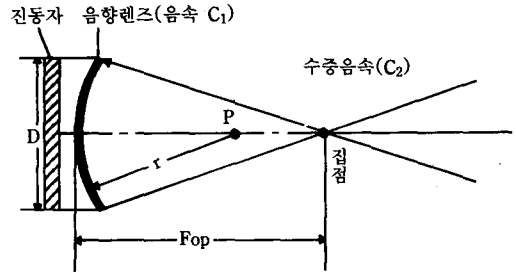


Fig.2 Sound pressure in spherical vibrator transducer

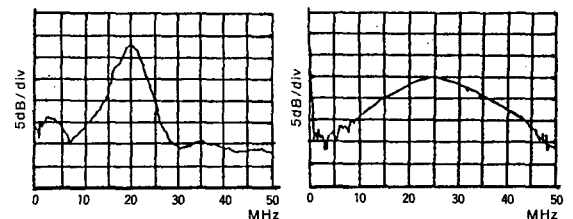
$$\frac{p}{P_0} = \frac{2 \sin \left[\frac{\pi}{2} J \frac{fop}{X} \left\{ 1 - \frac{X}{fop} \right\} \right]}{1 - \frac{X}{fop}} \dots (1)$$

$$J = \frac{D^2}{4\lambda fop} = \frac{X_0}{fop} \dots (2)$$

여기서 p는 음축상의 음압, P₀는 진동자에서의 음압, X는 음축의 좌표, D는 진동자의 직경, fo는 광학적 초점거리, J는 집속계수, λ는 파장, X₀는 근거리음장 한계거리로 정의된다.

2-2. 周波數特性

아래의 Fig.3는 壓電세라믹 探觸子와 高分子探觸子の 주파수 특성을 보이고 있다. 高



(a) PZT(Eishin Kagaku) (b) PVDF(Hitachi)

Fig.3 Frequency characteristic of PZT & PVDF transducers

分子探觸子が 壓電세라믹探觸子에 比하여 短 펄스(廣帶域) 特性을 보이고 있으며, 따라서 거리분해능이 좋은 探觸子를 기대할 수 있다.

또한 高分子探觸子が 壓電세라믹探觸子에 比하여 음향임피던스가 작으므로 펄스파형의 殘響시간이 짧고, 廣대역特性을 보이고 있다.

3. 實驗 裝置

3-1. 實驗 裝置

실험장치는 일본 HITACHI의 초음파탐상 모듈을 사용하였으며, 실험계통은 아래 Fig.4의 블록다이어그램에 나타내었다.

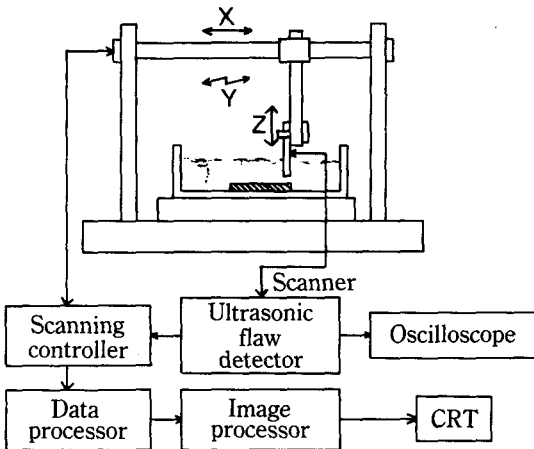


Fig.4 Blockdiagram of experiment system

3-2. 探觸子

探觸子는 공칭주파수 25MHz인 壓電세라믹계探觸子와 高分子探觸子를 사용하였다. 참고로 탐촉자의 제원을 Table 1에 나타낸다.

Table 1. Specification of transducers

	① (Ceramic)	② (Polymer)
Piezoelectric Material	PZT-4	PVDF
Nominal Frequency	25MHz	25MHz

Element Dimensions	6.4mm	6.0mm
Focal Length	10mm	10mm
Connector Type	UHF	UHF
Class	Immersion	Immersion

3-3. 試驗片

본 실험에서 사용한 Stainless Steel STS 304는 지름이 각각 1.0mm, 2.0mm, 4.0mm, 6.0mm, 10.0mm이다. 그리고 스텝형 시험편의 결의 재질은 아크릴이며, 内部鋼球의 재질은 Stainless Steel STS304이다. 자세한 형상과 치수는 Fig.5에 나타내었다.

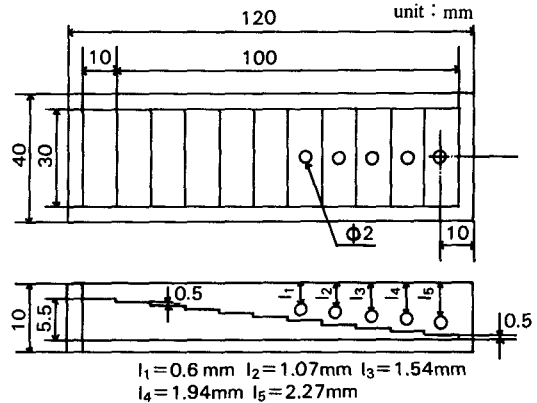


Fig.5 Dimensions of test piece

4. 實驗 方法

4-1. 單一 매질에서의 시험

4-1-1. 焦點의 빔폭 측정

빔이 集束되어 焦點을 형성했을 때 그 焦點에서의 빔폭을 측정한다. 측정 방법은 수조의 밑바닥 위에 놓여있는 지름 2.0mm인 불에 스캐너의 조정장치와 오실로스코프를 이용하여 음향에코의 값이 가장 큰 위치를 찾는다. 이때가 불의 중심에 焦點이 맞춰진 때이다. 그 후 x축 또는 y축만을 10μm씩 움직여 중심에서의 음향에코값의 1/2, 즉 6dB차이가 나는 위치를 찾아 그 값을 빔의 폭으로 정의한다. 이번에는 z축을 10μm씩 이동한다. 이어 다시 x축과 y축을 움직여 중심위치를 찾은 다음, 다시 위와 같은 방법으로 빔의 폭을 측정한다. 이러한 실험을 壓電세라믹探觸

자와 高分子探觸子를 사용하여 z축 중심의 위와 아래로 10 μ m씩 움직여 각 위치에서의 빔 폭을 측정한다.

4-1-2. 반사체의 크기 변화에 따른 반사음압의 비교

수조의 표면위에 여러가지 지름이 다른 볼에 대하여 z축을 움직여 중심축에서의 음압분포를 조사 비교한다. 먼저 지름이 가장 작은 1.0mm의 볼에 초점을 맞춘다. 초점을 맞추는 방법은 앞의 4-1-1의 방법과 같은 방법이다. 이어 z축만을 50 μ m씩 움직여 중심축에서의 음압분포를 측정한다. 계속하여 지름을 2.0mm, 4.0mm, 6.0mm, 10.0mm로 증가시켜 마찬가지로 중심축에서의 음압분포를 측정한다.

4-1-3. 반사 감도의 비교

앞의 4-1-2에서의 지름 2.0mm인 볼에 대하여 이득(Gain)값을 똑같이 설정하였을 경우의 반사음압의 분포를 조사한다. 수조 밑바닥의 표면위의 지름 2.0mm의 볼에 초점을 맞춘 다음 z축을 50 μ m씩 움직이며 중심축에서의 반사음압분포를 측정한다. 이때 각각의 探觸子에 대한 이득값(Gain)은 8dB로 일정하게 한다.

4-2. 複合 매질에서의 실험

4-2-1. 반사체의 깊이에 따른 반사음압의 비교

초음파 빔이 물을 지난 후 아크릴수지를 다시 한번 통과하여 반사체에 부딪혀 반사하는 음압분포를 측정하는 실험이다. 앞의 Fig. 5에 보인 시험편의 가장 깊은 볼에 앞의 4-2에서와 같은 방법으로 초점을 맞춘다. 이어 z축을 위와 아래로 50 μ m씩 움직여 각각의 위치에서의 볼에 대하여 똑같은 방법으로 중심축에서의 음압분포를 측정한다.

5. 實驗 結果 및 考察

5-1. 單一 매질에서의 실험결과

5-1-1. 초점에서의 빔폭

壓電세라믹探觸子와 高分子探觸子는 探觸子の 구조가 달라 빔의 集束방식이 다르므로 초점부근의 빔폭의 크기가 다를 수 밖에 없다. 중심축의 음압의 1/2이 되는 위치 즉 6dB

의 차이가 나는 위치를 빔의 폭으로 정의하여 그 위치를 측정한 결과로서 빔의 집속된 부분중 윗쪽부분의 치수를 Fig.6에 나타내었다.

壓電세라믹探觸子の 경우 음향렌즈에서의 손실의 영향으로 빔의 폭이 일정한 부분이 존재하나 高分子探觸子の 경우, 진동자 자체가 곡면인 까닭에 빔의 폭이 초점으로부터 거의 선형적으로 변하는 것을 확인할 수 있었다.

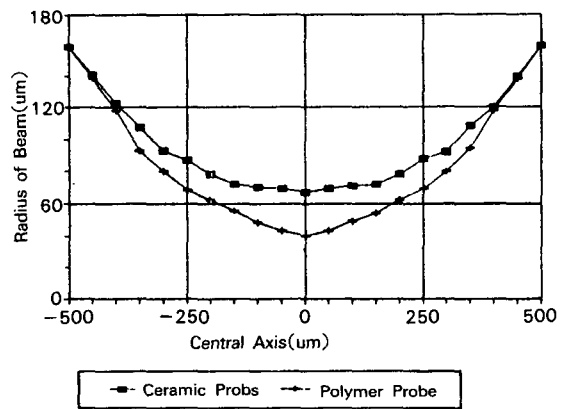
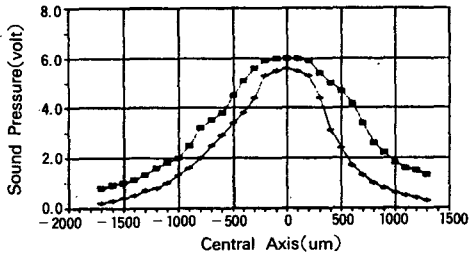


Fig.6 Beamwidth at focus

또한 초점에서의 빔의 폭이 高分子探觸子가 세라믹探觸子에 비하여 약 60% 정도밖에 되지 않아 보다 미소한 결함의 탐상에 적합하다는 것을 알수 있었다.

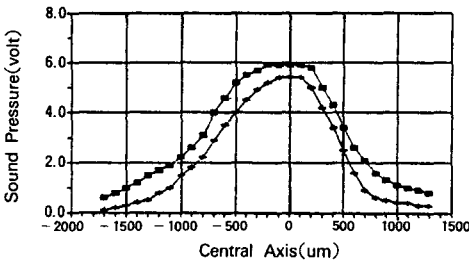
5-1-2. 반사체의 크기에 따른 반사음압의 비교결과

수조 밑바닥에 놓여 있는 크기가 다른 볼에 있어서 중심축에서 음압분포의 차이를 비교하여 보았다. Fig.7은 볼의 직경에 따른 세라믹 탐촉자와 폴리머 탐촉자의 음압을 비교한 것이다. 이득값(Gain)이 高分子의 경우 세라믹25dB의 1/3수준인 8dB밖에 되지 않는 데도 초점부근에서의 음압값이 세라믹에 비하여 별다른 차가 없는 것으로 보아 高分子探觸子の 경우 세라믹의 경우보다 감도가 좋다는 것을 알 수 있었다. 이러한 초점에서의 음압값의 차는 Fig.8과 같이 볼의 크기가 커질수록 작아져 결국에는 없어지는 것을 알 수 있었다. 이것은 高分子의 경우 초점의 빔폭의 변화가 세라믹에 비하여 크기 때문이다.



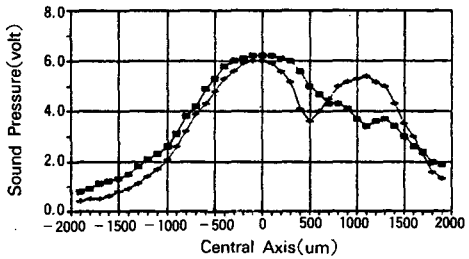
— Ceramic Probe(25dB) — Polymer Probe(8dB)

(a) Diameter 1.0mm



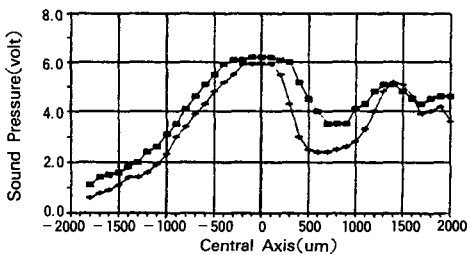
— Ceramic Probe(25dB) — Polymer Probe(8dB)

(b) Diameter 2.0mm



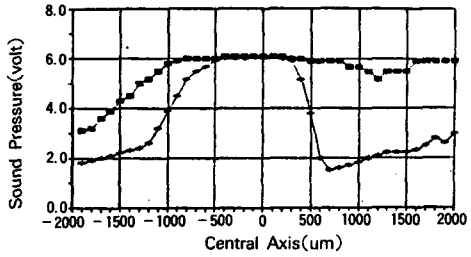
— Ceramic Probe(25dB) — Polymer Probe(8dB)

(c) Diameter 4.0mm



— Ceramic Probe(25dB) — Polymer Probe(8dB)

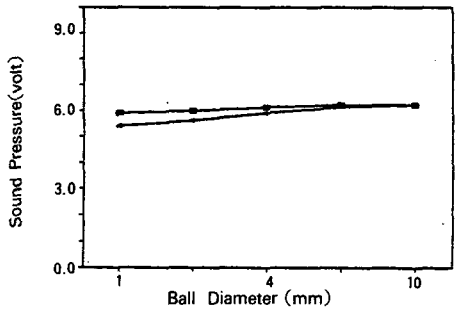
(d) Diameter 6.0mm



— Ceramic Probe(25dB) — Polymer Probe(8dB)

(e) Diameter 10.0mm

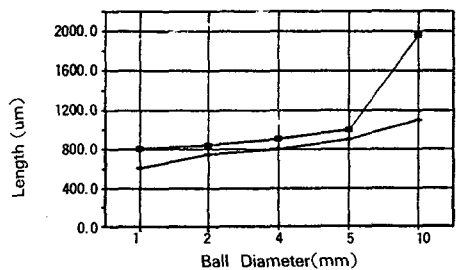
Fig.7 Sound pressure for ball on surface



— Ceramic Probe(25dB) — Polymer Probe(8dB)

Fig.8 Sound pressure difference for ball diameter

또한 Fig.9는 각각의 경우의 집속범위를 비교하는 그래프로서 최대 에코값보다 6dB 낮은 값을 나타내는 중심축상의 위치를 표시한 그래프이고, 근거리음장의 영향을 피하기 위하여 초점에서 원거리음장쪽만의 거리를 비교하였다. 볼의 지름이 6.0mm 정도까지는 볼



— Ceramic Probe(25dB) — Polymer Probe(8dB)

Fig.9 Focus extent for ball diameter

의 지름이 증가하여도 압전세라믹과 고분자 양쪽 모두 비슷한 양상을 보이지만 지름이 10.0mm인 경우 압전세라믹쪽이 잔향의 영향과 범폭이 큼으로 인하여 갑자기 증가하는 것을 알 수 있다.

5-2. 複合매질에서의 실험 결과

5-2-1. 반사체의 깊이 변화에 따른 반사음압의 비교

이 실험은 앞의 探觸子와 반사체 사이의 물이라는 단일 매질에 음향임피던스가 다른 아크릴수지를 개입시켜 각각의 탐촉자의 특성을 비교해 보기 위함이다. Fig.10은 음압의 분포를 나타낸 것이다. 高分子探觸子는 壓電세라믹探觸子에 비하여 아크릴속에 위치한 반사체에 대한 실험에서 반사체의 깊이가 깊을수록 촛점거리가 짧아져 중심음압의 분포 범위가 좁아지는 것을 알 수 있다. 실험 결과에서 오른쪽의 불규칙적인 변화는 근거리음장의 영향으로 설명되어 진다.

또한 Fig.11을 보면 壓電세라믹탐촉자의 경우 표면에 가까워질수록 중심에서의 반사에코뿐만 아니라 잔향의 영향과 근거리음장의 영향, 집속부분의 길이가 어느정도 존재함에 따라 집속범위가 넓어져 중심부분의 구분이 힘들어지게 되나, 高分子探觸子의 경우 壓電세라믹探觸子에 비해 범의 폭이 좁고 집속부분의 길이가 짧음으로서 그런 영향이 훨씬 적어 표면 근방에서도 훨씬 정밀정확도가 높은 탐상이 가능하다는 것을 알 수 있다.

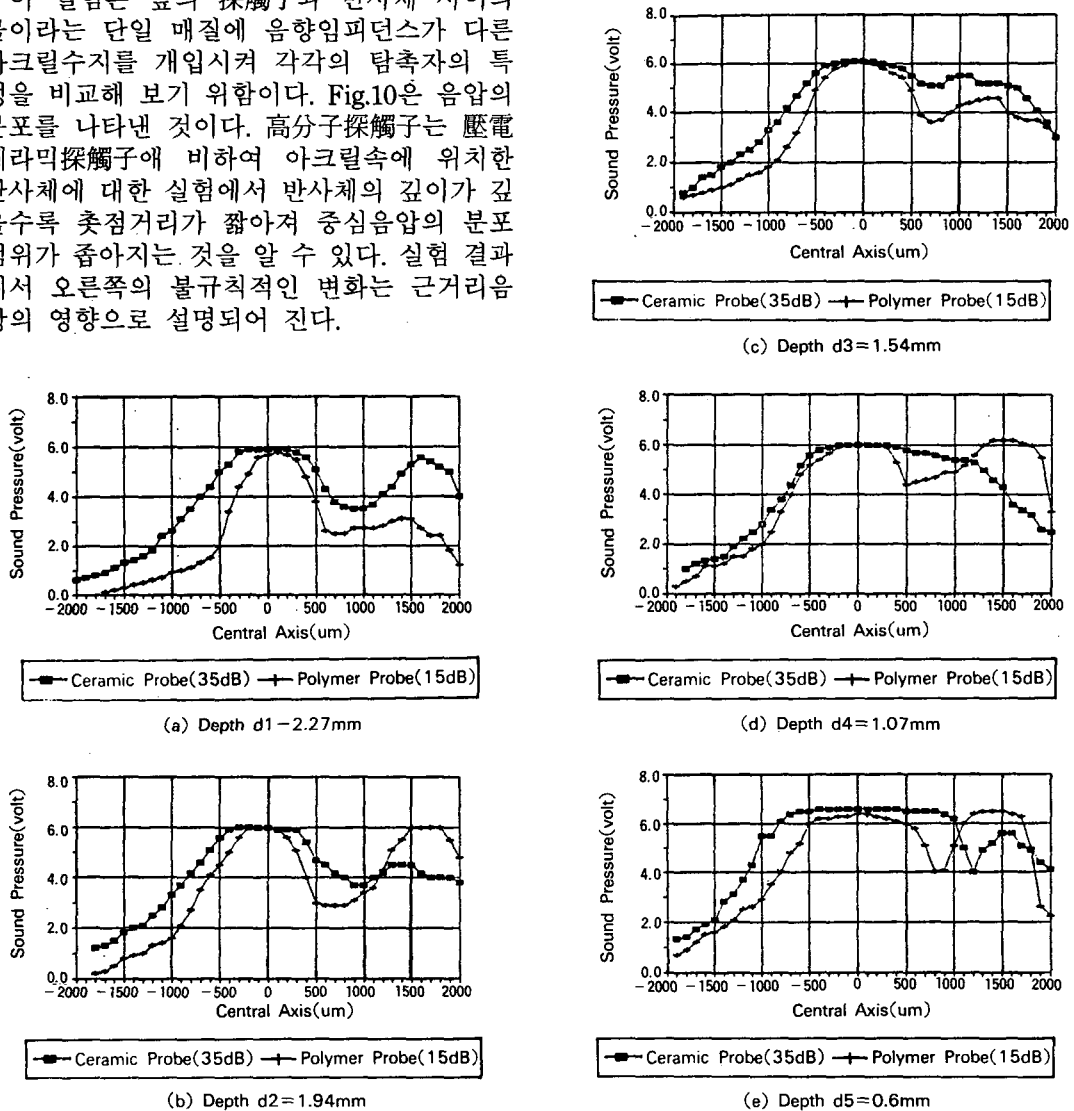


Fig.10 Sound pressure for ball in acryle

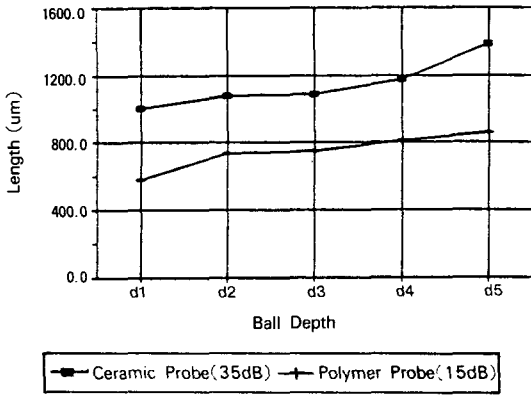


Fig.11 Focus extent for ball in acrylic

6. 結 論

壓電세라믹探觸子와 高分子振動子를 사용한 探觸子の 결함검출 특성을 실험을 통하여 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 高分子探觸子는 振動子の 음향임피던스값이 壓電세라믹탐촉자의 振動子보다 작고 触点에서의 빔폭이 壓電세라믹探觸子 빔폭의 60~65%밖에 되지 않아 보다 微小한 결함의 검출이 가능하다.
- 2) 高分子探觸子는 振動子自體가 球面으로 構成되어 壓電세라믹探觸子보다 빔의 집중범위가 좁아 깊이방향의 결함탐상은 미흡하나 표면근처의 탐상에 우수함을 알 수 있었다.

References

1. H. Jaffe, D. A. Berlincourt : "Piezoelectric Transducer Materials", Proceedings of IEEE, Vol. 53, No. 10 Oct, 1965
2. C. S. Desilets, J. D. Fraser, G. S. Kino : "The Design of Efficient Broad-Band Piezoelectric Transducers", IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-25, No. 3, May, 1978
3. 田 泰平, 竹中克己, 構野泰和, 中山弘司 : "集束探觸子による 缺陷寸法と 에코-高さ의 關係", 非破壞檢査, 第31卷, 第11號
4. 木村勝美, 福原熙明, 松本 次郎 : "超音波探傷用点集束斜角探觸子の設計方法", 非破壞檢査, 第31卷, 第1號
5. H. Ohigashi : "Electromechanical properties of polyvinylidene-fluoride film as studied by piezoelectric resonance method", Journal of Applied Physics, Vol. 47, No. 3, Mar, 1976
6. M. G. Broadhurst, G. T. Davis, J. E. McKinney, R. E. Collins : "Piezoelectricity and pyroelectricity in polyvinylidene-fluoride-A model", Journal of Applied Physics, Vol. 49, No. 10, Oct, 1978
7. 瀨尾 巖, 高見 浩, 宇田川義夫, 三浦俊治 : "ポリマープローブおおいな高周波探傷装置" NDI資料 21169, Nov, 1987
8. 한응교, 박익근, 김현철 : "전자주사식 초음파 탐촉자의 결함검출능력에 관한 연구", 한국비파괴검사학회 추계학술발표회 초록집, 1990, pp 10-20.
9. 日本電子機械工業會編 : "醫用超音波機器ハンドブック" コロナ社, pp 1-205.