

비규격 초음파 탐상용 표준시험편의 사용안전성 평가

Evaluation of Suitability of Non-Standardized Test Block for Ultrasonic Testing

권호영*, 임중호**, 강세선***
 Ho-Young Kwon*, Jong-Ho Lim** and Sei-Sun Kang***

초 록 표준시험편이란 재질, 형상, 치수 및 성능이 권위 있는 기관에 의해 검증된 국제적인 시험편을 말하며 이것은 탐상기의 특성시험 또는 감도조정, 시간축의 측정범위 조정에 사용된다. 그런데 이 표준시험편은 초음파탐상 결과에 아주 크게 영향을 미치는 하나의 변수로 ASTM 이나 JIS에서는 이들 표준시험편의 규격, 재질 및 성분 등을 엄격하게 규격화하고 있다. 그 이유는 이들 성질들이 감도와 분해능 및 재현성에 아주 큰 영향을 미치기 때문이다. 따라서 결함의 크기 및 치수를 정량화하고 재현성 있는 결과를 얻기 위해서는 엄격한 품질의 표준시험편이 요구되고 있다. 그러나 ASTM 또는 JIS등의 규격품들은 상당히 고가이며 시중에는 품질이 검증되지 않은 표준시험편들이 일부 사용되고 있는 실정에 있고 이들 시험편의 품질 및 사용 적합성을 재고하기 위하여 각종 규격에 비추어 보고, 규격품들과 비규격품의 각종 성질들을 비교하여 그 사용 안전성을 고찰하고자 하였다. 그 결과 비규격품들은 치수 및 성분에서 많은 문제점을 안고있으며 비규격품들을 검증없이 사용할 경우 피검물내의 결함의 위치나 크기 측정에 오차를 유발할 가능성을 확인하였다.

주요용어: 표준시험편, 초음파 탐상, 사용 안전성

Abstract Standard Test Block(STB) for UT(Ultrasonic Testing) is a block approved by authoritative for material, shape and quality. STB is used for characteristic tests, sensitivity calibration and control of the time base range of UT inspection devices. The material, size and chemical components of STB should be strictly controlled to meet the related standards such as ASTM and JIS because it has an effect upon sensitivity, resolution and reproductivity of UT. The STBs which are not approved are sometimes used because the qualified STBs are very expensive. So, the purpose of this study is to survey the characteristics, quality and usability of Non-Standardized Test Blocks. Non-Standardized Test Blocks did not meet the standard requirements in size or chemical components, and ultrasonic characteristics. Therefore if the Non-Standardized Test Blocks are used without being tested, it's likely to cause errors in detecting the location and measuring the size of the defects.

Keywords: Standard Test Block, ultrasonic testing, suitability

1. 서론

산업의 발달과 더불어 재료 및 제품검사의 방법 중 하나로서 대상물을 파괴하지 않고 검사할 수 있는 검사 방법

법이 채택되어 널리 이용되고 있는데 이를 비파괴검사법이라고 한다. 특히 초음파 탐상 법은 초음파 빔을 재료 또는 제품에 입사하여 그 표면과 표면 아래에 있는 불연속의 위치 탐상뿐만 아니라 안전성을 평가를 하는 비파

피검사법이다. 초음파탐상법은 재료내의 투과력이 우수하고, 고감도이며, 결합지시가 순간적으로 제시되어 즉시 해석이 가능하며, 휴대가 용이한 등 많은 장점을 갖고 있어 그 수요가 급속히 신장되어가고 있다[1]. 그런데 초음파탐상에 이용되고 있는 장치는 결합으로부터의 반사신호의 파형을 관찰하고, 그 진파시간과 진폭정보로부터 결합평가를 하는 방식인데, 검사기술자의 기량, 경험에 의한 개인차가 생기기 쉽고, 장비 보정과 결합분석을 위한 대비 표준(reference standard)이 필요한 약점을 가지고 있다. 표준시험편(standard test block, STB)이란, 재질, 형상, 치수 및 성능이 권위 있는 기관에 의해 검증된 국제 시험편을 말하며, 이것은 탐상기의 특성시험, 감도 조정 또는 시간축의 측정범위 조정에 사용된다. 그런데 이 표준시험편은 초음파탐상 결과에 아주 크게 영향을 미치는 하나의 변수로 ASTM 및 JIS에서 그 규격이나, 재질, 및 성분을 엄격하게 규격화하고 있다. 그것은 표준시험편의 성분 및 조직의 결정립 크기가 감도(sensitivity)와 분해능 및 재현성에 아주 큰 영향을 미치고 있기 때문이다.⁽²⁾ 따라서 결합의 크기 및 치수를 정량화하고 재현성 있는 결과를 얻기 위해서는 엄격한 품질의 표준시험편이 요구되고 있다. 일반적으로 펄스 반사식 초음파탐상에 있어서, 모니터에 나타나는 탐상도형에서 얻어지는 중요 정보는 그 반사 원의 위치와 에코(echo)의 높이이다. 이와 같은 시험편에 의해 탐상기의 측정범위 즉, 시간축(도형의 가로축의 범위)의 조정 및 감도(도형의 세로축의 범위)를 조정함으로써, 2개의 정보가 정확하게 얻어지며 이것에 의해 결합이 쉽게 판정된다. 그러나 ASTM 및 JIS 등의 규격품들은 국내에서 고가이기 때문에 시중에는 품질이 검증되지 않은 저가의 표준시험편들이 널리 사용되고 있는 실정에 있다. 그래서 본 연구는 이들 품질이 검증되지 않은 표준시험편의 품질 및 사용적합성을 고찰하기 위하여 각종 규격에 비추어 보고, 국제 규격품들과 이들 비규격품의 성질들을 비교, 검토하였다. 특히 초음파탐상에 가장 널리 이용되는 STB-A1 시험편과 STB-A2 시험편을 선택하였으며 다음과 같은 특성들을 비교, 고찰하였다.

1. 표준시험편(STB-A1, STB-A2)의 치수
2. 금속 조직학적 특성
3. 표준시험편(STB-A1, STB-A2)의 화학성분
4. 초음파탐상 특성(굴절각, 입사각, 입사점, 속도)

2. 실험방법

2.1. 표준시험편(STB-A1, STB-A2)의 치수

표준시험편들의 치수 측정은 정밀 계측 현미경(N.O.W, NRM-D-XY, JAPAN, $\pm 0.001\text{mm}$)을 사용하여 5회 이상을 측정한다. 다음 최대, 최소값은 제외하고 나머지를 평균하였다.

2.2. 표준시험편(STB-A1, STB-A2)의 조직

표준시험편들의 조직 관찰은 auto polisher를 이용하였다. 시험편을 연마용 사포(#2000)로 grinding한 후 $0.05\mu\text{m}$ 입경의 alumina분말을 사용하여 polishing하였다. 재질이 탄소강인 경우 4% Nital용액을, 스테인레스강 재질인 경우에는 FeCl_2 5g, HCl 5ml, H_2O 100ml의 혼합액으로 에칭하고 광학 현미경(OPTHOT, Nikon, Japan)을 사용하여 그 조직을 관찰하였다. 조직을 관찰한 곳은 STB-A1인 경우에는 굴절각 눈금의 바로 아랫부분을, 그리고 STB-A2인 경우에는 4ϕ 구멍 바로 밑으로 고정하였다.

2.3. 표준시험편(STB-A1, STB-A2)의 화학성분 분석

표준시험편들의 화학성분 분석은 분광분석기(OES-5500, Shimadzu, Japan)를 사용하였다. 성분을 분석한 위치는 조직을 관찰한 곳과 동일하며 관찰할 곳을 연마용 사포(#800)로 연마한 다음 아세톤 용액으로 탈지하고 알코올 용액으로 세척을 하여 분석하였다.

2.4. 초음파 탐상

표준시험편들의 초음파탐상은 펄스-에코방식인 Digital 초음파탐상기(USN52R, Krauffkramer, Germany)를 사용하였다. 초음파 속도의 측정에는 STB-A1인 경우에는 총 5개를, 그리고 STB-A2인 경우에는 총 3개를 측정하였다. 그리고 R100면을 $2.25\text{Z}10 \times 10\text{A}45$ 를 이용하여 입사점을 측정하였는데 국제 규격품 4개와 비규격품 4개를 측정하여 빔 진행거리를 비교하였다. 또 $2.25\text{Z}10 \times 10\text{A}45$ 와 $2.25\text{Z}10 \times 10\text{A}70$ 의 탐촉자들을 이용해서 굴절각 45° 와 70° 에서의 빔 진행거리를 측정하였는데 이 경우에도 국제 규격품 4개와 비규격품 4개에서 측정값들을 비교하였다.

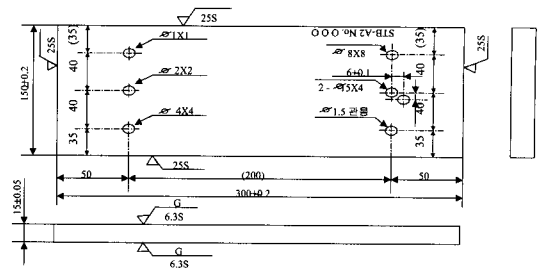
3. 실험결과 및 고찰

본 연구에 사용된 시험편은 초음파탐상용 STB-A1과

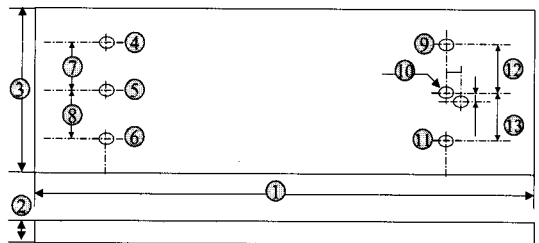
STB-A2를 사용하였는데 STB-A1은 장치의 보정에 주안을 둔 시험편으로 킬드 강의 연강을 사용하며 형상 및 치수는 Fig. 1(a)에 나타내었다. 또한 STB-A2는 탐상기의 감도 조정과 분해능 검증에 사용하는 것으로 재질은 SWS 490또는 SWS 400의 퀀칭(Quenching) 및 템퍼링(tempering)을 한 것으로 그 형상 및 치수는 Fig. 2(a)에 나타내었다. STB-A1시험편은 국제규격품 4개와 비규격품 4개를 비교, 검토하였으며 STB-A2시험편은 규격품 1개와 비규격품 2개를 비교, 검토하였다.

3.1. 시험편의 치수 측정 결과

각각의 시험편의 치수의 측정위치는 Fig. 1(b)과 Fig. 2(b)에 표기한 위치를 측정하였다. STB-A1시험편의 경우에는 10개소의 위치를, STB-A2시험편의 경우에는 13개소 위치에서 측정하여 그 결과를 KS규격과 비교하여 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다. 각각의 Table에서 치수가 규격내의 오차 범위를 넘는 경우에는 불합격을 의미하는 "X"라고 표기하였으며 오차 허용 범위 내에 있는 경우 합격율을 의미하는 "O"라는 표기를 하였다.

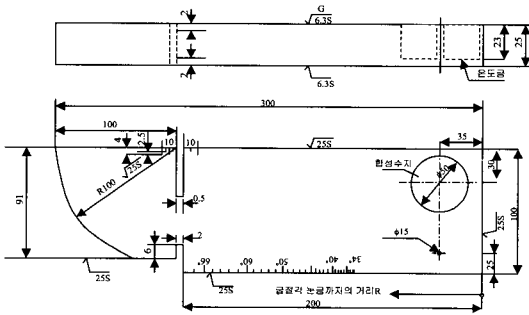


(a) Standard shape and size of STB-A2(KS B-0831)

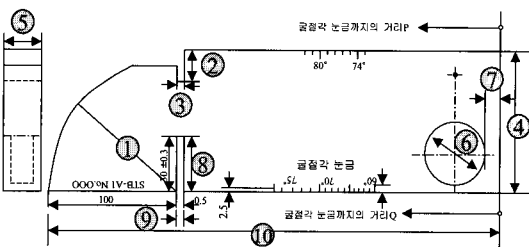


(b) Checked point to measure size of STB-A2

Fig. 2 Shape and Size of STB-A2



(a) Standard shape and size of STB-A1(KS B-0831)



(b) Checked point to measure size of STB-A1

Fig. 1 Shape and size of STB-A1

3.1.1. STB-A1

STB-A1 시험편에서 규격품(ASM No.3454)인 경우에는 실험에서 측정된 치수 모두 KS규격의 오차 한도 내에 있음을 확인하였다. 비규격품인 경우에 시험편의 외형(Fig. 1(b)의 ④,⑤,⑩)은 모두 규정내의 오차 한도내의 치수를 보이고 있다. 그러나 외형이외의 치수는 본 실험의 조건에서는 비규격품의 치수를 측정된 40개소 중 17개소가 불합격인 점으로 미루어 약 43%의 불량률 보이고 있다. 따라서 검증되지 않은 비규격품을 사용할 경우 결함지시의 오차에 의해 피검물의 안정성 평가에 치명적인 결과를 초래할 수가 있음을 확인하였다.

3.1.2. STB-A2

STB-A2시험편에서 국제규격품(ASM No. 2957)인 경우는 STB-A1시험편에서와 마찬가지로 규격내의 양호한 결과를 얻었다. 비규격품인 경우에는 시험편의 외형(Fig. 2의 ①,②,③)은 모두 규정내의 오차 한도내의 치수를 보이고 있다. 그러나 외형이외의 곳에서는 측정된 26개소 중 11곳이 불합격으로 약 42%의 치수불량률 보인다. 이러한 경향은 STB-A1시험편과 유사한 경향을 보이

고 있으며 특히 구멍의 치수 및 지름(Fig. 2(b) ④,⑤,⑥, ⑨,⑩,⑪)은 오차 한도에서 다른 조건보다 크게 벗어나는 경향을 보이는데 이것은 재료 내부의 결합인 기공이나 슬래그 혼입 등의 크기 또는 위치 판정에 큰 오차를 유발할 것으로 판단된다.

3.2. 표준시험편의 조직 관찰 결과

초음파 속도와 더불어 초음파 감쇠계수는 다결정체인 금속의 결정립 및 조직에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다[3]. 따라서 각종 시험편은 초음파 전달 특성에 이상을 일으키는 잔류 응력 및 음향 이방성이 없어야 하므로 KS규격을 비롯한 각종 규격에서는 STB-A형 시험편인 경우는 결정립이 미세한 킬드강의 재질로 SWS400 또는 SW490의 강으로서 열처리조건(Normalizing or Quenching-Tempering)을 명시[4]하고 있다. 그것은 감쇠계수는 결정립의 형상과 크기에 따라 달라지기 때문으로 열처리를 통하여 균일한 결정립을 갖도록 하기 위함이다. Fig. 3에는 STB-A1시험편의 조직 사진을 나타내었다. 국제규격품인 경우(No. 1) 마르텐사이트(martensite)조직을 보이지 않고 페라이트(ferrite, 백색)와 펄라이트(pearlite, 흑색)의 혼합조직을 보이는데 퀴칭(Queching) 후 템퍼링(tempering)을 통하여 비교적 균일하고 이방성이 없는 결정들을 관찰할 수 있다. 그러나 비규격품인 경우(No. 2~No. 5)에는 모두 압연방향으로 결정립이 연신된 상태가 잔존하고 있어 열처리조직이 미흡한 것을 알 수가 있었다. 특히 No. 3의 경우에는 솔바이트(sorbite, 흑색)조직을 기지로 마르텐사이트조직(백색)을 관찰할 수가 있는데 이는 퀴칭 직후 유냉으로 추축[5]되는 열처리조직을 보이고 있다. No. 3의 경우에는 페라이트와 펄라이트가 섬유상 조직으로 압연방향으로 연신된 조직을 보이는데 이는 전형적인 스테인레스강 조직으로 각종 규격에서 규정한 보통 강과는 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 비규격품인 경우에는 압연 후 조직의 열처리에 의한 균질화 처리가 부적절하고 특히 초음파의 반사 및 굴절에 영향을 미칠 수 있는 압연조직이 잔류하는 것을 알 수가 있었다. 이는 탐상 감도가 불안정하고 초음파탐상 결과를 예코의 크기만으로 간단하게 판정할 수 없는 오류를 야기할 수 있을 것이다. STB-A2시험편의 조직 사진을 Fig. 4에 나타내었고 국제규격품(No. 1)이나 비규격품(No. 2, No. 3) 모두에서 STB-A1과 비교해서 다소적은 압연조직을 관찰할 수 있었다. 이것은 STB-A2의 압연율이 크기 때문에 사료된다. 국제규격품에 비교해서 비규격품의

Table 1 The size measurement result of STB-A1

측정위치	허용오차	구분	실측길이	결과
①	100.00±0.1	1 (Standard)	100.01	O
		2	99.96	O
		3	99.68	X
		4	99.47	X
		5	99.50	X
②	15.00±0.1	1 (Standard)	14.93	O
		2	14.98	O
		3	14.68	X
		4	15.01	O
		5	14.82	X
③	2.00±0.1	1 (Standard)	2.00	O
		2	1.96	O
		3	2.03	O
		4	2.04	O
		5	1.98	O
④	100.00±0.1	1 (Standard)	100.08	O
		2	100.77	X
		3	100.03	O
		4	100.13	X
		5	100.37	X
⑤	25.00±0.1	1 (Standard)	25.00	O
		2	25.43	O
		3	23.87	X
		4	24.97	O
		5	24.80	X
⑥	50.00±0.1	1 (Standard)	50.01	O
		2	50.60	X
		3	49.97	O
		4	49.94	O
		5	49.03	O
⑦	10.00±0.1	1 (Standard)	10.01	O
		2	10.32	X
		3	10.14	X
		4	10.29	X
		5	10.18	X
⑧	30.00±0.1	1 (Standard)	29.95	O
		2	29.82	O
		3	29.92	O
		4	29.92	O
		5	30.08	O
⑨	100.00±0.1	1 (Standard)	100.03	O
		2	99.68	O
		3	99.88	X
		4	100.29	O
		5	99.24	X
⑩	300.00±0.1	1 (Standard)	300.09	O
		2	300.10	O
		3	299.92	O
		4	299.92	O
		5	299.98	O

Table 2 The size measurement result of STB-A2

측정위치	허용오차	구 분	실측길이	결 과
①	300±0.2	1(Standard)	300.01	○
		2	300.03	○
		3	300.11	○
②	15±0.05	1(Standard)	15.01	○
		2	15.03	○
		3	15.02	○
③	150±0.2	1(Standard)	150.05	○
		2	150.03	○
		3	149.97	○
④	1 ^{+0.02} -0.01	1(Standard)	1.01	○
		2	1.23	X
		3	1.10	X
⑤	2 ^{+0.03} -0.01	1(Standard)	2.00	○
		2	1.98	○
		3	2.08	X
⑥	4 ^{+0.05} -0.01	1(Standard)	4.01	○
		2	4.05	○
		3	3.99	○
⑦	40±0.3	1(Standard)	40.03	○
		2	40.04	X
		3	40.12	X
⑧	40±0.3	1(Standard)	40.00	○
		2	40.06	X
		3	40.04	X
⑨	8 ^{+0.05} -0.01	1(Standard)	7.99	○
		2	8.03	○
		3	7.89	X
⑩	1.5 ^{+0.03} -0.01	1(Standard)	1.49	○
		2	1.54	X
		3	1.51	○
⑪	1.5 ^{+0.03} -0.01	1(Standard)	1.50	○
		2	1.50	○
		3	1.52	○
⑫	40±0.3	1(Standard)	40.03	○
		2	40.15	X
		3	39.99	○
⑬	40±0.3	1(Standard)	39.99	○
		2	39.95	○
		3	39.60	X

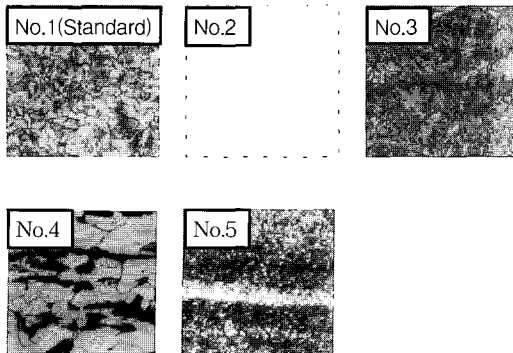


Fig. 3 The optical microscope structure of STB-A1

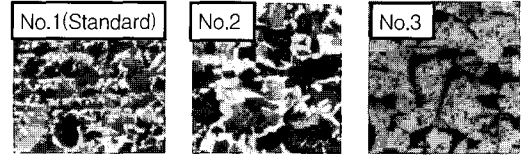


Fig. 4 The optical microscope structure of STB-A2

결정립 크기가 약 2배정도 조대한 것이 관찰되는데 이는 초음파 탐상시 감쇠의 크기가 증가되어 초음파산란을 유발시킬 것으로 판단된다. 결과적으로 모든 시험편의 조직이 상이하므로 초음파 특성이 서로 다를 것이 예측된다.

3.3. 표준시험편의 화학 성분 분석 결과

강재의 화학조성은 일반적으로 강도 및 인성 등 기계적 성질에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 결정의 형상이나 크기 및 열처리 특성에 큰 영향을 미치는 요소이다. KS 규격에서는 균일한 금속조직을 얻고, 양호한 초음파 특성을 피하고자 시험편의 중요 불순물의 최대 허용치를 규정[6]하고 있는데 이룬 Table 3에 나타내었다.

Table 3 The maximum amount of impurities in STB by KS D 3515

Kind	Chemical composition (Max.%)				
	C	Si	Mn	P	S
STB-A1	0.18	0.55	1.5	0.44	0.04
STB-A2	0.18	0.55	1.5	0.04	0.04

Table 4 Chemical composition of STB-A1

No.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
1 (Standard)	0.1492	0.2184	0.7183	0.0110	0.0038	0.0040	0.0220	0.0201
2	0.1884	0.4315	1.3946	0.0104	0.0092	0.0267	0.0235	0.0245
3	0.1488	0.0464	0.7774	0.0105	0.0151	0.0114	0.0249	0.0283
4	0.2075	0.3109	0.7276	0.0010	0.0270	0.3151	7.6979	0.2678
5	0.0577	0.3036	1.9328	0.0230	0.0145	0.2375	9.4122	18.085

Table 5 Chemical composition of STB-A2

No.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
1 (Standard)	0.1579	0.1248	0.8840	0.0087	0.0037	0.0175	0.0243	0.0245
2	0.4284	0.2484	0.7316	0.0111	0.0040	0.0108	0.0252	0.0267
3	0.1925	0.0609	1.5008	0.0183	0.0214	0.2214	0.5344	0.0224

Table 4와 Table 5에 각각 STB-A1과 STB-A2의 화학 조성 측정결과를 나타내었다. 탄소를 제외한 잔류 불순물 들은 모두 규정 허용 값 내에 있으나 탄소함량을 비교할 때 각 시험편마다 그 함량의 편차가 큰것을 확인하였다. 그리고 비규격품인 경우에는 STB-A1과 STB-A2의 경우 모두에서 강의 재질에 가장 큰 악영향을 미치는 황과 인의 함량이 미량 함유된 것으로 미루어 비교적 청정한 재질을 사용한 것을 알 수가 있었다. 따라서 비규격품인 경우 일반적으로 규정내의 불순물을 함유하고 있고 양호한 조성을 보이지만 탄소함량인 경우 강의 조성 및 조직 등을 고려하지 않고 재질을 선택하여 시험편을 제작한 것으로 판단된다. STB-A1시험편의 No. 3인 경우에는 니켈강의 조성 그리고 No. 4인 경우 전형적인 STS 304의 조성을 보이는 등 규정에서 벗어나는 것을 확인하였다.

3.4. 초음파 특성 평가

STB-A1과 STB-A2의 초음파 전달 속도를 측정된 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 보통 강 내의 종파의 전달속도가 약 5,920m/s인 점[7]을 고려하면 다소 빠른 초음파 속도를 나타내고 있는데 이는 Fig. 3의 (e)에서 볼 수 있듯이 미흡한 열처리로 기인된 오차라고 판단된다. 따라서 일반 용접 구조형 강의 결함을 측정할 경우 스테인레스 강 재질인 STB-A1은 절대 사용 부적절함을 확인하였다. 또 STB-A2일 경우에 비규격품들의 결정립 크기는 국제 규격품의 것보다 조대하고 조직의 결정립이 커질수록 초음파의 전달속도가 다소 늦어지는데 이는 평균 결정립의 크기가 증가할수록 감쇠의 크기가 증가하고 초음파의 전달속도가 낮아진다는 보고와 일치하였다[8].

각각의 표준시험편에서 경사각 탐촉자에서 초음파 빔의 중심이 탐상면에 입사하는 입사점(probe index)을 측정하여 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. R100곡면의 길이가 100mm인 점을 미루어보면 비규격품에서는 정상값에서 약간 벗어남이 확인하였다. 이는 시험편의 제작 중 R100면 즉, 곡면의 가공처리가 비규격품 경우에 다소 미흡함을 의미하여 앞에서 언급된 조직 및 조성의 오차에서 기인되는 것으로 판단된다. Fig. 7에는 초음파 빔이 탐상면에 경사 입사해서 생기는 굴절과 입사점에서 탐상면에서의 법선과 이루는 각도인 45도 및 70도에서 굴절각을 비교 측정된 결과를 나타내었다. 굴절각이 45도인 경우 스테인레스강재질인 No. 5를 제외하고는 비교적 기준 값 117.5mm에 접근하여 양호한 값을 보이고 이외의 70도인 경우 기준값이 105mm인 점을 고려하면 국제

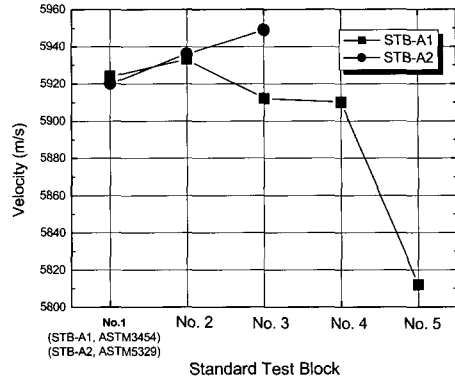


Fig. 5 The values of ultrasonic wave velocity measurement in various STB3

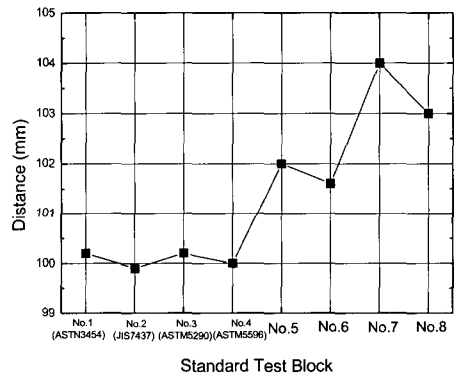


Fig. 6 The values of probe index in various STB-A1

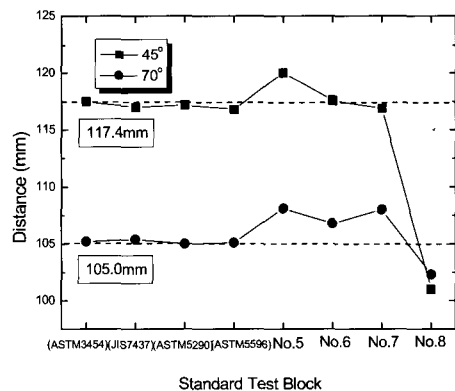


Fig. 7 The values of angle of refraction in various STB-A1

규격품 이외의 비규격품들은 기준값에서 벗어나는 정도가 큰 것이 관찰된다. 따라서 비규격품 중에서 No. 5인 경우에는 굴절각 눈금이 전체적으로 미소하게 규정의 위치에서 벗어남을 관찰할 수 있었다. 45도의 측정값은 기준값에 가까우나 70도에서는 기준값에 많이 벗어나는 No. 7인 경우에는 눈금 매김이 불량으로 판단된다. 즉, 전체적으로 비규격품인 경우 굴절각 측정의 오차 가능성을 확인하였다.

4. 결 론

초음파탐상시 탐상기의 측정범위의 조정, 분해능의 검사 및 탐상기의 감도조정의 보정에 사용되는 표준시험편(STB-A1, STB-A2)중 그 품질이나 성능 등이 인증 받지 않고 사용되고 있는 바 이들 비규격품에 대하여 품질 및 사용 적합성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비규격품들의 외형의 치수는 STB-A1 및 STB-A2 모두에서 오차한도 범위 내에 있으나 요소 치수에서는 약 42~43%의 치수 불량을 보이고 있다.
2. 비규격품들의 조직관찰 결과 모든 시험편에서 결정의 이방성의 압연조직이 관찰되며 이것은 일부 열처리에 의한 균질화처리가 부적절한 것으로 판단된다.
3. 비규격품의 화학조성분석결과 일반적으로 탄소함량이 오차 한도 내에서 시험편마다 그 편차가 크고 일부 시험편은 과량의 니켈을 함유하거나 스테인레스강의 조성을 보이는 등 규격 외의 조성을 사용하고 있었다.
4. 시험편내의 초음파속도 측정결과 모든 비규격품에서 초음파전달 속도가 약간씩 다르고 R100곡면의 가공조각이 미흡하고 굴절각 측정용 눈금 매김에 오차가 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 송성진, "형상인식기법을 이용한 비파괴적 결함 종류 판별", 비파괴검사학회지, 제19권 제5호, pp. 378~391, (1999)
- [2] 이원, 임창현, "초음파 탐상 시험", pp. 37~55, 기전연구소, 서울, (1985)
- [3] 홍순택, 권숙인, 주용용. "초음파 법에 의한 저탄소강의 페라이트 결정립 크기 측정", 열처리공학학회지, 제12권 제2호, pp. 157~165, (1999)
- [4] KS B 0829. KS B 0830
- [5] 남궁철, "철강의 현미경사진과 해설", pp. 52~53, 신

암문화사, 서울, (1997)

[6] KS D 3515

[7] 이원, 임창현, "초음파 탐상시험", pp. 1~35, 기전연구소, 서울, (1985)

[8] B. Y. Ahn, S. S. Lee, S. T. Hong, H. C. Kim and S. L. Kang, NDT & E International, V.32, pp. 85~89, (1999)