

SCM440, SCM415강의 표면경화에 따른 초음파의 전파특성

박은수 · 강계명 · 김선진* · 장순식**

서울산업대학교 재료공학과

*한양대학교 재료공학과

**한국원자력안전기술원 연구기획실

Propagation Characteristics of Ultrasonic Wave of Surface Hardened SCM440 and SCM415 Steels

Un Su Park, Kae Myung Kang, Seon Jin Kim and Soon Shik Jang

Dept. of Materials Engineering, Seoul National Polytechnic Univ.

*Dept. of Materials Engineering, Hanyang Univ.

Dept. of Research Planning, KINS

초 록 초음파의 표면파의 전파특성을 이용하여 SCM440강의 고주파열처리의 정도에 따른 표면 경화층의 깊이를 측정, 조사하였으며 침탄처리시킨 SCM415강의 침탄깊이의 측정에도 이들 결과를 적용하여 비교분석하였다. 표면파의 전파속도는 동일조직에서는 주파수에 관계없이 일정하였으나, 경화조직에서 경화되지 않은 조직에 비하여 표면파의 속도는 59m/s 낮았다. 강 유효경화층깊이(d)와 표면파파장(λ_R)의 d/λ_R 의 관계로부터 경화층의 깊이를 비파괴적으로 평가, 측정할 수 있었으며 침탄 경화시킨 경우에서도 동일한 결과를 얻었다.

Abstract By using propagation characteristics of ultrasonic surface wave, the depth of the surface hardened layer of SCM440 steel with different high frequency induction heat treatments was measured and the same was done on the carburized SCM415 steel. The propagation velocity of surface wave was constant and independent of frequency in the specimens with identical microstructure, it was, however, decreased by 59m/s in the hardened layers compared to the unhardened part. From the relationship between the effective case depth and the wave length of surface wave, the depth of the hardened layer could be measured and evaluated nondestructively for both induction hardened and carburized steels.

1. 서 론

강재부품의 내피로성, 내마모성 및 내식성의 향상을 위하여 공업적으로 널리 이용되는 표면경화처리에 따른 표면층의 조직특성과 경화층 깊이에 대한 연구는 이들의 공업적 중요성에 의해 많은 연구가 이루어져 왔으나 비파괴적인 조사방법으로써 표면층성질의 변화에 대하여 초음파를 이용한 연구는 소수의 연구자^{1,2)}들에 의하여 이루어지고 있을 뿐이며, 더우기 경화층 깊이의 평가에 관한 연구는 단편적인 연구^{3,4)}만이 보고되고 있다.

현재 이에 관한 연구로는 Mihara 등⁵⁾의 Rayleigh파 감쇠의 주파수특성에 관한 연구,

Good 등³⁾의 초음파 pulse-echo angulation technique를 이용한 경화층 깊이의 비파괴적 측정에 관한 연구 및 Hirao 등⁶⁾과 Lambert 등⁷⁾은 Rayleigh파 속도의 주파수의존성으로 경화층깊이를 평가한 연구 등이 보고되고 있다. 그러나 이들 연구결과는 정량적평가를 통한 실용화에는 여러가지 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 초음파의 속도와 감쇠특성에 미치는 결정입도와 미세조직의 변화의 영향에 대한 본 연구자들의 앞선 연구결과⁸⁾와 초음파의 표면파를 이용하여 여러 깊이로 표면경화처리시킨 시험편의 경화층에서 전파속도의 변화를 비교, 검토하고, 경화층깊이

에 따른 표면파의 전파특성을 이용한 경화층 깊이의 평가방법을 연구하였다. 이를 위하여 먼저 경도분포에 따른 경화층 깊이를 조사한 후, 탐촉자를 직접 시험편에 접촉시키는 wedge형 표면파탐촉자법(direct contact method)을 이용하여 경화층 깊이를 측정하고 이를 결과를 비교, 분석하였다. 또한 SCM415강을 침탄처리하여 침탄에 대한 표면파의 전파특성과 이를 비교, 검토하여 보았다.

2. 실험 방법

시험편

본 실험에 사용된 시료강은 삼미특수강제품의 시판용 SCM440강과 SCM415강으로 직경 120mm의 환봉을 사용하여 이를 두께 12mm, 폭 50mm, 길이는 SCM440강의 경우 300mm, SCM415강의 경우 100mm로 절단하여 사용하였으며, 이들의 화학적조성은 표 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of SCM 440/415 specimen steels.

Composition Specimen	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P	Fe
SCM 440	0.385	0.232	0.650	0.981	0.160	0.014	0.017	bal.
SCM 415	0.156	0.212	0.704	1.034	0.174	0.014	0.108	bal.

실험에 앞서 시료강은 먼저 진공로를 이용, 870°C에서 2시간 유지후 공냉하여 균질화처리하였고, 이들 시료강의 표면을 기계연마한 후 고주파열처리 및 표면침탄으로 표면경화처리하여 본 실험의 시험편으로 준비하였다. 고주파를 이용한 표면경화처리는 SCM440강을 코일이동식 Radyne형 고주파유도장치에서 행하였다. 이의 실험조건을 표 2에 나타내었듯이 180W의 유효전력에서 30KHz의 주파수를 이용하여 시험편의 표면온도를 850°C로 가열

한 후 30°C의 절삭유를 30 ℓ/min.의 속도로 분사하여 유냉하였다. 표면경화층 깊이는 유도코일의 상승속도로서 조절하였다. 즉 상승속도를 16.5, 16.0, 15.5, 14.2mm/s로 하여 각각 다른 경화층 깊이를 가진 시험편을 제작하였다. 또한 이들 경화처리시킨 시험편을 150°C와 650°C에서 100°C간격으로 1시간씩 템퍼링하여 템퍼드마르텐사이트조직에 대한 표면파의 전파특성을 조사하였다.

Table 2. The conditions of induction hardening heat treatment for surface-hardening of SCM 440 specimen steel.

Power source			Type of coil	Heating		Quenching		
Freq.	Volt	Cur.		Temp.	Hold time	Coolant	temp.	Flow rate
30KHz	9kV	20A	H-19	850°C	0.6s	S-100	30°C	30 ℓ/min

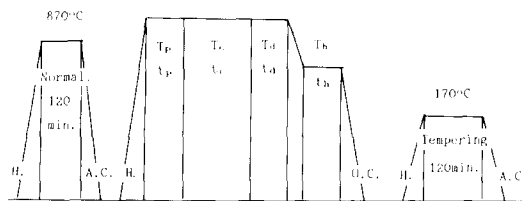


Fig. 1. Schematic diagram of carburization heating cycles for surface-hardening of SCM 415 specimen steel. (Tp, tp; preheating, & Tc, tc; carburization, & Td, td; diffusion, & Th, th; homogenization temperature and holding time respectively.)

한편 그림 1은 가스침탄과정을 나타낸 것으로서, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 가스 침탄은 CO₂ 가스농도를 0.06vol.%로, 노점은 -10°C로 정하여 침탄온도와 침탄시간을 변화시켜 각각 다른 침탄 깊이를 가진 시험편을 얻었다. 침탄실험에는 SCM415강을 시료강으로 사용하였으며, 이의 침탄조건은 표 3에 나타내었다.

미세조직 및 경화층 깊이의 측정

표면경화 및 템퍼링한 각 시험편의 조직은

Table 3. The conditions of carburization heating cycles at Fig. 1.

Condition Specimen number	Preheating		Carburization			Diffusion			Homogenization			Case depth	
	T_p (°C)	t_p (min)	T_c (°C)	t_c (min)	CO ₂ (V%)	T_d (°C)	t_d (min)	CO ₂ (V%)	T_h (°C)	t_h (min)	CO ₂ (V%)	Effect (mm)	All (mm)
1	900	20	900	60	0.12	•	•	•	840	20	0.51	0.3	0.5
2	925	20	925	150	0.06	925	50	0.14	840	20	0.55	0.6	1.0
3	930	30	930	270	0.05	930	120	0.16	830	40	0.44	0.9	1.5
4	930	30	930	630	0.06	930	210	0.18	850	30	0.43	1.4	2.2
5	930	30	930	880	0.06	930	320	0.18	850	30	0.43	1.7	2.7
6	930	30	930	1260	0.06	930	420	0.18	850	30	0.43	2.0	3.2

광학현미경과 SEM을 사용하여 관찰하였고, 표면경화층의 깊이는 표면으로부터 내부로 미소경도를 측정하여 조사하였다. 이때 경도가 400 Hv가 되는 곳까지를 KS D-0027¹⁾에 의하여 유효경화층깊이로 정의하였고, 기지층의 경도와 같아지는 곳까지를 전경화층깊이로 정의하였으며, 미소경도는 microvickers 경도계를 사용하여 500g의 하중으로 측정하였다.

표면파 전파속도의 측정

그림 2는 직접접촉법인 wedge형 표면파탐촉자법의 개략도로서 그림에서 볼 수 있듯이 표면파의 전파속도의 측정은 발신탄촉자의 입사점과 수신탐촉자의 입사점간의 거리를 27.0mm로 유지시킨 탐촉자간의 거리를 표면파

가 전파하는데 소요되는 경과시간, Δt 를 측정하여 $V_R=1/\Delta t$ 의 관계식으로부터 표면파의 전파속도, V_R 을 구하였다. 측정에 앞서 wedge형 탐촉자를 시험편에 밀착시키기 위하여 접촉면에 접촉매질로 꿀을 사용하였고 2kg/cm²의 압력을 가하였다.

본 실험에 사용한 초음파실험장치로는 Krautkrämer-Bramson사의 펄스반사식장치를 사용하였고, 탐촉자는 직경이 6mm이고, 1, 2.5, 5 및 10MHz의 중심주파수를 가지는 Krautkrämer사 angle beam direct contact probe를 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

표면경화층에서의 초음파의 속도

SCM440상의 표면으로부터 재료내부로의 미소경도분포를 측정하여 그림 3에 나타내었다. 그림에서 400Hv를 갖는 유효경화층깊이는 고주파유도코일의 상승속도에 따라 0.4mm, 0.7mm, 1.1mm와 1.4mm로 측정되었고, 전경화층깊이는 0.6mm, 1.0mm, 1.5mm와 1.8mm로 각각 조사되었다.

여기 주파수에서 유효경화층깊이 변화에 따른 표면파속도의 변화를 그림 4에 나타내었다. 표면경화처리 하지 않은 시험편에서의 표면파의 전파속도는 주파수변화와는 무관하게 3033m/s의 일정한 속도를 보였으나, 경화층내에서의 표면파의 속도는 유효경화층의 깊이가 0.4mm인 경우 주파수에 따라 3015m/s에서 2978m/s까지 감소하는 것으로 각각 측정되었다. 10MHz의 주파수에서는 유효경화층이 0.4mm이상인 경우 경화층의 깊이에 무관하게 2974m/s의 거의 동일한 속도로서 경화처리 않은 시험편에 비하여 59m/s의 속도차를 보

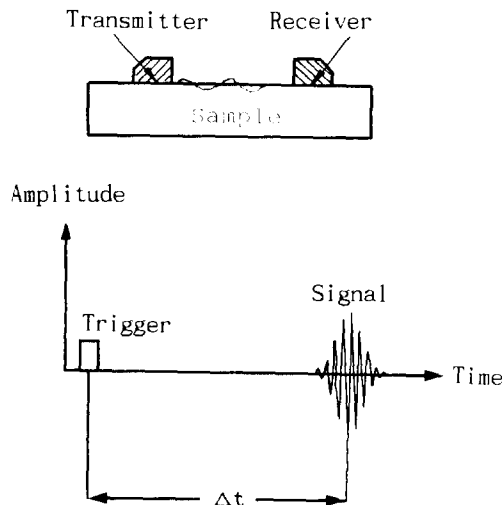


Fig. 2. Sketch of the transmitter-receiver-technique for measuring ultrasonic time-of-flight.

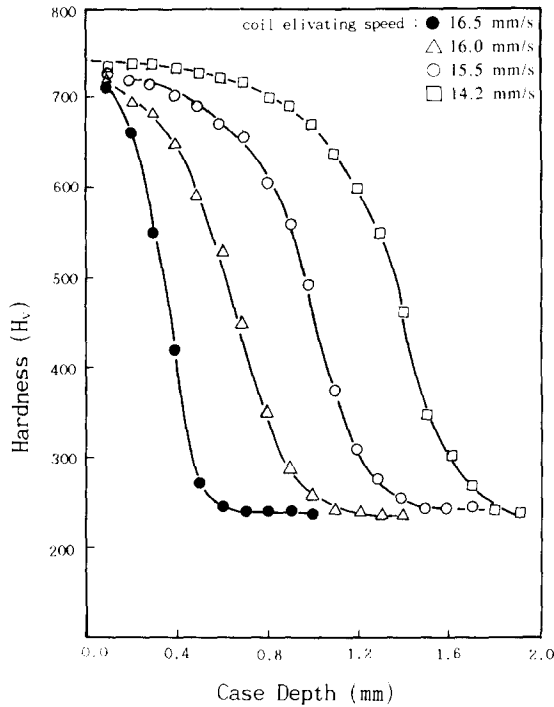


Fig. 3. Hardness distribution in the case hardened zone of induction hardened SCM 440 steel.

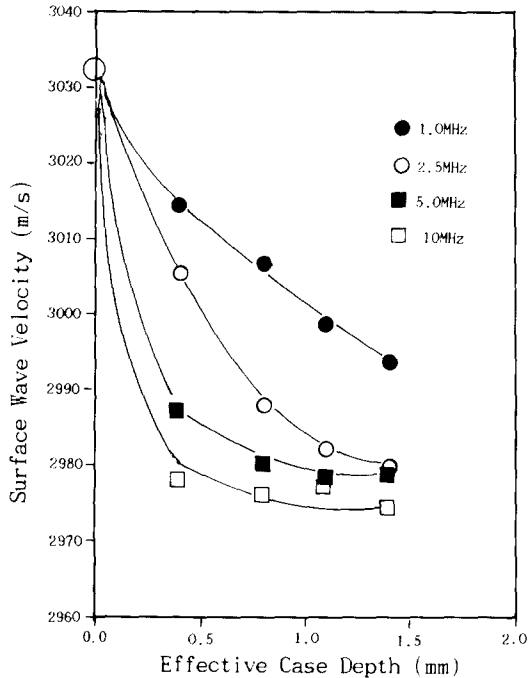


Fig. 4. Relationship between effective case depth and surface wave velocity in the induction hardened SCM 440 steel.

있다. 주파수가 5.0MHz의 경우 유효경화층이 0.4mm인 경우에는 2988m/s로 10MHz의 경우와 비교하여 속도의 증가가 나타났지만, 0.7mm이상의 유효경화층 깊이를 갖는 시험편에서부터는 2980m/s의 일정한 속도로서, 10MHz의 경우와 근사한 값이었고, 2.5MHz의 경우 1.4mm의 유효경화층 깊이를 갖는 시험편에서는 10MHz의 경우보다 다소 증가한 2978m/s의 값을 가졌으나 1.1mm이하에서는 속도의 증가가 뚜렷하였다. 더욱이 가장 큰 파장(3.0mm)을 갖는 1.0MHz의 경우 0.4mm의 유효경화층을 갖는 시험편에서 표면파의 전파속도는 3015m/s이었고, 1.4mm에서는 2994m/s로서 10MHz에 비하여 유효경화층 증가에 따른 표면파의 전파속도감소현상이 전경화층에 걸쳐 크게 일어났다. 즉 표면파의 속도는 경화층 깊이보다 짧은 파장을 갖는 주파수에서는 속도의 변화가 없이 2980m/s의 근사값을 보였다. 즉 동일조직내에서 초음파의 속도는 일정한 값을 가졌고, 조직의 변화에 따라 속도의 변화가 일어나는 것을 알 수 있다.

표면경화처리시킨 시험편의 조직과 템퍼링온도에 따른 조직을 SEM으로 관찰하여 그림 5에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 현저한 미세조직의 차이가 있는 것으로 보아 경화층내에 전파되는 표면파의 경우 경화층의 깊이와 표면파의 주파수에 따른 속도의 변화는 조직의 특성에 기인한 현상으로 생각된다. 이를 현상은 앞서 보고한 초음파감쇠에 관한 연구결과에서도 언급한 바와 같이¹⁾, 미세조직과 초음파 전파특성과의 관계는 더 연구가 되어져야 한다.

경화층깊이에 대한 표면파의 속도

여기 유효경화층 깊이에서 주파수와 표면파속도의 변화량과의 관계를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 표면파속도의 변화량 ΔV_R 은 주파수의 증가에 따라 증가하였으며, 경화층깊이의 변화에 따라 이들 증가량은 각기 달리 나타났다. 유효경화층깊이 0.4mm의 경우 18m/s에서 55m/s로, 유효경화층깊이 1.4mm의 경우 39m/s에서 59m/s로 증가하였으며, 이는 기존의 연구결과¹⁾와 일치하는 결과였다.

이러한 결과로부터 주파수와 ΔV_R 와의 관계, 다시 말하면 표면파의 파장, λ_R 와 표면파속도의 변화량, ΔV_R 와의 관계에서 경화층의 깊이를 알 수 있다. 즉 주파수의 증가에 따라 ΔV_R 의 변화율이

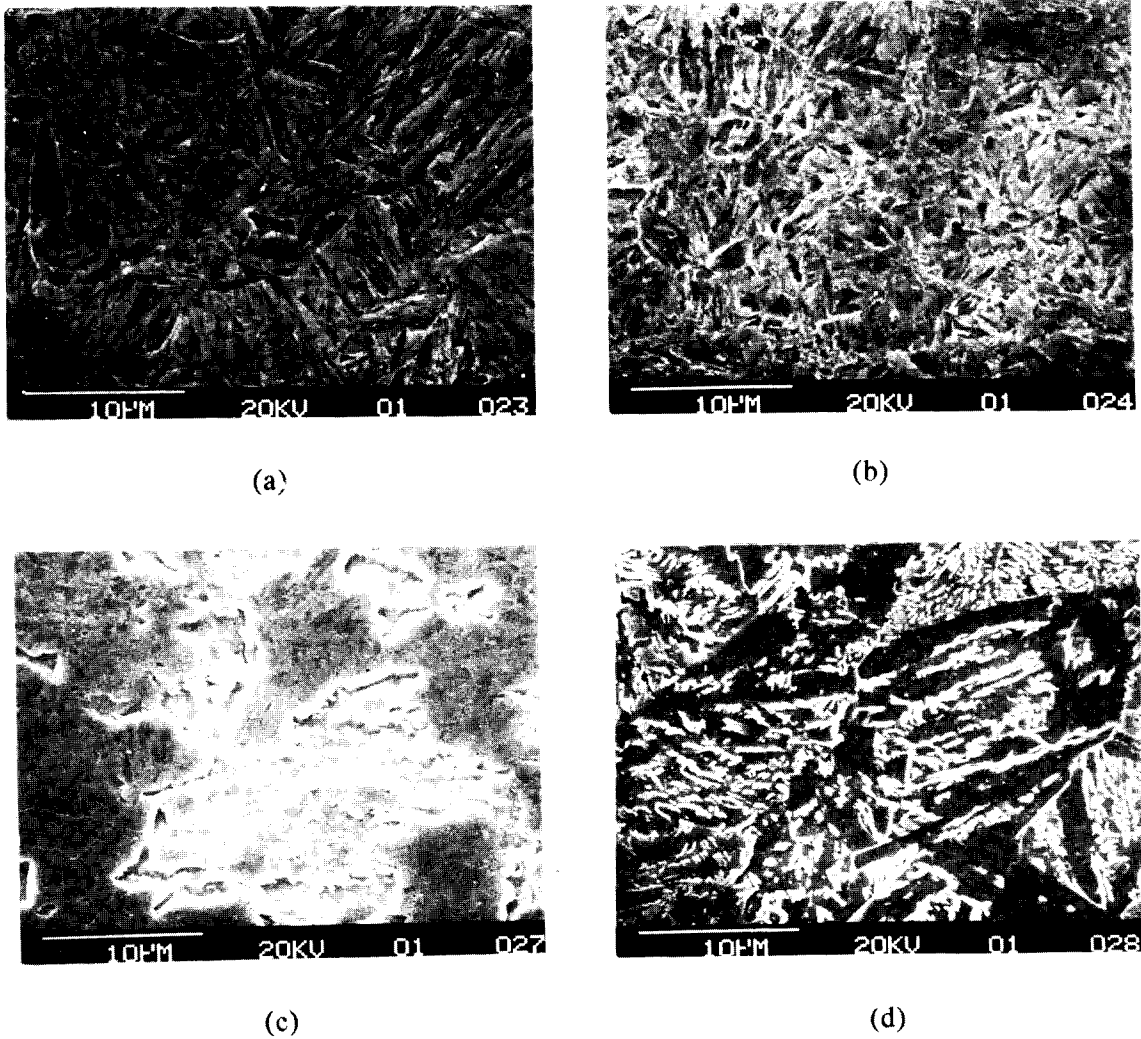


Fig. 5. SEM micrographs of the surface hardened and tempered specimens at various tempering temperatures (a) as hardened, (b) 150°C (c), 350°C, (d) 550°C tempering temperature.

감소하기 시작하는 점의 주파수에 해당하는 파장이 전경화층의 깊이가 되고, 변화율이 0에 근접하는 점의 주파수에 해당하는 파장이 유효경화층의 깊이이다.

이들 유효경화층깊이와 파장과의 비, d/λ_R 를 표면파속도의 변화량과의 관계로 고찰하여 그림 7에 나타내었다. 본 실험의 경우 전주파수범위에 걸쳐 하나의 곡선으로 나타났는데 그림에서 볼 수 있듯이 d/λ_R 가 증가하여 1에 접근할 때는 ΔV_R 의 변화율은 0에 접근하였으며, 그림 6의 각 곡선의 변화율이 0에 접근한 값을 가지는 것과 직접적인 관계가 있음을 명확하게 알 수 있다.

또한 $d/\lambda_R > 1$ 의 경우 표면파는 경화조직 내에서만 전파되고, $d/\lambda_R < 1$ 에서는 경화조직과 경화되지 않은 조직을 함께 지나 전파되는 것을 알 수 있다.

표 4에 템퍼링온도에 따른 표면파속도의 변화를 나타내었다. 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 템퍼링온도에 따른 표면파속도의 변화는 $d/\lambda_R > 1$ 의 조건에서도 템퍼링온도의 증가에 따라 증가하는 현상으로 나타나는 것을 볼 때 경화층에 대한 초기의 조음파속도를 조사하고, 템퍼링에 따른 조음파의 속도의 변화를 조사함으로써 강의 급냉-템퍼링처리에 따른 연이력의 명확한 상태를 평가

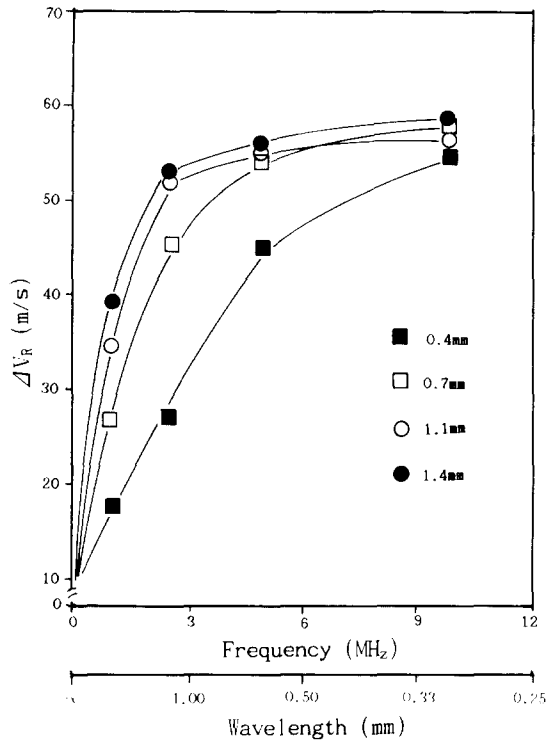


Fig. 6. Relationship between frequencies and the change of surface wave velocity at various effective case depth in the induction hardened SCM 440 steel.

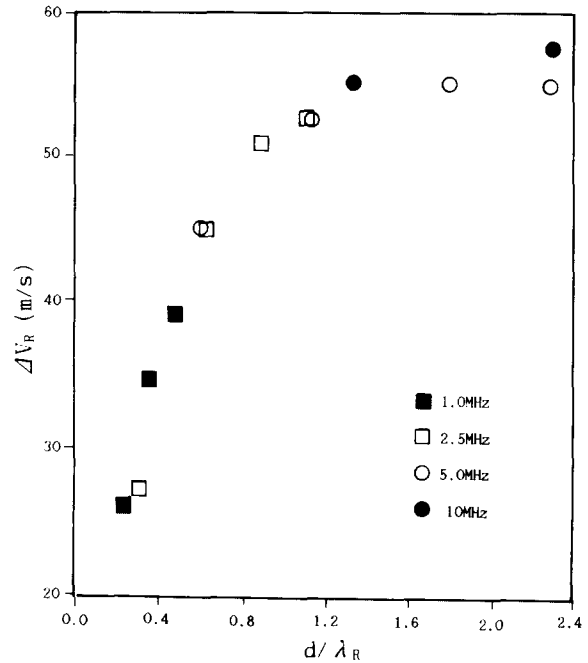


Fig. 7. Relationship between the change of surface wave velocities and d/λ_R in the induction hardened SCM 440 steel.

Table 4. The measured surface velocity using a 10MHz probe in the induction hardened and tempered SCM 440 steel at various tempering temperatures.

Specimen	Normalized V_{R0}	As-quenched V_R	Tempering temperature, °C					
			150	250	350	450	550	650
Induction hardened	3033	2974	2991	3010	3017	3023	3029	3032

할 수 있다고 생각한다.

침탄경화층에서의 표면파의 전파특성

표면파를 이용하여 고주파유도경화한 시험편의 경화층의 깊이를 평가측정할 수 있는 본 실험의 결과인 d/λ_R 의 평가방법을 침탄처리시킨 시험편에 적용하여 구한 연구결과와 비교, 조사하여 보았다. SCM415강을 그림 1과 표 3에 나타낸 것과 같이 침탄시켜 경화층깊이를 조절한 후 각 시험편에 대하여 앞서의 표면파측정법과 같은 방법으로 시험한 침탄경화층과 표면전파속도와의 관계

로부터 구한 결과를 그림 8, 9에 각각 나타내었다. 이들 연구결과를 고주파열처리 후 측정된 그림 6 및 7과 비교, 검토하여 보면 서로 동일한 경향을 가짐을 알 수 있다. 이로부터 침탄처리된 표면을 경화처리한 경우에서도 초음파의 표면파 전파특성, 즉 d/λ_R 를 적용함으로써 표면경화층의 깊이를 평가할 수 있음을 알 수 있게 한다.

이상의 실험결과로부터 조직의 변화를 수반하는 표면경화처리에 따른 경화층은 초음파의 전파특성을 이용하여 표면경화층의 거동 즉 열이력파 깊이 등을 평가할 수 있을 것으로 생각된다.

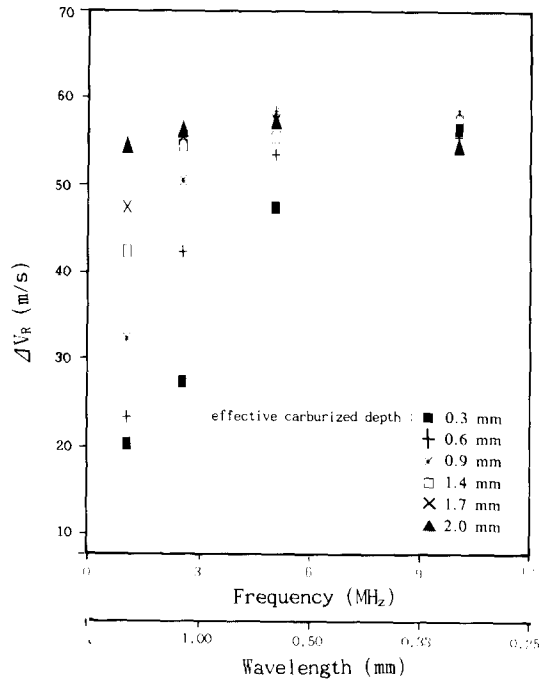


Fig. 8. Relationship between frequencies and the change of surface wave velocity in the carburized SCM 415 steel.

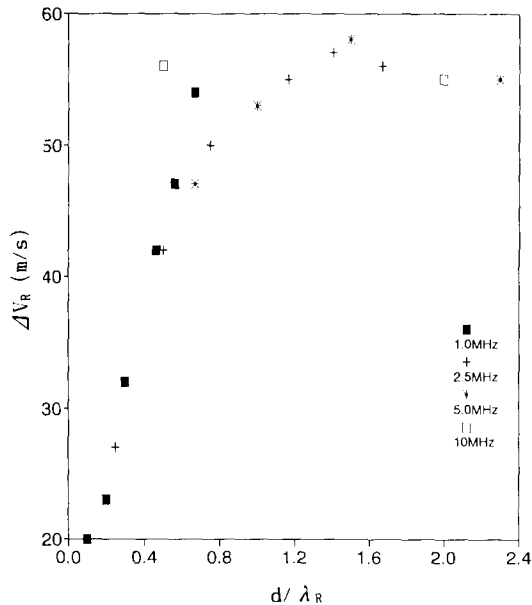


Fig. 9. Relationship between the change of surface wave velocity and d/λ_R in carburized SCM 415 Steel.

4. 결 론

표면경화층깊이의 변화에 따른 표면파의 전파특성을 이용하여 SCM440강과 SCM415강의 경화층깊이의 평가에 관한 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 균질화처리된 SCM440강에서 표면파의 속도는 주파수에 관계없이 일정한 3033m/s이었고, 표면경화조직에서 표면파의 속도는 경화되지 않은 기지조직의 속도보다 59m/s 낮았다.

2. 유효경화층의 깊이, d 와 표면파파장, λ_R 의 관계에서 d/λ_R 의 비가 1보다 큰 값에서는 표면파는 경화조직내에서만 전파되고, 1보다 작은 경우에는 경화조직과 경화되지 않은 조직을 함께 지나 전파되며, 이 값의 감소에 따라 속도는 경화하지 않은 조직의 속도로까지 증가하였다.

3. 2.의 결과로부터 d/λ_R 가 1이 되는 조건에서 경화층깊이는 평가할 수 있으며, 강의 침탄경화층에서도 고주파유도경화층과 동일한 결과를 보였다.

4. 경화조직의 템퍼링에 따른 속도변화는 $d/\lambda_R > 1$ 의 조건에서도 템퍼링온도의 증가와 함께 속도는 증가하였으며, 이것으로 강의 표면경화층의 열이력을 평가할 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. C.H. Stephan and H.L. Chesney ; Materials Evaluation, Vol **42**, (1984), 1612
2. S.D. Kwon and H.C. Kim ; J. Appl. Phys., Vol. **62**, (1987), 2660
3. M.S. Good and J.L. Rose ; Nondestructive Characterization of Materials II, J.F. Bussiere(Ed.), Plenum Press, N.Y., (1986), 189
4. M. Hirao, N. Tanimoto and H. Fukuoka ; Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, D.O. Thompson and D.E. Chimenti(Eds.), Plenum Press, N. Y., Vol. **9**, (1990), 1603
5. T. Mihara, M. Obata and M. Yamashida ; J. of JSNDI, Vol **38**, (1989), 898
6. M. Hirao, H. Fukuoka, H. Toda, Y. Sotani

- and S. Suzuki ; J. of Mechanical Working Technology, Vol. **8**, (1983), 171
7. J. Rivenez, A. Lambert and C. Flambard : NDT Characterization of Materials II, J.F. Bussiere (Ed.), Plenum Press, N.Y., (1986), 373
8. U.S. Park, K.M. Kang, S.J. Kim and S.S. ceramics. Jang ; "Ultrasonic Attenuation due to the changes of Grain Size and Microstructure of SCM440 Steel" Submitted to Korean Journal of Materials Research, (1993)
9. KS-D-0027, Methods of Measuring Case Depth of Steel Hardened by Flame or Induction Hardening Process, (1982), 1