

표층도파관 내에서의 새로운 Cut-off 주파수 계수결정
 Determination of a New Cut-off Frequency Coefficient
 for Sound Propagation in the Surface Duct

* 金 成 卓 (Kim Sung Boo)

要 約

16년간(1961~1976) 한국 동해안의 水面音速 資料를 利用하여 表層導波管(surface duct)에 대한 cut-off frequency 係數를 새로이 산출하였다. 표층도파관 내에서의 音速은 깊이에만 의존하며, 溫度 및 鹽分度에 의한 변화는 무시되는 이상적인 溫度混合層(we-ll mixed layer depth)을 가정하였다. 한편 깊이에 의한 음속기울기는 V.A. Del Grosso 의 NRL II equation 을 簡略化한, H. Medwin 의 式을 사용하였으며, 그 값은 0.016 (sec)^{-1} 이다.

이때 산출된 동해안의 cut-off frequency 係數는 여름철의 $4.48 \times 10^{-3} \text{ (ft)}^{-1/2}$ 에서 겨울철의 $4.56 \times 10^{-3} \text{ (ft)}^{-1/2}$ 사이에 分布되어 있고, 이들의 평균치는 $4.5 \times 10^{-3} \text{ (ft)}^{-1/2}$ 이며, 표준편차는 $2.2 \times 10^{-5} \text{ (ft)}^{-1/2}$ 이다.

이 평균값은 R.J. Urick이 1967년 산출한 $4.7 \times 10^{-3} \text{ (ft)}^{-1/2}$ 에 비하여 약 4%의 cut-off frequency 增加를 招來하게 된다.

ABSTRACT

In the mixed layer when the frequency approaches the cut-off frequency for the first mode of normal-mode theory, sound ceases to be trapped.

*正會員 전해기계창 선임연구원

Based on the data of surface sound velocities obtained during the period of 16 years in the Sea of Japan, A new cut-off frequency coefficient in the surface duct that will determine the maximum wave length for duct transmission of underwater sound has been calculated.

It has been found that the new coefficients are distributed between $4.48 \times 10^{-3} \text{ (ft)}^{-1/2}$ and $4.56 \times 10^{-3} \text{ (ft)}^{-1/2}$ throughout the year and their average value is $4.5 \times 10^{-3} \text{ (ft)}^{-3/2}$ with standard deviation of $2.2 \times 10^{-5} \text{ (ft)}^{-1/2}$

As compared with the average value $4.7 \times 10^{-3} \text{ (ft)}^{-1/2}$, that is calculated by R.J. URICK, the new cut-off frequencies in the surface duct will increase about 4% of those calculated by URICK.

1. 緒 論

表層에서부터 최고 음속을 갖는 깊이까지의 층인 sonic layer는 이層 內에서의 音波傳達이 導波管에서의 特性을 나타내므로 表層導波管(surface duct)이라 불리워 진다. 이와 같은 표층도파관 내에서의 音波는 上層과 下層의 boundary condition에 의하여 ei-

genfunction으로表示되어지며, 導波管 內에서 進行되기 위한 최소주파수인 cut-off frequency를 갖는다.⁽¹⁾

이러한 표층도파관의 形成을 위해서는 音速이 깊이에 따라 增加하여야 하는데, 실제로 海洋에서 이와같은 條件을 만족시키는 것은 대개 다음과 같은 두가지 경우일 때이다.

첫째, 바람등의 영향으로 溫度와 鹽分도가 一定 깊이까지 잘 混合되어 密度가 일정하게 되며, 깊이에 의한 音速增加만 이루어지는 理想的인 온도혼합층(well mixed layer depth)과

둘째, 온도의 미소한 減少(표면음속에 따라 다르지만 普遍的으로 13°C일때 -0.17°C/30 m까지 가능한 것으로 알려져 있다)에 의한 음속을 깊이 및 鹽分도의 增加가 補償, 音速增加가 이루어지는 경우이다.

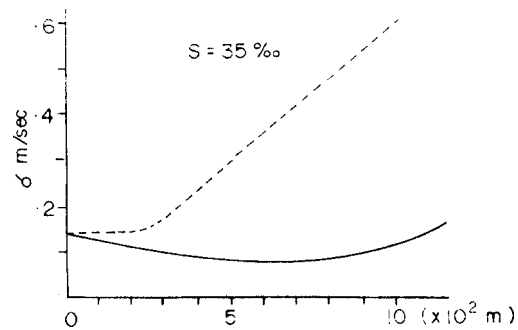
1960年 W.D. Wilson⁽²⁾이 바닷물 속에서의 音速을 溫度, 鹽分도 그리고 깊이의 函數로 測定, 發表한 후 1962年 L.E. Kinsler와 A.R. Frey⁽³⁾가 이식을 簡略히 한 식을 발표하였으며, 깊이에 의한 음속기울기를 0.017 (sec)⁻¹로 산출하였다. 그 후 1967年, R. J. Urick⁽⁴⁾은 바다표면을 자유표면(free surface)⁽⁵⁾으로 假定하고 표층도파관 내에서의 온도 및 염분도가 잘 혼합된 이상적인 溫度混合層으로 둘 때, Characteristic equation⁽⁶⁾에 의한 cut-off frequency의 波長入 cut-off을 導波管 깊이 Z_c 의 函數로서 表示하였으며, cut-off frequency coefficient를 $4.7 \times 10^{-3} (\text{ft})^{-1/2}$ 또는 $8.5 \times 10^{-3} (\text{m})^{-1/2}$ 으로 算出하였다. 그러나 1974年 NRL (Naval Research Laboratory)의 V. A. Del Grosso⁽⁸⁾가 Wilson式에 비해 표준편차가 훨씬 적은 (Wilson: 0.30 m/sec, NRL II: 0.05 m/sec) NRL II Equation을 측정 發表한 후, 1975年 NRL의 H. Medwin⁽⁷⁾은 바다 표면으로부터 1 km 이내

의 깊이까지 거의 一致하는 NRL II Equation의 簡略化된 式을 발표하고, 깊이에 의한 음속기울기를 0.016 (sec)⁻¹로 表示하였다.

(그림-1)에 NRL II Equation과 簡略化된 두式 사이의 깊이에 대한 rms Discrepancy⁽⁶⁾를 圖示하였다. 이때 鹽分도는 35‰로 固定시켰으며,

$$\sigma_M = [\langle C(\text{NRL II}) - C(\text{Medwin}) \rangle^2]^{1/2}$$

$$\sigma_{K.F} = [\langle C(\text{NRL II}) - C(\text{Kinsler, Frey}) \rangle^2]^{1/2}$$



(그림-1) 두 簡略化된 式의 NRL II式과의 비교

- : σ_M , ... : $\sigma_{Kinsler \& Frey}$

위 그림에서 Medwin이 簡略化한 式은 깊이에 의한 rms Discrepancy가 1 km까지는 거의 없는 반면, Kinsler와 Frey의 式은 깊이에 따라 100 m당 약 0.07 m/sec 정도로 增加하고 있다. 따라서 깊이에 의한 音速기울기는 0.016 (sec)⁻¹로 表示하는 것이 適當하며, R. J. Urick이 산출한 cut-off frequency 係數의 修正이 불가피하게 되었다.

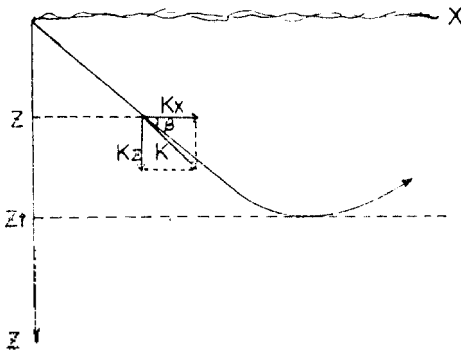
본 論文에서는 Urick이 산출한 條件과 같은 理想的인 溫度混合層으로 두고 동해안의 16년간 音速資料를 이용하여 表層導波管 내에서의 cut-off frequency coefficient를 새로이 算出하고자 한다.

2. 特性方程式 (Characteristic Equation)

理想的인 表層導波管 內에서의 音速은 깊이에 따라 線形的으로 증가하므로 임의의 깊이에서 音速 C 는 다음과 같이 表示되어진다.

$$C = C_0 + bz \quad (2-1)$$

여기서 C_0 는 音源에서의 音速, b 는 音速 기울기이다. 이러한 導波管은 密度가 一定한 Stratified Acoustic Waveguide 로 表示되어질 수 있으며⁽⁸⁾, 音波의 進行은 (그림-2)와 같이 turning point Z_t 에서 水平으로 되어 하층 境界面을, 그리고 空氣와 接觸있는 水表面에서 上층 境界面을 이루고 이들 境界面에서 屈折 및 全反射를 일으키게 된다. 이때의 位相差는 각각 $\pi/2$ 와 π 이다.^(5,9)



(그림-2) 표층導波管 內에서 進行하는 單一 Mode 의 音波

(그림-2)에서 $K(z)$ 는 音波의 Z 점에서의 傳播常數이고 β 는 傳播常數 $K(z)$ 가 水平面과 이루는 角이다. 그리고 K_x 는 $K(z)$ 의 X 成分, K_z 는 $K(z)$ 의 Z 成分이다.

波動方程式

$$\frac{d^2 \phi}{dz^2} + K_z^2 \phi = 0 \quad (2-2)$$

을 만족시키는 Stratified Waveguide 內에서의 音波 $\phi(z)$ 는 (2-3)式과 같은 平面波로 表示되어질 수 있다.^(5,8)

$$\phi(z) = e^{iK_z z} + R e^{-iK_z z} \quad (2-3)$$

여기서 R 은 境界面에서의 反射係數이며, 全反射를 일으킬 때는 位相差 2θ 의 exponential 函數로 表示되어진다.

$$R = e^{i2\theta} \quad (2-4)$$

이러한 平面波 $\phi(z)$ 는 導波管 內의 境界面 조건^(5,10)을 만족시켜야 하므로 反射係數 R 또는 그의 位相差 2θ 는 다음과 같은 미분방정식을 만족시킨다.

$$\frac{dR}{dz} - \frac{1}{2}(1-R^2) \frac{d}{dz} \ln K_z + 2iK_z R = 0 \quad (2-5)$$

$$\frac{d\theta}{dz} + \frac{1}{2} \left(\frac{d}{dz} \ln K_z \right) \sin 2\theta + K_z = 0 \quad (2-6)$$

실제로 海洋에서 표층도파관 內의 音速은 깊이에 따라 漸次히 變하며, 따라서 傳播常數의 수직成分인 K_z 또한 깊이에 따라 서서히 變化한다. 이를 수식화 하면,

$$\frac{1}{K_z} \frac{d}{dz} \ln k_z \ll 1 \quad (2-7)$$

이때 (2-5), (2-6) 式은 (2-7) 式의 도움으로

$$\frac{dR}{dz} + 2ik_z R \approx 0 \quad (2-8)$$

$$\frac{d\theta}{dz} + K_z \approx 0 \quad (2-9)$$

따라서 (2-7) 式의 條件이 成立될 때 位相差 2θ 는 (2-9) 式에 의하여 아래식과 같은 解를 얻을 수 있다.

$$\theta = - \int_{z_0}^z K_z dz + \theta_{z_0} \quad (2-10)$$

여기서 $2\theta_{z_0}$ 는 z_0 에서의 位相差이다.

한편 Stratified Acoustic Waveguide 內에서 위쪽으로 進行하는 音波는 $\phi \uparrow$, 아래쪽으로 進行하는 音波를 $\phi \downarrow$ 라 두고 그의 位相差를 각각 $2\theta \uparrow$, $2\theta \downarrow$ 라 둘 때, 境界值 조건에 의하여 (2-11) 式이 성립되어야 한다.^(5,11)

$$\theta \uparrow + \theta \downarrow = \pm (m-1) \pi \quad (2-11)$$

여기서 $m = 1, 2, 3$ 인 정수이며, 이 식을 일반적인 Characteristic equation 이라 부른다.

導波管의 上下 境界面에서의 位相變移가 각각 π 와 $\pi/2$ 이므로 (2-10)식을 (2-11)식에 代入하여 정리하면, 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$2 \int_0^{Z_t} \frac{2\pi}{\lambda} N(z) \sin \beta dz - \frac{\pi}{2} - \pi = 2(m-1)\pi \dots\dots\dots (2-12)$$

여기서 λ 는 音源에서의 波長, $N(z)$ 는 屈折率이다. Snell 法則에 의해 (2-12)식의 첫째 항에서

$$N(z) \sin \beta = (N^2(z) - N^2(Z_t))^{1/2} \dots (2-13)$$

으로 變形되며, $N(z)$ 와 $N(Z_t)$ 는 거의 1에 가까우므로 (2-12)식을 깊이 Z_t 를 갖는 표층도파관에서 Cut-off frequency에 해당하는 波長 λ_{max} 의 函數로 표시하면 (2-14)식으로 바꾸어 표시할 수 있다.

$$\lambda_{max} = \frac{8\sqrt{2}}{3} \int_0^{Z_t} (N(z) - N(Z_t))^2 dz \dots (2-14)$$

또한 이 식은 $| \frac{b}{C_0} Z | < 1$ 일때, 최대 파장 λ_{max} 은 다음과 같은 식으로 해를 구할수 있게 된다.

$$\lambda_{max} = \frac{16\sqrt{2}}{9} \sqrt{\frac{b}{C_0}} (Z_t)^{3/2} \dots\dots (2-15)$$

따라서 λ_{max} 은 導波管의 길이, 音源에서의 音速, 그리고 音速기울기의 函數로 표시되며 여기서 $\frac{16\sqrt{2}}{9} \sqrt{\frac{b}{C_0}}$ 를 cut-off frequency Coefficient α 로 정의한다.

$$\alpha = \frac{16\sqrt{2}}{9} \sqrt{\frac{b}{C_0}} \dots\dots\dots (2-16)$$

Urick이 선정한 $4.7 \times 10^{-3} (ft)^{-1/2}$ 은 音速기울기 b 를 $0.017 (sec)^{-1}$ 로 두고 표면 音速 C_0 는 약 $4,900 ft/sec$ 로 두었을 때 산출된 값이다. 그러나 새로이 算出하고자 하는 값은 音速기울기 b 는 $0.016 (sec)^{-1}$ 로 두

며, 표면 音速 C_0 는 실제 東海안의 16년간 표면 音速 資料에 의해 주어질 것이다.

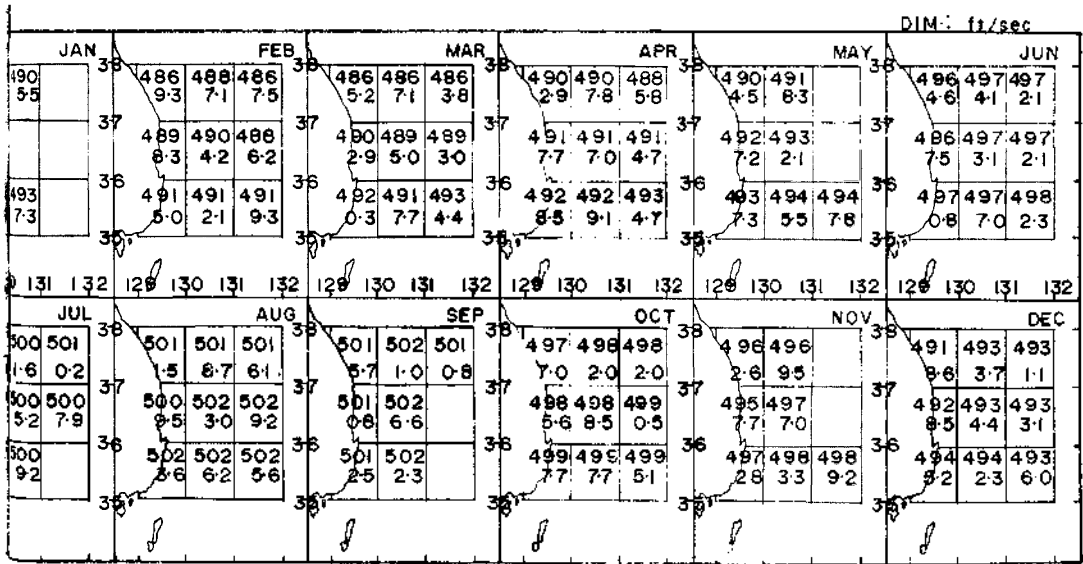
3. 동해안의 cut-off 주파수 係數

理想的인 溫度混合層을 가정할 때 도파관 내의 音速기울기 b 는 $0.016 (sec)^{-1}$ 로 표시可能하므로 音源에서의 音速 C_0 를 代入, cut-off frequency coefficient를 산출할 수 있다. 련의상 音源에서의 音速은 표면 音速으로 固定시켰다. 동해안($35^{\circ} \sim 38^{\circ} N, 129^{\circ} \sim 132^{\circ} E$)의 16년간(1961-1976)의 平均표면 音速 資料는 국립 수산진흥원의 해양조사연보 資料에 의해 추출되어졌으며, 이의 月別 分布를 (그림-3)에 圖示하였다.⁽¹¹⁾ 각 區域은 緯度와 經度別로 나누었으며, 동해안을 9개 구역으로 한정시켰다.

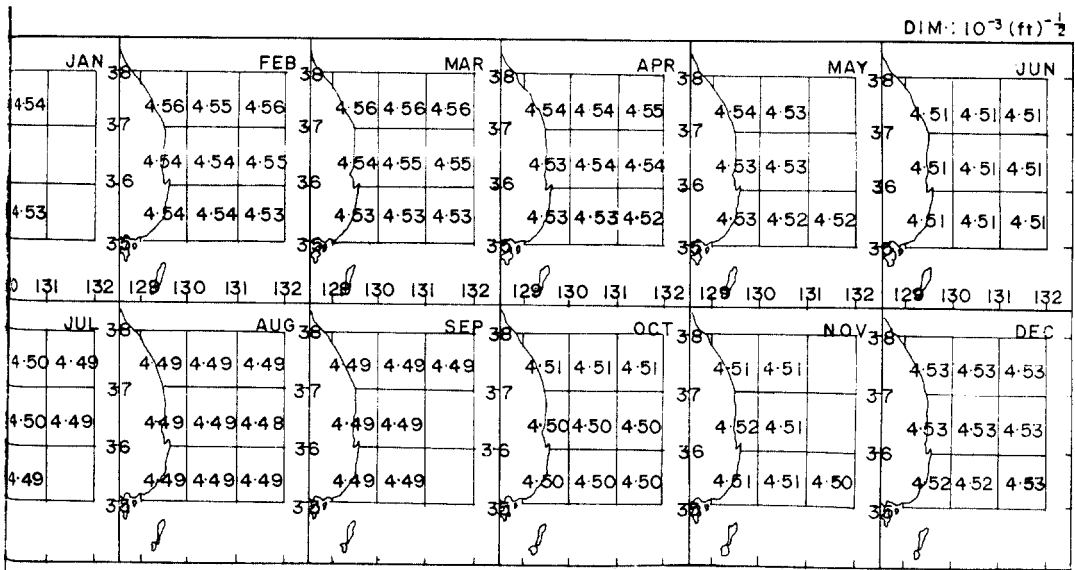
表面 音速 分布는 3月の 最小치 $4863.8 ft/sec$ 로 부터 8月の 最大치 $5029.2 ft/sec$ 사이의 값을 갖는다. 또한 月別, 地域에 대한 分布는 3月の $4863.8 ft/sec$ 에서 $4934.4 ft/sec$ 사이에 分布되어 최대의 지역적 차이를 나타내며, 9月の $5010.8 ft/sec$ 에서 $5026.6 ft/sec$ 는 최소가 된다.

각 月別, 지역별 cut-off frequency 係數를 구하기 위해 앞서 얻은 표면 音速 資料를 (2-16)식에 代入, 이들의 月別 지역별 값을 (그림-4)에 나타내었다.

동해안의 cut-off 주파수 계수 分布는 音速 단위를 ft/sec 로 표시할 때 8月の $4.8 \times 10^{-3} (ft)^{-1/2}$ 에서 3月の $4.56 \times 10^{-3} (ft)^{-1/2}$ 사이의 값을 가지며, 音速 단위를 m/sec 로 할 때는 8月の $8.12 \times 10^{-3} (m)^{-1/2}$ 에서 3月の $8.26 \times 10^{-3} (m)^{-1/2}$ 사이로 分布되어진다. 따라서 동해안의 Cut-off 주파수 係數는 이들의 平均値 $4.5 \times 10^{-3} (ft)^{-1/2}$ 혹은 $8.2 \times 10^{-3} (m)^{-1/2}$ 로 대표되어질 수 있으며 이 때의 Standard deviation은 $2.2 \times 10^{-5} (ft)^{-1/2}$ 이다. 또한 이 값은 R.J. Urick이선



(그림 - 3) 表面 溫度의 月別 分布



(그림 - 4) cut-off 周波數 係數의 月別 分布

정한 값 $4.7 \times 10^{-3} (ft)^{-1/2}$ 或은 $8.5 \times 10^{-3} (m)^{-1/2}$ 보다 약 4%의 더 높은 cut-off frequency를 招來하게 된다.

새로이 산출된 cut-off frequency 係數 4

$5 \times 10^{-3} (ft)^{-1/2}$ 에 의해 각 깊이에 따르는 cut-off frequency를 (표 - 1)에 나타내었다. 이때의 表面音速은 동해안의 1년 평균치인 $4.955 ft/sec$ 로 두었다.

(평균음속 $C = 1,510.3 \text{ m/sec} = 4,955 \text{ ft/sec}$)

깊이 (ft)	cut-off 주파수 (H_z)	깊이 (ft)	cut-off 주파수 (H_z)
10	34,820.2	40	4,352.5
11	30,181.6	41	4,194.3
12	26,488.6	42	4,045.4
13	23,491.8	43	3,905.1
14	21,020.3	44	3,772.7
15	18,953.7	45	3,647.5
16	17,204.9	46	3,529.3
17	15,709.3	47	3,417.3
18	14,418.6	48	3,311.1
19	13,295.4	49	3,210.2
20	12,310.8	50	3,114.4
21	11,442.0	75	1,695.3
22	10,670.8	100	1,101.1
23	9,982.5	125	787.9
24	9,365.1	150	599.4
25	8,808.9	175	475.6
26	8,305.6	200	389.3
26	7,848.5	225	326.3
28	7,431.8	250	278.6
29	7,050.7	275	241.5
30	6,701.1	300	211.9
31	6,379.5	325	187.9
32	6,082.8	350	168.2
33	5,808.4	375	151.6
34	5,554.0	400	137.6
35	5,317.8	425	125.7
36	5,097.7	450	115.3
37	4,892.5	475	106.4
38	4,700.6	500	98.5
39	4,521.0	750	53.6

(표-1) 표층도파관 깊이에 따르는 cut-off 주파수

그러나 실제 表面음속에 대한 Cut-off frequency 변화량 Δf 는 近似的으로 다음과 같다.

$$\Delta f = \frac{27\sqrt{2}}{64} \sqrt{\frac{C_m}{b}} Z^{-3/2} \Delta C \dots (3-1)$$

여기서 $\Delta c = [c \text{ (실제음속)} - C_m \text{ (평균음속: } 4955 \text{ ft/sec)}]$

$$\Delta f = [f \text{ (c 에 의한 cut-off 주파수)} - f_m \text{ (} C_m \text{에 의한 cut-off 주파수)}]$$

또한 평균음속에 의하여 구해진 cut-off 주파수 S_m 과의 比는 아래 식으로 表示된다.

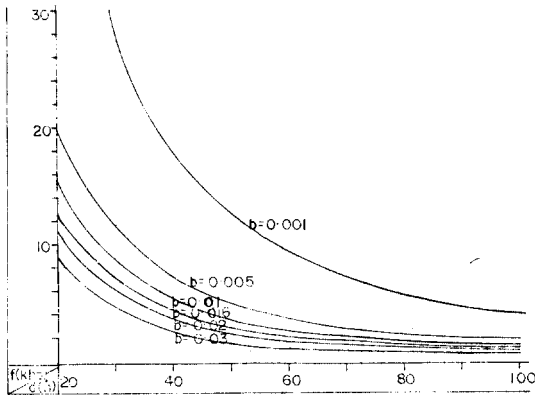
$$\frac{\Delta f}{f_m} = \frac{3}{2} \frac{\Delta C}{C_m} \dots (3-2)$$

이러한 주파수 비는 音速기울기 및 깊이에 無關하며, 平均音速과 음속차 ΔC 에만 관계된다. (그림-3)과 (3-2)식에 의하여 同해안의 경우, f_m 에 비해 餘분의 +2.2%에서 겨울의 -2.7%까지의 주파수 變化量을 갖게됨을 알 수 있으며, 이 값은 이 후 平均음속에 의해 산출되어지는 모든 cut-off frequency에 適用되어질 것이다.

(표-1)에 따르면 10KHZ 이상의 주파수 領域에서는 導波管의 깊이가 약 23ft 만되어도 音波의 통과가 可能하지만, 100 Hz의 경우 약 500 ft 이상에서 導波管 效果가 나타나 음파의 먼거리 傳達이 可能하게 된다. 그러나 실제 海洋에서 겨울철에도 이 정도의 溫度 混合層 두께를 기대하기 困難하므로 低周波 領域에서는 이런 效果를 事實상 기대하기 어렵게 된다.

한편 海洋의 表層導波管은 항상 이상적인 溫度 混合層만으로 이루어진 것이 아니고 微少한 溫度減少에 의한 영향을 깊이 및 鹽分度의 증가가 補償해 줄 때 형성되는 경우도 허다하다. 따라서 이러한 경우에는 음속기울기가 0.016 (sec)^{-1} 일 수만은 없고 임의의 값을 갖게 된다. 이 값이 0.016 (sec)^{-1} 보다 클 때는 cut-off 周波數가 낮아져 導波管의 깊이가 얕아져도 音波의 傳達이 可能하게 되나, 반대의 경우에는 一定 周波數에 대한 導波管의 깊이가 깊어져야만 음파의 傳達이 可能하게 된다. 기울기의 變化에 대한 표층도파관의

깊이와 cut-off 周波數와의 상관관계를 (그림-5)에 圖示하였다. 표면음속은 앞서와 마찬가지로 평균음속이 4955 m/sec 로 固定시켰다.



(그림-5) 기울기의 변화에 따른 表層導波管과 cut-off 周波數와의 相關關係

4. 結 論

이상적인 溫度混合層 內에서 音속기울기를 H. Medwin의 깊이에 의한 音속기울기인 $0.016(\text{sec})^{-1}$ 로 들 수 있다. 또한 음원에서의 音速은 表層音속으로 두었으며, 동해안의 月別 表層音速 分布에 따른 cut-off 주파수 係數를 算出한 결과 이들의 平均値를 $4.5 \times 10^{-3}(\text{ft})^{-1/2}$ 或은 $8.2 \times 10^{-3}(\text{m})^{-1/2}$ 로 決定하였다. 이때의 Standard deviation은 $2.2 \times 10^{-6}(\text{ft})^{-1/2}$ 이다. 또한 이 값은 같은 조건에서 구해진 R. J. Urick의 $4.7 \times 10^{-3}(\text{ft})^{-1/2}$ 에 비해 약 4%의 Cut-off 周波數 增加를 招來한다. 그러나 이 平均값은 표면音속을 平均音速인 4955 ft/sec로 두었을 경우인데 동해안의 실제 表面音속에 대한 周波數 變化量은 여름의 +2.2%에서 겨울의 -2.7% 사이에 있으므로 실제적인 導波管 깊이의 變化量도 平均値에 비해 $\pm 1\text{ft}$ 정도의 可變性을 지나게 된다.

다음으로 非 理想的 溫度混合層의 경우 그

기울기에 따라 상당한 cut-off 周波數의 變化가 發生하지만 導波管 內의 音速기울기를 決定하는 것은 그리 간단한 일이 못된다. 이는 導波管 內의 音速이 깊이에만 의존하는 것이 아니라 溫度 및 鹽分度의 變化에 의해서 더 큰 영향을 받기 때문이다. 따라서 정확한 기울기를 알기 위해서는 깊이에 따른 연속적인 溫度 및 鹽分도 資料를 必要로 하게 된다. 그러나 대부분의 海洋資料, 특히 鹽分度의 資料는 不連續的인 資料이기 때문에 資料의 量과 測定方法에 따라 상당한 차이를 內包하고 있으며 오히려 表層導波管의 存在有無마저 뒤바뀔 경우도 있다. 이를테면 국립 수산진흥원의 16年間 資料에 의한 鹽分度의 傾向과 美 海軍의 海洋資料에 의한 鹽分度의 傾向은 전체적으로 美側 資料에 의한 鹽分度의 結果가 높으며 특히 5월에는 상당히 높게 나타난다. 따라서 表面에서 一定 깊이까지의 鹽分度의 明確한 料明은 표층도파관의 正確한 特性을 이해하는데 중요한 요소일 것으로 판단된다.

감사의 말

이 論文이 完成되기까지 여러 方面으로 助 諒을 아끼지 않으셨던 進해가계창의 여러분들께 感謝의 말씀을 드리고자 합니다.

參考文獻

1. L.M. Brekhovskikh: Waves in Layered media (Academic Press, New York, 1960), p. 334-339.
2. W.D. Wilson, "Equation for the speed of sound in sea Water" J. Acoust. Soc. Am. 32, 1357 (1960)
3. L.E. Kinsler, and A.R. Frey: Fundamentals of Acoustics (Wiley New York 1962), 2nd ed., Eq. 15.1, p. 461.
4. R. J. Urick: Principles of Under-

- water Sound (McGraw-Hill, New York, 1975), 2nd ed., p. 139.
5. I. Tolstoy, and C. S. Clay: Ocean Acoustics (McGraw-Hill, New York 1966), p. 23-36.
 6. V.A. Del Grosso, "New Equation for the speed of sound in Natural Waters (with Comparison to Other Equations)" J. Acoust. Soc. Am. 56, 1084-1091 (1974)
 7. H. Medwin, "Speed of Sound in Water: A Simple Equation for Realistic Parameters." J. Acoust. Soc. Am. 58, 1318-1319 (1975)
 8. I. Tolstoy: Wave Propagation (McGraw-Hill, New York, 1973), p. 86-106.
 9. C.S. Clay, and H. Medwin: Acoustical Oceanography (Wiley, New York, 1977), p. 300.
 10. C.B. officer: Introduction to the theory of Sound Transmission (McGraw-Hill, New York 1958), p. 74-82.
 11. 국립수산진흥원: 해양조사연보(국립수산진흥원, 부산) 1961-1976年.