

海中 TNT爆發音에 있어서 爆藥重量에 따른 爆發音의 騷音準位와 자주복 (*Takifugu rubripes*) 치어의 반응

安長榮*, 盧 遲**

Relation between Explosion Sound Level and the Amount of the TNT Explosive and Responses of the Young Puffer, *Takifugu rubripes*, against the Explosion Sound Under the Water.

Ahn Jang-Young*, Rho Sum**

Summary

These days, the underwater excavator and the TNT explosive have been commonly used to reclaim land and to build a breakwater. As the TNT explosive generates high underwater sound pressure in all directions, various kinds of marine organisms must be largely affected even if they inhabit in a quite long distance from a explosion sound source. Therefore, the damages of the TNT explosion on the young puffer, *Takifugu rubripes*, were examined using sound pressure which had been generated by 50kg of the TNT explosive, respectively. The results obtained are followed:

1. As the TNT explosive of 30kg and 50kg was used, the sound pressures detected at the location, 250m off from the explosion sound source indicated that the waves had pulse width of 1ms or less and showed peak powers of 2.5×10^4 Pa (208.0dB) and 5.4×10^4 Pa (214.6dB) respectively. Based on these data, the source levels calculated were 256.0dB and 262.6dB, and the relation between the pressure level of explosion sound and the amount of the explosive can be expressed by the equation: $P_0(\mu\text{Pa}) = 4.007 \times 10^{10} w^{1.49}/r$

2. When the TNT explosive of 50kg was used, the sound pressure levels calculated at the sites of the cage, 60m and 100m off from the sound source, are 227.0 dB and 222.6dB respectively. At the pressure level of 227.0dB, one fish was dead, two exophthalmos, five hemorrhage, and the rest of 45 fish escape. In contrast, at the pressure level of 222.6dB, only two fish were hemorrhage, and the rest of 47 fish escaped.

* 해양과학대학 어업학과 (Dept. of Fishery, Cheju Univ., Cheju-do, 690-756, Korea)

** 해양과학대학 증식학과 (Dept. of Aquaculture, Cheju Univ., Cheju-do, 690-756, Korea)

緒 言

人間이 日常生活을 하는데 있어서 空中과 水中은 전혀 별개의 世界로 區分되어 있으며, 특히 海中은 靜謐한 世界와 같이 생각되어 왔다. 그러나, 空中에 있어서 바람, 自動車, 航空機등으로 인한 騒音이 있는 것과 마찬가지로 海中에도 여러가지 騒音이 存在한다. 海水, 地殼, 降水, 生物등에 의한 騒音과 같이 自然的으로 發生하는 騒音과, 船舶航行으로 인한 騒音, 海底터널工事와 港灣浚渫工事등 水中工事로 인한 騒音등의 人工騒音이 있다. 周圍環境騒音은 이와같은 騒音이 合成되어 나타나는 데, 一般的으로 自然發生的 騒音은 長期間 혹은 거의 永久的으로 發生되어온 騒音이어서, 모든 生物들이 그 騒音에 이미 適應되어 있는 境遇가 많다. 그러나 人工的 騒音은 制限된 場所에서 一時的으로 일어나며, 그 騒音의 準位도 높아서 周圍 棲息生物들에 적지않은 被害를 준다. 더구나 經濟成長과 아울러 輸出入을 위한 船腹量과 航行頻度가 늘어나면서 港灣浚渫工事が 곳곳에서 行해지고 있으며, 이에 掘鑿機를 使用하거나 水中岩 破碎를 위해서 TNT爆藥에 의한 爆破作業을 하는 경우가 많아졌다. 따라서 水中爆破作業으로 인하여 생기는 騒音은 周圍海域의 生物들에게 致命的인 損傷을 가할 뿐만 아니라, 相當한 範圍까지 間接的인 影響을 미칠 것으로 사료되므로 이에 관한 研究가 절실히 要求되어진다.

水中爆破音에 관한 研究(Urick, 1975)로는, 美海軍에서 TNT爆藥등으로 製造된 發音彈을 水中爆發시켜, 그 爆破音을 音源으로 使用하여 潛水艦을 探知하는 研究를 하여 왔고, 또 Arons등(1949, 1949, 1954)에 의한 爆藥重量, 距離, 尖頭壓力의 相互關係에 관한 研究등 多數의 研究가 進行되어 왔으나, 대부분이 軍事的 秘密로 公開되지 않고 있다. 특히 水中爆破音이 周圍環境에 미치는 影響에 대한 研究는 거의 全無한 狀態이다.

이 研究는 港灣浚渫工事나 特殊目的의 防波堤 設置工事を 위하여 TNT爆藥을 使用하여 水中岩 破碎를 實施하는 등의 水中爆破를 행하였을 때, TNT爆藥量에 따른 騒音源의 騒音準位를 測定하였다. 또

그 騒音으로 인한 周圍海域에 棲息中인 魚類의 生態變化에 대한 基礎資料를 提供할 目的으로, 가두리에 수십마리의 魚類를 넣어 爆破地點으로부터 수십미터 떨어진 地點에 놓고 爆破時의 魚類의 行動變化 觀察과 爆破音의 騒音準位를 測定하였다.

裝置 및 方法

觀測調査를 實施한 時期는 1993년 12월 28일이었으며, TNT爆藥을 使用하여 水中爆破를 행하고, TNT爆藥量에 따른 音源의 騒音準位 測定 및 爆破 騒音으로 인한 周圍海域에 棲息하는 魚類의 生態變化에 관한 調査를 실시한 海域은 Fig. 1에서와 같이 濟州道 北東沿岸으로서, TNT爆藥의 爆破地點(A)은 테트라포트防波堤의 正面 약 10m地點이다.

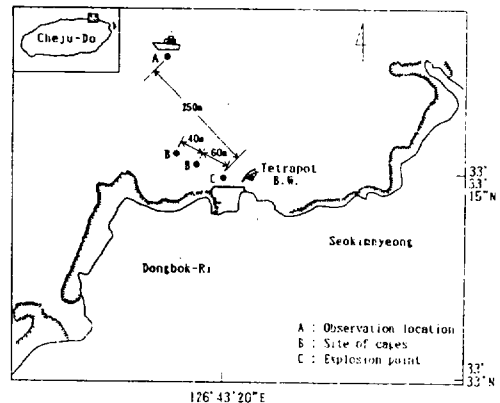


Fig. 1. Location of explosion point, the sites of the cages and observation position of sound.

水中爆破에 使用된 TNT爆藥의 量과 爆破回數는 30kg과 50kg으로 각 1회씩이었다. TNT爆藥을 水中爆發시켰을 때 爆破音의 騒音準位 測定은 小型觀測船에 乘船하여 행하였으며, 觀測地點(A)은 2회 모두 同一場所로서 爆破地點으로부터 북서쪽으로 약 250m 떨어진 곳으로, 水深은 약 5m이었다.

觀測船에서는 搭載된 測定機器를 Fig. 2와 같이 構成하여 놓고 爆破를 기다리고 있다가, 爆破가 행하여져 爆破騒音이 觀測船까지 傳播되어 오면, 그 騒音을 海中 약 3m水深에 드리워 놓았던 하이드로

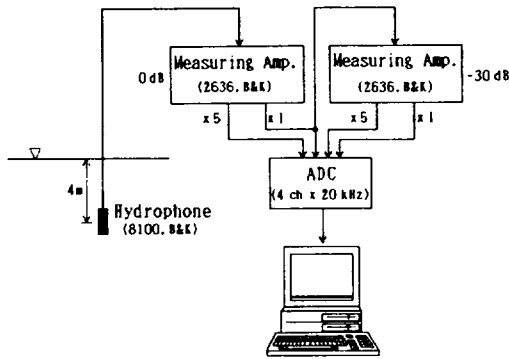


Fig. 2. Block diagram of experiment instrument for measuring of sound pressure.

폰 (-205.7dB re 1V/ μ Pa) 으로受信하였다. 受信된 爆發音은 4가지로, 增幅 (0dB, 14dB : 0dB=1 μ Pa) 및 감쇄 (-16dB, -30dB) 를 거친 후, 4가지의 信號를 4채널의 A/D Board에 各各 入力시켜 ана로그 信號를 디지털 信號로 變換後, 컴퓨터의 플로피디스크에 收錄하였다. 2회의 爆發에 걸쳐 收錄된 各 4 채널의 騒音데이터中에서 가장 理想的인 채널의 波形을 選擇하여 爆發音源의 騒音單位 分析에 使用하였다. 選擇된 채널의 騒音데이터로써 爆發音源의 騒音單位는 다음과 같은 Passive Sonar 方程式 (Urick, 1975)에 의해 計算하였다.

$$SL = TL - R_s - G + 20 \cdot \log v \quad (1)$$

$$TL = 20 \cdot \log r \quad (2)$$

단, SL : 爆發音의 音源強度

TL : 傳播損失

Table 1. The sizes of fish and cages for investigation about responses of fish against the explosions sound of TNT explosive.

Species	Size of the cage. L×D×H (m)	Distance from E. S. S. (m)	Total length of fish (cm)	Body weight of fish (g)	Fish numbers in the cage
<i>Takifugu rubripes</i>	2×2×2	60	13~16	40~53	45
		100	13~15	42~51	47

E. S. S. : Explosion Sound Source

R_s : 하이드로폰의 受信感度

G : 受信機의 이득

r : 爆發音源의 位置에서부터 하이드로폰까지의 距離

v : 受信電壓

여기에서 傳播媒質에 따른 吸收係數에 의한 傳播損失은 爆發音源의 周波數 및 爆發地點으로부터 受信地點까지의 距離를 考慮하였을 때 無視할 수 있다고 생각하여 省略하였다.

그리고 水中爆發時에 爆發騒音으로 인하여 生길 수 있는 周邊海域의 棲息魚類에 대한 生態變化를 觀察調査하기 위하여, Fig.1에서와 같이 爆發地點으로부터 北西方向으로 60m 및 100m 地點(B)에 Table 1과 같이 한번이 2m인 正六面體의 小型가두리에 全長 13~16cm, 體重 40~53g의 자주복 치어를 各各 45마리 및 47마리씩 收容한 후, 水中爆發를 實施하였다. 水中爆發가 끝난 即時 가두리의 魚類에 대해서 行動反應 및 生態變化를 調査하였다. 測定時의 海況은 Beaufort 風力級으로 0~1이었으며, 測定海域에 있어서의 表層水溫은 15.5C이고 鹽分은 34.2‰이었다.

結果 및 考察

1. 爆發音源의 強度

TNT 爆藥을 使用하여 水中爆發를 行하였을 때 TNT 爆藥量에 따른 爆發音源의 騒音單位를 測定하

기 위하여, 爆破音源으로부터 약 250m 떨어진 곳에서 測定한 TNT爆藥 30kg(a) 및 50kg(b) 爆破時의 爆破騒音에 대한 受信波形은 Fig. 3(a, b)과 같다.

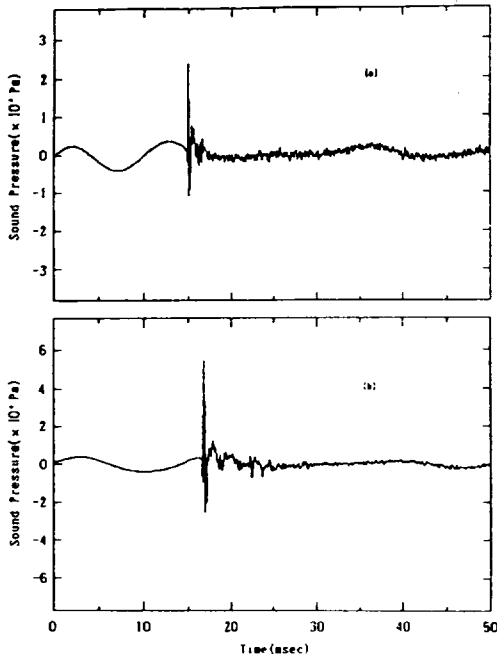


Fig.3. Wave forms of explosion sound measured at observation position, 250m off from sound source, when the TNT explosive of 30kg(a) and 50kg(b) is exploded.

Fig.3(a, b)은 受信機의 利得이 0dB인 狀態에서 收錄된 波形으로서, 兩 爆破音의 受信音壓의 尖頭音壓 및 그 時間的 變化를 나타내고 있다. 爆破時에 測定된 各各의 受信波形을 보면, 펄스音 以前에 受信된 低周波의 波形은 電源에 의한 騒音으로 볼 수도 있으나 電源 周波數보다는 多少 높다. 그 후 受信된 펄스音은 爆破音源으로부터 傳播되어 온 音으로 생각되어지며, 이어서 數回의 反響波와 함께 작은 펄스音이 持續되고 있다. 여기서 爆破音으로 보이는 受信 펄스音은 모두 幅이 1ms以內的 瞬間的인 펄스音으로, 尖頭音壓은 TNT爆藥量이 30kg일 때 2.5×10^4 Pa(208.0dB), 50kg일 때 5.4×10^4 Pa(214.6dB)이었다.

觀測地點에서 測定된 音壓으로써 (1)식과 (2)식을 利用하여 爆破音源에서 1m 떨어져 있는 地點에서의 音源強度로 換算하면, 各各 256.0dB 및 262.6dB이 된다. 그러나, 1949년에 Arons등(1949)이 報告한 音源으로부터의 距離와 TNT爆藥量으로써 爆破時의 尖頭壓力을 구하는 實驗式에 이 測定結果를 適用해 보면, 1m 떨어진 地點의 尖頭壓力은 TNT爆藥量이 30kg일 때 286.1dB, 50kg일 때 287.7dB이다. 이렇게 TNT爆藥量과 尖頭壓力과의 關係를 測定値와 實驗式에 의한 計算値로써 比較하면 Fig. 4와 같다.

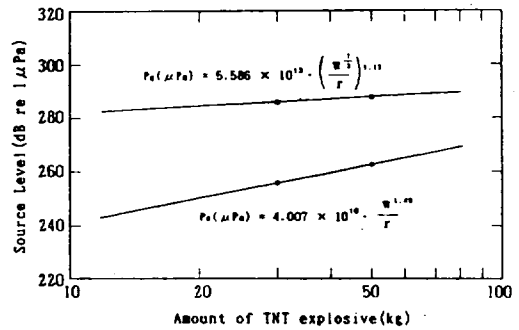


Fig.4. The relation between the weight of TNT explosive and the peak power of sound pressure by Arons et al. (dot line) and authors (solid line)

Fig.4에서 TNT爆藥量 30kg 및 50kg 爆破時의 尖頭壓力에 대하여 實線의 測定値는 實驗式에 의한 計算値보다 各各 30.1dB 및 25.1dB 높았다. 音壓의 測定値 및 計算値가 이렇게 큰 差異를 보이는 것은, 音源의 發音目的, 爆破方法 및 爆破位置에도 相異點이 있으며, 計算値를 구한 實驗式이 약 50년 전에 作成된 것으로, 現在보다는 精密計測機 및 測定方法이 不正確한 原因도 있다고 생각된다. 이를 뒷바침할 수 있는 것으로서 音壓의 傳播損失을 計算함에 있어서 現在는 距離에 單純反比例하는 것으로 定立되어 있는데 비해 過去の 實驗式은 距離의 指數에 反比例한다. 따라서 TNT爆藥量 30kg 및 50kg 爆破時에 各各 測定한 尖頭壓力으로 TNT爆藥量과 距離 및 尖頭壓力의 關係를 式으로 나타내어 보면, $P_0(\mu Pa) = 4.007 \times 10^{10} w^{1.49}/r$ 이 된다.

2. 爆破音에 대한 周圍棲息魚類의 行動變化

水中에서 TNT爆藥으로 爆破를 實施하였을 때, 그 爆破地點으로부터 60m 및 100m 떨어진 地點에 設置한 小型가두리에 收容된 자주복 치어의 行動反應 및 生態變化를 觀察한 結果는 Table 2와 같다.

爆破直後 60m 距離에 떨어져 있는 가두리에서의 計算된 音壓은 227.0dB이었는데, 이 音壓下에서의 魚類는 1마리가 斃死하였고, 약 10%가 出血을 일으켰으며, 2마리는 眼球가 突出하였다. 그리고 가두리내의 全體 魚類가 쇼크를 받아 가두리의 바닥과 벽쪽을 향하여 逃避行動을 보였다. 100m 距離에 있는 가두리에서의 計算된 音壓은 222.6dB이었는데, 가두리내의 2마리가 약간의 出血症勢를 보였으며, 全 魚類가 빠르게 底面과 벽쪽을 향하여 逃避行動을 취하는 것은 60m에서와 마찬가지로였다. 以上の 結果로 미루어, 60m 距離에 設置한 가두리내에서 1마리가 斃死하고 2마리가 眼球突出이 일어난 것은 이때의 音壓이 자주복 치어에게는 致命的인 音壓의 臨界值에 가까운 것이 아닌가 생각된다. 音壓이 魚類에게 미치는 影響은, 魚種에 따라 同一 魚種에서도 크거나 試驗當時의 魚類의 生理的 狀態

Table 2. Results of damages and responses of fish in the cages against the explosion sound of the TNT 50kg.

		Distance from E. S. S. (m)	
		60	100
Sound Pressure (dB)		227.0	222.6
Total number of fishes		45	47
Response of fishes	Dead	1	0
	Hemorrhage	5	2
	Exophthalmos	2	0
	Escape	All	All

에 따라 差異가 있겠지만, 이 研究에서는 人工種描 生産한 자주복의 치어만을 對象으로 調査하였기 때문에 今後 多樣한 魚種과 試驗條件을 달리한 研究가 繼續되어야 할 것으로 생각된다.

摘 要

港灣波濊工事나 特殊目的의 防波堤 設置工事を 위하여 TNT爆藥을 使用하여 水中岩 破碎를 實施하는 등의 水中爆破를 행하였을 때, TNT爆藥量에 따른 騒音源의 騒音單位를 測定하였다. 또 그 騒音으로 인한 周圍海域에 棲息中인 魚類의 生態變化에 대한 基礎資料를 提供할 目的으로 2개의 정방형 가두리(2×2×2m)에 全長 13~16cm되는 자주복을 45마리 및 47마리씩을 收容하여 爆破地點으로부터 各 各 60m 및 100m 地點에 놓고 爆破時의 魚類의 行動變化 觀察과 爆破音의 騒音單位를 測定하였다.

1. TNT爆藥 30kg 및 50kg 爆破時에 爆破音源으로부터 약 250m 떨어진 곳에서 測定한 爆破騒音의 受信波形은 幅이 1ms以內의 瞬間的인 펄스音으로, 尖頭音壓은 各各 2.5×10^4 Pa (208.0dB) 및 5.4×10^4 Pa (214.6dB)이었다. 또, 이것으로 音源強度를 換算하면 各各 256.0dB 및 262.6dB이 되며, TNT爆藥量과 距離 및 尖頭壓力의 關係를 式으로 나타내면, $P_0(\mu\text{Pa}) = 4.007 \times 10^{10} w^{1.49}/r$ 이 된다.

2. 爆破音에 대한 자주복 치어의 行動變化를 관찰한 結果, 爆破直後 60m 距離에 있는 가두리에서의 計算된 音壓은 227.0dB이었는데, 이 音壓下에서의 魚類는 1마리가 斃死하였고, 약 10%가 出血을 일으켰으며, 2마리는 眼球가 突出하였다. 그리고 가두리내의 全體 魚類가 쇼크를 받아 가두리의 바닥과 벽쪽을 향하여 逃避行動을 보였다. 100m 距離에 있는 가두리에서의 計算된 音壓은 222.6dB이었는데, 가두리내의 魚類는 2마리가 약간의 出血症勢를 보였으며, 全 魚類의 逃避行動은 60m에서와 같았다. 따라서, 227.0dB가 자주복 치어에게 致命的인 音壓의 臨界值로 생각된다.

參 考 文 獻

- Arons, A. B., and D. R. Yennie, 1949. Long range shock propagation in underwater explosion phenomena I, U.S. Navy Dept. Bur. Rep. Ord. NAVORD; 424.
- Arons, A. B., D. R. Yennie, and T. P. Cotter, 1949. Long range shock propagation in underwater explosion phenomena II, U.S. Navy Dept. Bur. Rep. Ord. NAVORD; 478.
- Arons, 1954. Underwater explosion shock wave parameters at large distances from the charge, J. Acoust. Soc. Am., 26: 343-353.
- Robert J. Urick, 1975. Principles of underwater sound, McGraw-Hill; 80-154.