

강우에 의하여 발생된 해수중 주위잡음의 측정

Measurements of oceanic ambient noise generated by rainfall

김 봉 채*, 최 복 경**, 송 희 천*, 변 상 경*

(Bong-Chae Kim*, Bok-Kyoung Choi*, Hee Chun Song*, and Sang-Kyung Byun*)

요 약

해양에서 강우에 의하여 발생된 수중잡음의 특성을 밝히기 위하여 한국 동해의 연안에서 비가 내리는 동안 해수중 주위잡음을 측정하였다. 수심 200 m인 정점에서 세 개의 수중청음기를 각각 수심 30 m, 50 m 및 100 m에 설치하였다. 먼저, 강우강도가 1.5~23.4 mm/h일 때 강우잡음의 스펙트럼 특성을 주의깊게 조사하였다. 그리고 다양한 주파수에 있어서 스펙트럼 레벨과 강우강도와의 관련을 조사하였다. 또한, 수중청음기로 수신한 강우잡음의 파형을 관찰하여 강우에 의한 수중잡음의 발생기구에 대하여 고찰하였다.

Abstracts

In order to investigate the characteristics of oceanic rain noise, we measured ambient noise at a site on the east coast of the Korean Peninsula while it rained. Three hydrophones were placed at a depth of 30 m, 50 m, and 100 m respectively where the water depth was 200 m. The spectral characteristics of rain noise were carefully examined according to rainfall rates between 1.5 and 23.4 mm/h. And the dependence of spectral level on rainfall rate was investigated for various frequencies. Also, it was considered the generation mechanism of rain noise by means of observation of rain noise waveforms received by hydrophone.

I. 서 론

비가 내리면 해수중의 주위잡음 레벨이 증가하는 것은 이전부터 알려져 왔지만, 비에 의한 구체적인 해수중 주위잡음의 발생기구에 관하여는 명확하게 밝혀지지 않았다. Franz¹⁾는 실험실 수조에서 자유낙하하는 물방울에 의한 수중의 주위잡음을 측정하여 그 발생기구로서 물방울이 수면에 부딪치는 충돌(drop impact)과 물방울의 충돌에 의하여 수중에 갇힌 기

포의 진동(entrained bubble pulsation)을 생각하였다. 그러나 물방울이 수면에 부딪치는 충돌에 의한 영향은 큰 반면, 수중에 갇힌 기포의 진동에 의한 영향은 작다고 가정하여 충돌의 영향만을 고려한 이론식을 유도하여 비에 의한 수중 주위잡음의 발생을 해석하였다. 한편, Scrimger 등^{2), 3), 4)}은 호수 및 해양에서 비, 눈, 우박 등 강수현상이 있는 경우에 있어서 수중의 주위잡음을 측정하여 그 결과를 보고하였다. 이에 의하면, 비, 눈 및 우박에 의한 수중 주위잡음의 스펙트럼 패턴(spectrum pattern)은 바람, 항행선박 및 수중동물에 의한 스펙트럼의 패턴과는 매우 달랐다. 특히 강우강도가 7.0 mm/h 이하로 작은 경우였

* 한국해양연구소 해양물리연구소

** 성균관대학교 대학원 물리학과 박사과정

접수일자: 1993년 9월 7일

지만, 비가 내릴 때에는 주파수 13~15 kHz에서 스펙트럼 레벨(spectrum level)의 피크(peak)가 특이하게 관측되었다. 그러나 Scrimger 등은 비에 의한 수중 주위잡음의 발생기구 및 주파수 13~15 kHz에서 생기는 레벨 피크의 발생원인에 관하여는 고찰하지 않았다. 그리고 Nystuen⁵⁾은 비가 내릴 때 호수에서의 수중 주위잡음을 측정하여 15 kHz 부근에서 스펙트럼 레벨의 피크가 나타나는 현상을 관측하였고, 수중 주위잡음의 측정결과로부터 수면상의 강우량을 모니터링(monitoring)할 수 있는 가능성을 최초로 제안하였다. 그러나 Nystuen은 비에 의한 수중 주위잡음의 발생기구로서 빗방울이 수면에 부딪치는 충돌만을 고려하였다.

Prosperetti 등⁶⁾과 Pumphrey 등⁷⁾은 실험실 수조에서 자유낙하하는 물방울에 의한 수중잡음의 발생 과정을 연속 촬영기법을 도입하여 실험하였다. 즉, 자유낙하하는 물방울이 수면에 부딪치는 일련의 과정과 이 때에 발생하는 수중잡음의 파형을 동시에 연속적으로 촬영하였다. 이에 의하면, 자유낙하하는 물방울의 직경이 0.8~1.1 mm이고, 수면에 부딪치는 물방울의 종단속도(terminal velocity)가 3.5~4.5 m/s의 경우에는 물방울의 충돌에 의하여 수중에 기포가 반드시 갇히게 되었고, 이 갇힌 기포가 진동함에 따라 커다란 수중잡음이 발생하였다. 따라서 이들은 Scrimger 등^{2), 3), 4)}이 관측한 비잡음에서 주파수 13~15 kHz의 레벨피크를 이러한 기포의 진동으로 설명하였고, 특히 이러한 기포진동이 해수중 강우잡음의 발생에 있어서 매우 중요한 역할을 하고 있음을 주장하였다. 한편 Longuet-Higgins⁸⁾, Oguz 등^{9), 10)}, Pumphrey 등¹¹⁾은 자유낙하하는 물방울에 의한 수중의 기포형성과 비가 내릴 때의 수중잡음 발생기구를 수치모델로 해석하려 시도하였다.

이와 같은 실험실 수조에서 자유낙하하는 물방울에 의한 수중 주위잡음의 측정, 호수에서 비에 의한 수중 주위잡음의 측정 및 수치해석 등의 결과에 의하여 비에 의한 수중 주위잡음의 발생기구에 대하여 많은 새로운 사실들이 밝혀지고 있다. 그러나 실제의 해양에서 비가 내릴 때, 이것이 해수중 주위잡음에 미치는 영향에 관한 조사결과는 매우 적으며, 특히 강우강도가 큰 경우에 있어서 구체적인 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨의 측정결과는 거의 발표되어 있지 않다.

따라서 여기에서는 해양에 있어서 이러한 강우현상이 해수중 주위잡음에 미치는 영향을 밝히기 위하

여 비가 내릴 때 해수중의 주위잡음을 직접 측정하여 강우강도와 주위잡음 레벨과의 관련에 대하여 조사하였다. 그리고 해수중 주위잡음의 파형을 관측하여 비잡음의 발생기구에 대하여도 고찰하였다.

II. 측정 및 분석 방법

해수중 주위잡음의 측정은 다음과 같은 방법으로 실시하였다. 한국 동해의 속초연안(수심 200 m)에서 1992년 8월중에 24 시간 동안 조사선상에서 해수중의 주위잡음을 측정하였다. 이 때 그림 1과 같이 수중청음기(hydrophone)를 각각 수심 30 m, 50 m, 100 m에 설치하여 세 수심에서 동시에 주위잡음을 수신하였으며, 그림 2의 녹음시스템을 사용하여 매시마다 10분간씩 녹음하였다. 녹음하는 동안 조사선에서 방사되는 잡음을 가능한 한 줄이기 위하여 조사선의 주기관, 보조기관 등 선내 잡음원의 가동을 중지하였고, 측정기의 전원으로는 축전지를 사용하였다. 수중청음기에서 수신된 주위잡음을 측정용 증폭기(measuring amplifier)로 적절한 레벨이 되도록 증폭시킨 다음, 테이프 레코더(tape recorder)에서 녹음하기에 적당한 레벨로 감쇠시켜 녹음하였다. 여기에 사용된 수중청음기(Bruel & Kjaer사, Model 8101)는 모든 방향에 대하여 수신감도(receiving sensitivity)가 거의 일정한 무지향성으로서 주파수 1 Hz~60 kHz의 대역에서 평탄한 주파수 특성(± 2 dB 이내)을 갖고 있다. 그리고 측정용 증폭기(Bruel & Kjaer사, Model 2636)는 주파수 2 Hz~200 kHz의 대역에서 그 특성(± 0.5 dB 이내)이 평탄하고, 테이프 레코더(Bruel & Kjaer사, Model 7006 Direct Unit)는 주파수 대역 40 Hz~60 kHz에서 평탄한 특성(± 3 dB 이내)을 갖고 있다. 해수중 주위잡음을 녹음하는 동안의 주변 환경으로서 강우강도를 원통형 우량계에 의하여 매 5분의 간격으로 관측하였다. 그리고 풍향풍속계(Vaisala사, Model WAD-21M)에 의하여 풍속을 측정하였으며, 레이더에 의하여 조사선 주위에서 항행하는 선박의 척수를 조사하였다.

해수중 주위잡음의 스펙트럼 분석은 실험실에서 그림 2의 분석 시스템을 사용하여 실시하였다. 녹음된 주위잡음을 테이프 레코더로 재생하여, 이것을 FFT 분석기(FFT analyzer, AND사, Model AD-3525)로 주파수 0~50 kHz 대역에서 125 Hz의 간격으로 분석치를 구하였다. 이 때의 분석치들은 FFT 분석기에 내장된 Hanning window를 사용하였으며 256 개를 선택

평균함으로써 얻어졌다. 그 다음 수중청음기의 수신 감도, 측정용 증폭기의 이득(gain) 및 테이프 레코더의 감쇠(attenuation) 등을 보상하여 주파수 1 kHz로부터 50 kHz까지 125 Hz 간격의 각 주파수에서 스펙트럼 레벨을 계산하였다. 여기에서는 1 μ Pa을 0 dB로 하였고 1 Hz의 밴드(band)로 환산하여 나타내었다. 그리고 해수중 주위잡음의 자료로서 조사선을 중심으로 반경 9 마일 이내에 항행선박이 없을 때의 스펙트럼 레벨만을 사용하였다.

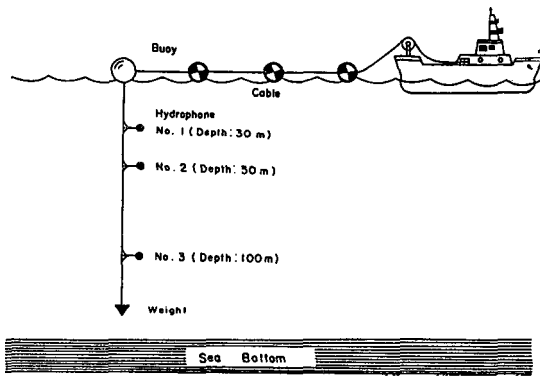
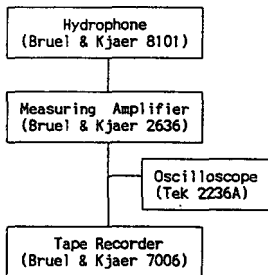


그림 1. 수중청음기 위치도.
Fig. 1. Hydrophone floating system.

* RECORDING



* SPECTRUM ANALYSIS

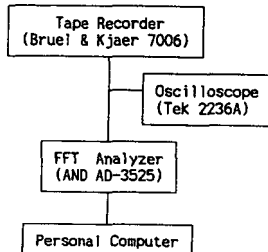


그림 2. 녹음 및 스펙트럼 분석 시스템의 블럭다이어그램.
Fig. 2. Blockdiagrams of recording and spectrum analysis system.

Ⅲ. 결과 및 고찰

해표면에 비가 내릴 때 수심 30 m, 50 m 및 100 m에 있어서 해수중의 주위잡음 스펙트럼을 그림 3에 각각 나타내고 있다. 주변환경으로서 여기에서는 풍속이 7 노트(knot)로 일정하고, 강우강도만이 각각 다른 경우이다(0~23.4 mm/h).

강우강도가 1.5 mm/h의 경우와 같이 비가 내리기 시작하면, 해수중의 주위잡음 스펙트럼 레벨은 주파수 13~15 kHz에서 피크를 갖으며, 이 주파수 대역에서 주위잡음 레벨은 비가 내리지 않을 때의 레벨보다 약 25 dB 만큼 높게 나타났다. 그러나 비가 약간 더 세게 내리면(강우강도 4.2~7.8 mm/h), 주파수 13~15 kHz의 레벨은 증가하지 않았지만, 그밖의 주파수 대역에서 레벨이 증가하여 13~15 kHz에서 나타는 레벨 피크의 현상이 약하게 되었다. 한편, 강우강도가 23.4 mm/h의 경우와 같이 비가 매우 세게 내리면, 주파수 1~50 kHz의 모든 대역에서 주위잡음 레벨이 증가하여 주파수 13~15 kHz의 레벨 피크를 확인할 수가 없었다. 그리고 이 경우 주파수 1~50 kHz의 모든 대역에서 해수중 주위잡음 레벨은 비가 내리지 않을 경우의 레벨보다 20~30 dB 정도 높게 나타났다.

그림 3으로부터 해수중 강우잡음 스펙트럼의 패턴을 살펴보면, 먼저 강우강도가 1.5~7.8 mm/h일 때의 스펙트럼 패턴은 강우강도가 23.4 mm/h일 때의 패턴과는 서로 다름을 알 수 있다. 즉, 강우강도가 1.5~7.8 mm/h의 경우, 주파수 1~5 kHz 대역에서는 -4~-5 dB/oct의 기울기로 주파수의 증가와 함께 레벨이 감소하였다. 그러나 주파수 5~10 kHz의 대역에서는 동일한 강우강도의 조건하에서 레벨이 거의 일정하였다. 즉, 강우강도가 1.5 mm/h의 경우에는 레벨이 48~50 dB, 강우강도가 4.2 mm/h의 경우에는 레벨이 50~52 dB, 강우강도가 7.8 mm/h의 경우에는 레벨이 53~57 dB였다. 그리고 주파수 10~12 kHz의 대역에서는 주파수가 증가함에 따라 레벨이 급격히 증가하였다. 그 기울기는 강우강도가 1.5 mm/h의 경우에는 +27~+28 dB/oct, 강우강도가 4.2 mm/h의 경우에는 +20~+22 dB/oct, 강우강도가 7.8 mm/h의 경우에는 +12~+14 dB/oct로 강우강도가 커짐에 따라 기울기가 작아지는 경향을 보였다. 또한 주파수 12~17 kHz의 대역에서 레벨은 강우강도에 관계없이 58~62 dB로 변동이 거의 없었으며, 특히 13~15 kHz에서 레벨의 피크를 보이고 있었다. 그리고 주파수 17 kHz 이상의 대역에서는 -9

~-11 dB/oct(수심 30 m, 수심 50 m의 경우) 또는 -12~-13 dB/oct(수심 100 m의 경우)의 기울기로 주파수의 증가와 함께 레벨이 점점 감소하였다. 한편, 강우강도가 23.4 mm/h의 경우, 주파수 1~5 kHz의 대역에 있어서는 ~3 dB/oct의 기울기로 주파수가 증가함에 따라 레벨이 저하하였다. 그러나 주파수 5 kHz로부터 17 kHz까지의 대역에서는 68 dB로부터 65 dB로 주파수의 증가와 함께 레벨이 매우 서서히 감소하였다. 또한 주파수 17 kHz 이상의 대역에서는 -8~-9 dB/oct(수심 30 m, 50 m의 경우)또는 -12 dB/oct(수심 100 m의 경우)의 기울기로 주파수가 증가함에 따라 레벨이 저하하였다.

이러한 강우잡음 스펙트럼의 측정결과는 Scrimger 등⁴⁾이 측정한 결과와 약간 서로 달랐다. 강우강도가 7.0 mm/h 이하의 경우, 이 결과에서는 주파수 13~15 kHz 대역의 피크 레벨이 강우강도에 의존하지 않은 반면 주파수 5 kHz 근방의 레벨은 강우강도에 따라 크게 변화하였지만, Scrimger 등의 결과에서는 주파수 13~15 kHz 대역의 피크 레벨이 강우강도에 따라 크게 변화한 반면 주파수 5 kHz 근방의 레벨은 강우강도에 거의 의존하지 않았다. 동일한 강우강도의 조건하에서 이와 같은 강우잡음 스펙트럼의 차이는 빗방울 크기 분포의 차이에 의하여 일어날 수 있지만¹²⁾, 이에 대하여는 더욱 많은 연구가 필요하리라고 생각된다.

그림 3에서 수심 30 m, 50 m 및 100 m 등에 따른 해수중 강우잡음 스펙트럼 레벨의 차이를 살펴보면, 주파수 20 kHz 이하의 대역에서 수심에 따른 레벨의 차이는 확인되지 않았지만, 주파수 20 kHz 이상의 대역에서 수심 100 m의 레벨은 수심 30 m, 50 m의 레벨보다 주파수의 증가와 함께 서서히 작아지고 있었으며, 특히 주파수 50 kHz 근방에서 수심 100 m의 레벨은 수심 30 m, 50 m의 레벨보다 약 5 dB 정도 작게 나타났다.

유효한 자료가 부족하지만, 특정 주파수에 있어서 해수중 주위잡음 레벨에 미치는 강우강도의 영향을 밝혀 실제 응용하는 데 도움을 주기 위하여 5 kHz의 간격으로 5 kHz로부터 50 kHz까지의 각 주파수에서 강우강도와 강우잡음 레벨과의 관계를 조사하였다. 여기에서는 강우강도와 특정 주파수에 있어서 강우잡음 레벨과의 관계를 다음과 같은 1차식으로 근사하여 최소자승법으로부터 그 관계식의 계수를 구하였다⁴⁾. 이 경우에는 해수중 강우잡음의 레벨로서 풍속이 7 노트일 때, 수심 30 m에서의 레벨을 사용하였다.

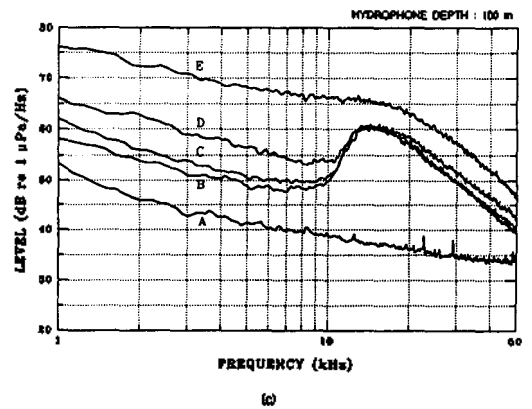
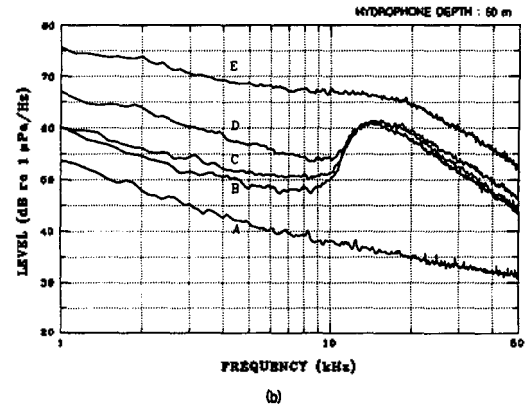
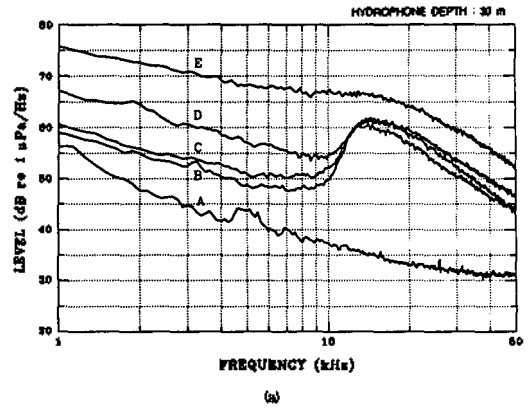


그림 3. 풍속 7 노트일 때의 해수중 강우잡음 스펙트럼.

A : no rain, B : 1.5 mm/h, C : 4.2 mm/h, D : 7.8 mm/h, and E : 23.4 mm/h.

Fig. 3. Oceanic rain noise spectra for wind speeds of 7 knots.

A : no rain, B : 1.5 mm/h, C : 4.2 mm/h, D : 7.8 mm/h, and E : 23.4 mm/h.

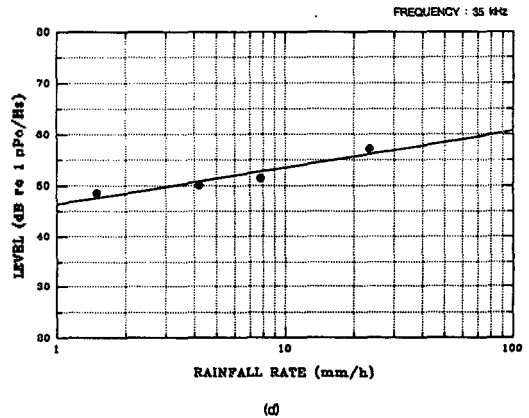
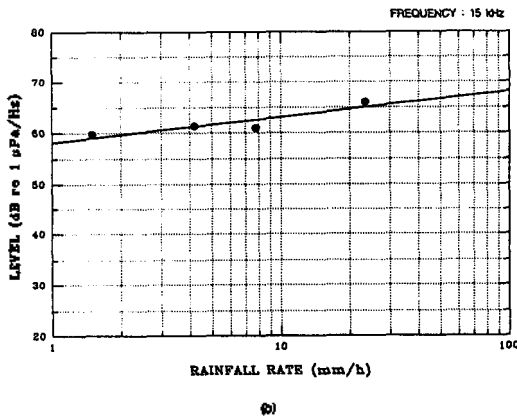
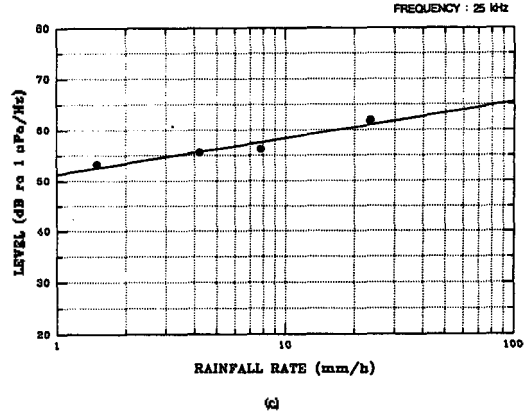
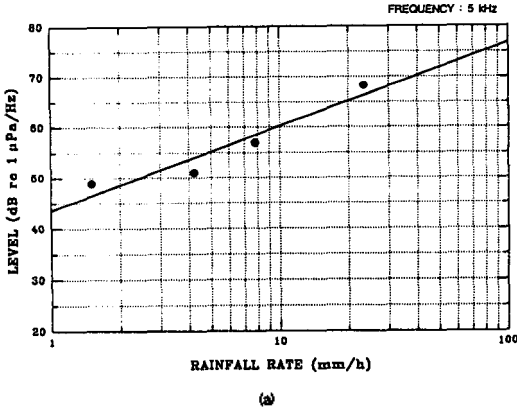


그림 4. 풍속 7 노트일 때 강우강도에 대한 특정 주파수의 강우잡음 레벨.

Fig 4. Oceanic rain noise spectrum levels at a certain frequency against rainfall rates for wind speeds of 7 knots.

$$NL = A + B \cdot \log_{10} R$$

여기서, NL은 특정 주파수에 있어서 해수중의 강우 잡음 레벨(dB), A는 상수, B는 1차항의 계수이고, R은 강우강도(mm/h)이다. 이 결과를 그림4에 나타내었다. 이들 그림에서 ●는 측정치를 나타내고, 실선은 최소자승법으로 구한 결과를 그린 것이다. 또 이 계산결과는 표 1과 같다. 이 표에는 강우강도와 특정 주파수의 강우잡음 레벨과의 상관계수도 나타내었다. 실측치가 적으므로 더욱 많은 측정이 필요하고, 특히 다양한 풍속에 대한 조사도 필요하리라고 생각되지만, 풍속 7 노트일 때 특정 주파수에 있어서 해수중 강우잡음 레벨은 강우강도의 log 함수와 매우 높은 상관이 있는 것으로 나타났다. 그리고 1차항의 계수 B는 주파수 5 kHz에서 16.6으로 가장 컸으며, 15

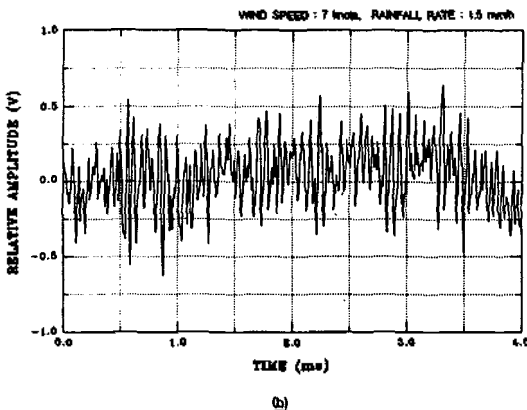
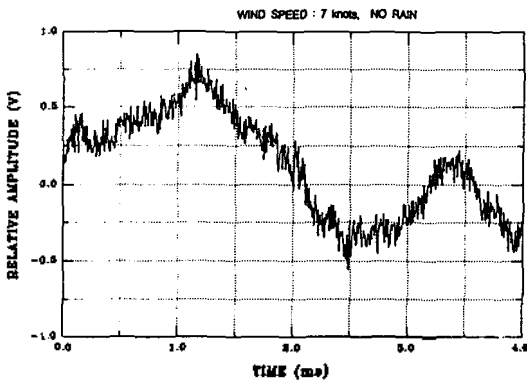
kHz에서 5.0으로 가장 작았다. 따라서 해수중 주위잡음을 측정하여 해표면에 있어서의 강우강도를 추정하는 데에는 주파수 5 kHz의 주위잡음 레벨을 모니터링하는 것이 가장 감도좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

이러한 분석결과는 Scrimger 등⁴⁾의 결과와는 매우 다르게 나타났다. 즉, 이미 언급한 것과 같이 여기에서는 주파수 5 kHz에서 log 함수의 1차항 계수가 가장 컸으며 주파수 15 kHz에서 가장 작았지만, Scrimger 등의 결과에서는 주파수 5 kHz에서 1차항의 계수가 가장 작았고 주파수 15~20 kHz에서 가장 크게 나타났다. 이에 대하여는 더욱 많은 현장 측정 자료를 바탕으로 보다 심층적인 분석이 필요하리라고 생각된다.

표 1. 풍속이 7 노트일 때 다양한 주파수에 있어서 최소 자승법으로 구한 강우강도와 강우잡음 레벨과의 관계 $NL = A + B \cdot \log_{10} R$ 을 나타내는 계수 A와 B. 여기서 NL(dB)은 강우잡음 레벨, R(mm·h⁻¹)은 강우강도임.

Table 1. Coefficients A and B of the relation $NL = A + B \cdot \log_{10} R$ derived from a least-square fit of rain noise levels against rainfall rates for various frequencies and wind speed of 7 knots where NL(dB) is the noise level, R(mm·h⁻¹) is the rainfall rate.

Frequency (kHz)	A	B	Correlation coefficient
5	43.6	16.6	0.989
10	44.9	14.4	1.000
15	58.2	5.0	0.977
20	55.0	6.1	0.992
25	51.3	7.1	0.988
30	48.1	7.5	0.992
35	46.4	7.1	0.998
40	43.2	8.6	0.997
45	42.0	8.0	0.992
50	40.3	8.0	0.988



수심 30 m의 수중청음기에서 수신한 해수중 주위 잡음의 상대적인 음압파형을 그림 5에 나타내고 있

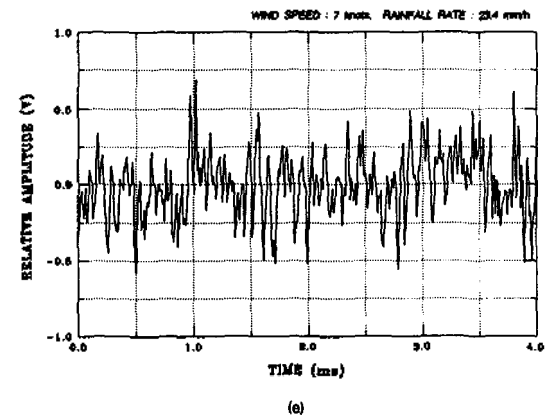
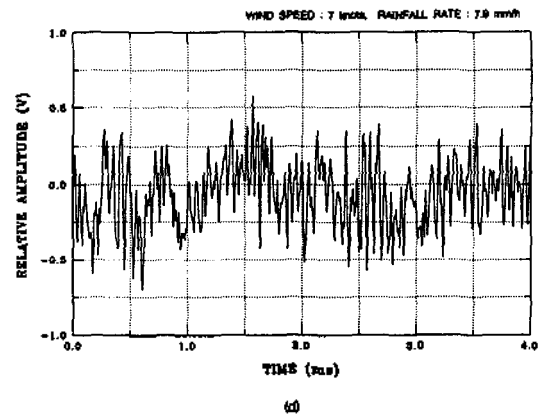
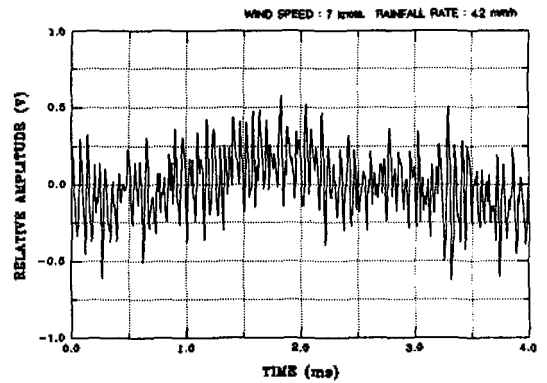


그림 5. 수심 30 m의 수중청음기에서 수신한 강우잡음 파형.

Fig. 5. Oceanic rain noise waveform received by hydrophone at a 30 m depth.

다. 여기에서는 풍속이 7 노트로 일정하고 강우강도가 다른 경우이다. 이 그림에 의하면, 비가 내리지 않을 때에는 저주파 성분이 크게 관측되고 있지만(그림 5(a)), 강우강도가 1.5~4.2 mm/h의 경우와 같이 강우강도가 작을 때에는 진폭이 감소하고 있는 주기가 약간씩 다른 정현파가 우세하게 관측되고 있다(그림 5(b)~(c)). 이것은 해표면에 비가 내릴 때, 이 빗방울에 의하여 해수중에 기포가 갇히고, 이 갇힌 기포가 진동함에 따라 발생하는 것으로 볼 수 있다^{9)~11)}. 따라서 주파수 13~15 kHz 대역에서 나타나는 레벨 피크는 이러한 기포진동과 깊은 관련이 있는 것으로 생각된다. 그러나 강우강도가 23.4 mm/h의 경우와 같이 강우강도가 커지면, 충격파의 파형이 우세하게 관측되고 있다(그림 5(e)). 이것은 빗방울이 해표면에 부딪칠 때의 충돌에 의한 것으로 보여진다. 따라서 풍속이 7 노트일 때 해표면에 비가 내리면, 강우강도가 작은 경우에는 빗방울에 의하여 해수중에 갇힌 기포의 진동이 주요한 잡음원의 역할을 하고 있고, 특히 주파수 13~15 kHz에서의 레벨피크는 이 기포의 진동에 의하여 생기는 것으로 생각된다. 한편 강우강도가 큰 경우에는 빗방울이 해표면에 부딪치는 충돌이 해수중에 갇힌 기포의 진동보다 더 우세한 잡음원의 역할을 하고 있으며, 이 경우에는 주파수 1~50 kHz의 모든 대역에서 해수중 주위잡음 레벨이 증가하는 것으로 생각된다.

IV. 결 론

강우에 의하여 발생된 해수중 주위잡음의 특성을 밝히기 위하여 한국 동해의 속초연안에서 비가 내릴 때 해수중 주위잡음을 측정하였다. 그 결과 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다. 주변환경으로서 풍속이 7 노트일 경우, 강우강도가 1.5~7.8 mm/h일 때 해수중 주위잡음의 스펙트럼 레벨은 주파수 13~15 kHz에서 피크를 보였으며, 이 대역에서 레벨은 비가 내리지 않을 때의 레벨보다 약 25 dB 증가하였다. 한편 강우강도가 23.4 mm/h일 때, 스펙트럼 레벨은 13~15 kHz에서 피크를 보이지 않았으며, 주파수 1~50 kHz의 모든 대역에서 레벨이 증가하였고, 이때의 레벨은 비가 내리지 않을 때의 레벨보다 약 20~30 dB 정도 높게 나타났다. 그리고 이 경우의 해수중 주위잡음 스펙트럼 레벨은 강우강도의 log 함수에 관한 1차식으로 나타낼 수 있었고, 1차항의 계수

는 주파수 5 kHz에서 가장 컸으며, 주파수 15 kHz에서 가장 작았다. 해수중 강우잡음은, 강우강도가 작은 경우(강우강도가 1.5~4.2 mm/h)에는 빗방울이 해표면에 충돌한 이후 해수중에 갇힌 기포의 진동에 의하여 주로 발생하는 것으로 보였으며, 강우강도가 큰 경우(강우강도가 23.4 mm/h)에는 빗방울이 해표면에 부딪치는 충돌에 의하여 주로 발생하는 것으로 생각되었다.

강우에 의한 수중잡음의 발생기구는 매우 복잡할 뿐만 아니라 여러 환경조건의 영향을 복합적으로 받고 있으므로, 강우에 의한 해수중 주위잡음 발생에 관한 현상을 명확히 구명하기 위하여는 강우강도, 풍속, 빗방울의 크기 분포 등의 주변환경에 관한 세밀한 관측과 함께 더욱 많은 해수중에서의 주위잡음 측정이 필요할 것이다. 그리고 정성적인 해석을 위하여 실험실의 다양한 조건하에서 자유낙하하는 빗방울에 의한 수중잡음의 발생에 관한 실험과 아울러 강우잡음 발생기구에 관한 수치모델 연구도 병행하여 추진되어야 하리라고 생각된다.

사 사

해수중 주위잡음을 측정하는 데 협력하여 주신 한국해양연구소 해양물리연구부의 연구원 여러분과 조사선 이어도호의 승무원 여러분께 감사드립니다. 그리고 좋은 내용을 지적하여 주신 심사위원 여러분께 깊은 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. G. J. Franz, "Splashes as sources of sound in liquids," J. Acoust. Soc. Am. 31, 1080-1096(1959).
2. J. A. Scrimger, "Underwater noise caused by precipitation," Nature 318, 647-649(1985).
3. J. A. Scrimger, D. J. Evans, G. A. McBean, D. M. Farmer, and B. R. Kerman, "Underwater noise due to rain, hail and snow," J. Acoust. Soc. Am. 81, 79-86(1987).
4. J. A. Scrimger, D. J. Evans, and W. Yee, "Underwater noise due to rain—Open ocean measurements," J. Acoust. Soc. Am. 85, 726-731(1989).
5. J. A. Nystuen, "Rainfall measurements using underwater ambient noise," J. Acoust. Soc. Am. 79, 972-982(1986).
6. A. Prosperetti, L. A. Crum, and H. C. Pumphrey, "The underwater noise of rain," J. Geophys. Res.

94, 3255-3259(1989).

7. H. C. Pumphrey, L. A. Crum, and L. Bjørnø, "Underwater sound produced by individual drop impacts and rainfall," *J. Acoust. Soc. Am.* 85, 1518-1526 (1989).
8. M. S. Longuet-Higgins, "An analytic model of sound production by raindrops," *J. Fluid Mech.* 214, 395-410(1990).
9. H. N. Oguz and A. Prosperetti, "Bubble entrainment by the impact of drops on liquid surfaces," *J. Fluid Mech.* 219, 143-179(1990).
10. H. N. Oguz and A. Prosperetti, "Numerical calculation of the underwater noise of rain," *J. Fluid Mech.* 228, 417-442(1991).
11. H. C. Pumphrey and P. A. Elmore. "The entrainment of bubbles by drop impacts," *J. Fluid Mech.* 220, 539-567(1990).
12. H. Medwin, J. A. Nystuen, P. W. Jacobus, L. H. Ostwald, and D. E. Snyder, "The anatomy of underwater rain noise," *J. Acoust. Soc. Am.* 92, 1613-1623(1992).

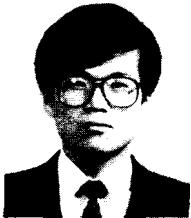
▲김 봉 채

1993년 현재: 한국해양연구소 해양물리연구부 선임 연구원
(한국음향학회지 11권 5호 참조)

▲송 희 천

1993년 현재: 한국해양연구소 해양물리연구부 선임 연구원 (한국음향학회지 12권5호 참조)

▲최 복 경



1989년 2월: 성균관대학교 물리학과 졸업(이학사)
1991년 2월: 성균관대학교 대학원 물리학과 석사과정 졸업(이학석사)
1991년 3월~1993년 현재: 성균관대학교 대학원 물리학과 박사과정 재학

1991년 9월~1993년 현재: 한국해양연구소 해양물리 연구부 위촉연구원

▲변 상 경

1993년 현재: 한국해양연구소 해양물리연구부 책임 연구원
(한국음향학회지 11권 5호 참조)