

댐 방류 경보방송의 전달 특성 및 적정 위치 선정에 관한 연구

A Study on Travelling Characteristics and Choice of Proper Location of Dam Discharge Alarm Broadcasting

김대군 · 김재수 †
Dae-Goon Kim · Jae-Soo Kim *

원광대학교 건축학부
Division of Architecture, Wonkwang University

(2009년 3월 20일 접수, 2009년 7월 14일 채택)

ABSTRACT : After 1960s, in accordance with getting bigger in changing range of annual rain precipitation, those dams were built in order to prevent any drought and flood through the regulation of flux. In case of such dam, when it reaches to some definite pondage, for its regulation of water volume, numerous volume of water in the reservoir should be discharged by opening the floodgate, at this time a severe damage can be occurred to those lives and properties of the residents and tourists at the river or riverside. Accordingly, despite the sounding alarm broadcasting for prevention and notice such damage could be clearly travelled to those people without influence by the discharging noise or other neighboring environmental factor, since it was only empirically installed without any peculiar research until now, the alarm broadcasting could not effectively travel, and the travelling distance also could not known correctly. On such point of view, this Study has ever grasped the characteristics by frequencies and its sound pressure level about the discharge noise and the alarm broadcasting of Daechung Dam, one of multipurpose dams through the measurement and analysis by distances, and based on this, also has ever presupposed the proper location of additional alarm broadcasting spot using a simulation program named Cadna-A.

Key words : Discharge Noise, Dam, Alarm Broadcasting, Cadna-A

요약 : 1960년대 이후 연강수량의 변동 폭이 커짐에 따라 유량조절을 통해 가뭄과 홍수를 방지하기 위한 댐이 건설되었다. 이러한 댐의 경우, 일정 저수량이 되면 수량을 조절하기 위해 수문을 개방하여 저수지 내 많은 양의 물을 방류하게 되는데 이 때 강 또는 강 주변의 주민 및 행락객들의 생명과 재산 등의 큰 피해가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 피해를 예방하고 알리기 위해 울리는 경보방송은 방류소음이나 주변의 환경적인 요인에 영향을 받지 않고 사람들에게 명료하게 전달될 수 있어야 하지만 지금까지 별다른 연구없이 경험적으로 설치하다 보니 경보방송이 효과적으로 전달되지 못하고 그 전달거리 또한 정확히 알 수 없었다. 이러한 관점에서 본 연구는 다목적 댐 중의 하나인 대청댐의 방류소음과 경보방송의 거리별 측정 및 분석을 통하여 주파수별 특성과 음압레벨을 파악해보고 이를 토대로 Cadna-A라는 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 추가 경보방송지의 적정위치를 예측해 보았다. 이러한 결과는 향후 경보방송의 설계 및 설치시 유용한 자료를 제공할 것으로 사료된다.

주제어 : 방류소음, 댐, 경보방송, Cadna-A

1. 서론

댐 내의 수량을 조절하기 위하여 방류가 이루어지거나 강우 등으로 강수량이 급격히 증가하게 되면 급류가 발생하게 되어 강 또는 강 주변의 사람들에게 생명과 재산 등의 큰 피해가 발생할 수 있다. 이러한 피해를 방지하기 위하여 작동되는 경보방송은 방류소음이나 주변의 환경적인 요인에 영향을 받지 않고 사람들에게 명료하게 전달될 수 있어야 하지만 지금까지 별다른 연구없이 경험적으로 설치하다 보니 경보방송이 효과적으로 전달되지 못하고 그 전달거리 또한 정확히 알 수 없었다. 따라서 경보방송의 미인지로 인한 재산 및 생명의 피해가 급증하고 있는 시점에

서 본 연구에서는 다목적 댐 중의 하나인 대청댐의 방류소음과 경보방송의 거리별 측정 및 분석을 통하여 주파수별 음압레벨을 파악해보고 이를 토대로 Cadna-A라는 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 추가 경보방송지의 적정위치를 예측해 보았다.

2. 경보방송지의 개요 및 소음 특성 측정방법

2.1. 경보방송 측정지의 개요

Fig. 1a는 대청댐의 조정지 모습으로 대청댐은 연간 1,649 × 10⁶ m³의 용수 공급을 하고 있고 대전과 청주지역으로 용

† Corresponding author : E-mail : soundpro@wku.ac.kr Tel : 063-850-6712 Fax : 063-843-0782



(a) Floodgate of control place



(b) Speaker of alarm office in control place

Fig. 1. Photograph of measuring point.

수를 공급하기 위한 도수로와 시설용량 90,000 kW(45,500 kW×2기)의 수력발전소가 있다. 조정지 정보소는 폴(Pole) 형태의 위성스피커가 설치되어 있으며 위성통신 방식이다. Fig. 1a는 조정지 수문을 나타내고 있으며 Fig. 1b는 정보소 스피커의 모습으로 앰프출력은 1,200 W이며 민원이 발생할 경우를 대비하여 400 W만을 사용하고 있다.

2.2. 방류소음 및 경보방송 측정방법

측정 환경은 온도 18.9°, 습도 92.5%, 풍향 동풍, 풍속 2.4 m/s, 시간당 15 mm의 비가 내리는 기상 환경에서 댐의 수문이 개방되어 물이 방류되었을 때 음압레벨을 측정하였다. 측정지 소음계의 위치는 강변에 바로 인접한 곳에 지면으로부터 1.5 m의 높이에 삼각대로 고정하여 설치하였다. 측정방법은 Fig. 2와 같이 소음계(B&K사, Type 2236)를 통해 들어오는

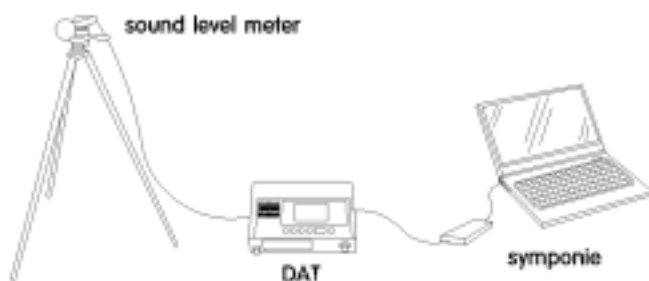


Fig. 2. Measuring instrument & photograph.

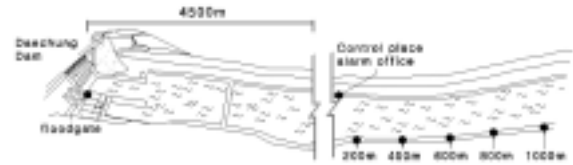


Fig. 3. Measuring point of discharge noise & alarm broadcasting.

신호를 DAT(Sony사, PCM-D50)로 현장에서 녹음하였으며, 녹음된 신호를 01dB사의 2채널 실시간 소음분석기(Realtime Frequency Analyzer)인 Symponie를 이용하여 분석하였다.

방류소음과 경보방송의 측정지점은 Fig. 3과 같이 일정한 거리를 지정하여 설치하였으며 수문을 기준으로 남서방향으로 4,500 m 떨어진 조정지 정보소에서 하류 서쪽방향 200 m 간격으로 측정하였다.

3. 방류소음과 경보방송의 특성

3.1. 시간응답파형과 시간대별 음압레벨

Fig. 4는 각 방류소음지점의 시간응답파형과 시간대별 음압레벨을 나타낸 것이다.

Fig. 4에서 방류소음의 시간응답파형을 보면 수문 앞은 음압레벨이 커서 변동폭이 크지만 수문으로부터 멀어질수록 변동폭이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 시간이력곡선을 보면 지속 발생하는 방류소음으로 인해 음압레벨의 큰 변동없이 각 지점에서 측정된 음압레벨이 유지되고 있다. Fig. 5는 각 경보방송측정지점의 시간응답파형과 시간대별 음압레벨을 나타낸 것이고 방송내용은 다음과 같다.

“대청댐 사무소에서 알려 드립니다. 지금부터 댐의 수문을 열어 강수위가 높아질 것입니다. 따라서 급류가 발생되므로 강 또는 강가에 계시는 주민 여러분께서는 대단히 위험하니 지금 즉시 강 밖 안전한 곳으로 대피하여 주시기 바랍니다. 다시 한번 알려 드립니다. 지금부터 댐의 수문을 열어 강 수위의 상승이 예상됩니다. 따라서 급류가 발생되므로 강 또는 강



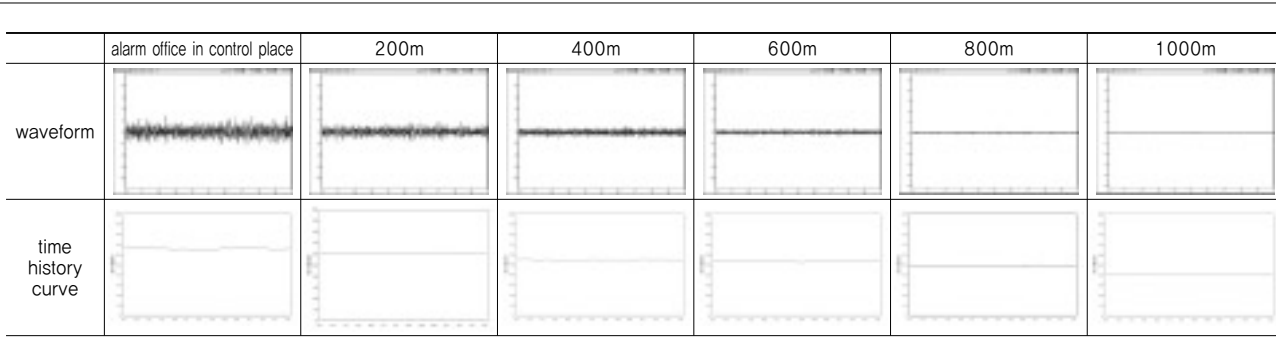


Fig. 4. Time history curve & waveform of discharge noise.

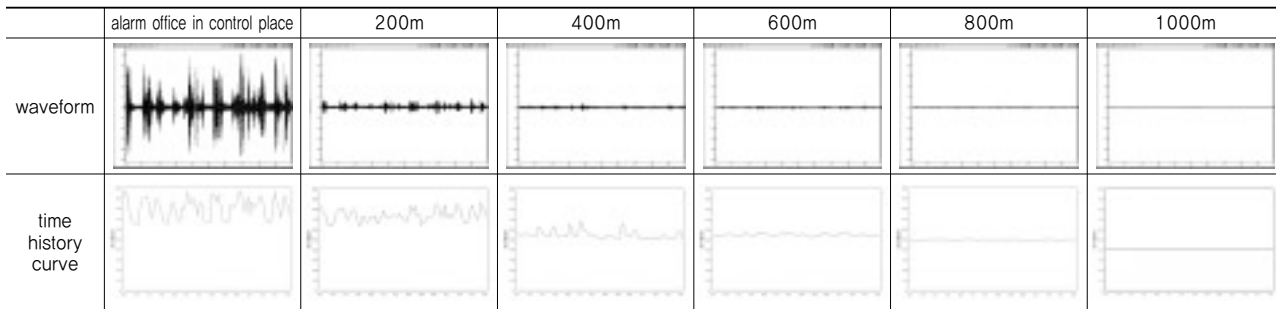


Fig. 5. Time history curve & waveform of alarm broadcasting.

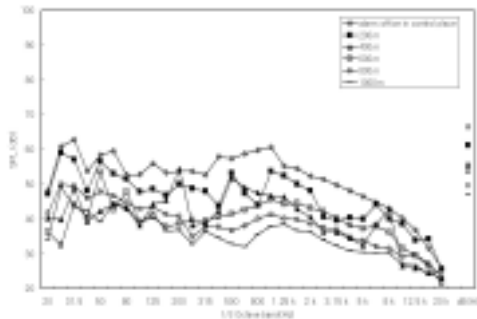


Fig. 6. Frequency characteristic of discharge noise.

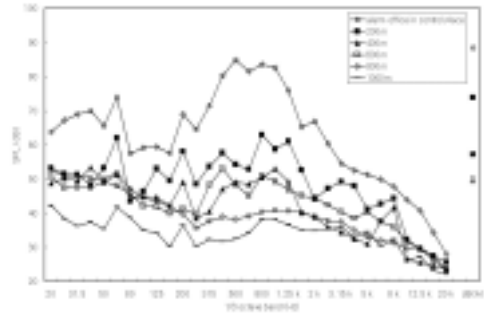


Fig. 8. Frequency characteristic of alarm broadcasting.

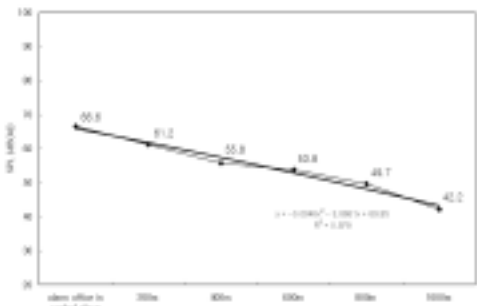


Fig. 7. Distance by SPL of discharge noise.(dB(A))

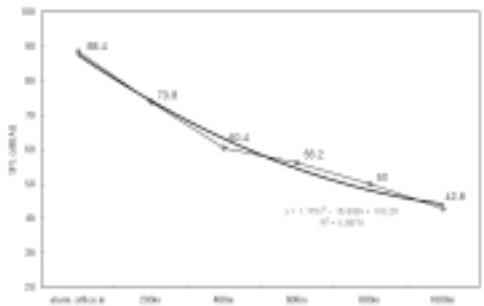


Fig. 9. Distance by SPL of alarm broadcasting. (dB(A))

가에 계시는 주민 여러분께서는 대단히 위험하오니 지금 즉시 강 밖 안전한 곳으로 대피하여 주시기 바랍니다.”

Fig. 5에서 경보방송의 시간응답과형을 보면 경보방송이 작동되는 경보소에서는 음압레벨의 변동폭이 크지만 거리가 멀어질수록 변동폭이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 시간이력곡

선도 거리가 멀어질수록 음압레벨이 감소하고 있음을 알 수 있다. 따라서 폭우시 댐의 수문을 개방하여 방류를 하게 되는 경우 방류소음으로 인해 조정지 경보소에서 어느 정도 거리가 이격되면 경보방송을 인지하지 못해 사람들의 피해가 발생할 수 있을 것으로 사료된다.

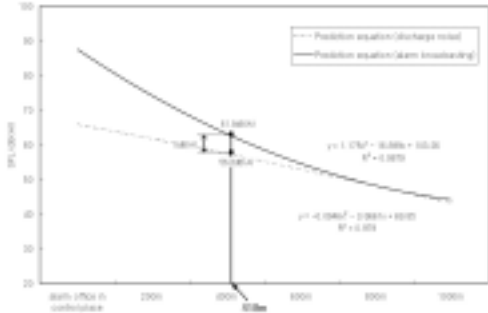


Fig. 10. Comparison in distance by SPL of discharge noise & alarm broadcasting by Prediction equation.

3.2. 주파수 특성

Fig. 6은 방류소음의 주파수별 특성을 분석하여 나타낸 것이다. Fig. 6의 방류소음의 주파수별 특징을 살펴 보면 저주파수 대역에서 높은 음압레벨을 보이고 고주파수대역으로 갈수록 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 방류소음의 거리별 음압레벨을 나타낸 것이다.

Fig. 7의 방류소음의 거리별 음압레벨을 보면 66.6~42.2 dB(A)로 나타나 거리가 멀어질수록 약간씩 감소하는 특성을 보이고 있다. 이는 조정 수문을 개방하여 방류시 와류에 의해 소음레벨이 증가하다가 이후 거리가 멀어져 그 영향이 약해지기 때문이다. 이러한 측정 자료를 토대로 회귀분석해보면 예측식은 $y = -0.0946x^2 - 3.8661x + 69.85$ 로 설명력은 약 98%의 높은 상관성을 보이고 있다. Fig. 8은 경보방송의 주파수별 특성을



Fig. 11. SPL measure photograph of alarm broad casting.

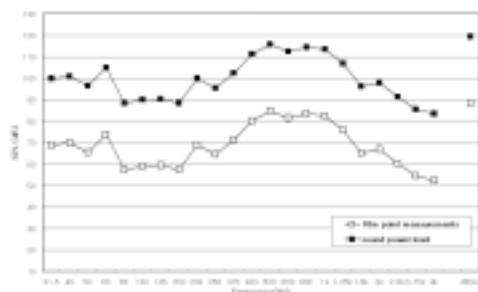


Fig. 12. Sound power level of alarm broadcasting.

을 분석하여 나타낸 것이다.

Fig. 8을 보면 조정지 경보소의 경우 250~2 kHz 대역에서 높은 음압레벨을 보이고 있다. 그러나 거리가 멀어지면 이러한 특성은 약해지며 저주파수가 높고 고주파수는 낮아지는 방류소음의 특성을 보이고 있다. 이러한 이유는 거리가 멀어짐에 따라 경보방송이 전달되지 않고 방류소음의 영향을 받기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 9는 경보방송의 거리별 음압레벨을 나타낸 것이다.

Fig. 9를 보면 88.4~42.8 dB(A)로 나타났는데 400 m 지점까지는 급격히 감소하다가 그 이후 지점부터는 완만히 감소함을 알 수 있다. 이러한 측정 자료를 토대로 회귀분석해보면 예측식은 $y = 1.175x^2 - 16.899x + 103.26$ 으로 설명력은 약 99%의 높은 상관성을 보이고 있다.

3.3. 방류소음과 경보방송의 음압레벨 비교

Fig. 10은 방류소음과 경보방송의 음압레벨을 예측식을 이용하여 비교한 것이다. Fig. 10을 보면 조정지 경보소 지점은 높은 음압레벨을 가지지만 400 m 지점부터는 확연히 감소하여 경보방송과 방류소음의 음압레벨 차가 감소하는 것을 알 수 있다. 저주파수대역이 높은 음압레벨을 보이는 방류소음은 그 특성상 250~2 kHz 대역에서 높은 음압레벨을 가진 경보방송의 전달력



(a) Import Cadna-A in the Surrounding environment element modeling



(b) Surroundings Foreground of alarm office in control place

Fig. 13. Modeling of simulation program.

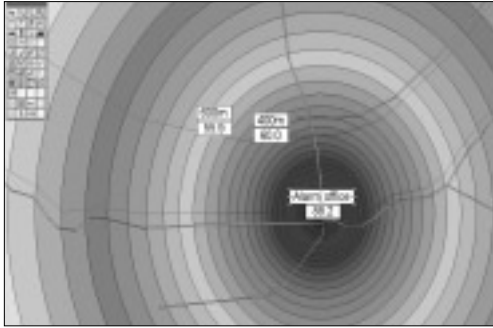


Fig. 14. Reliability examination of simulation result.

에 영향을 줄 수 있으며 경보소로부터 거리가 멀어짐에 따른 경보방송의 음압레벨 감소로 영향이 커질 것으로 사료된다. 본 연구에서 경보방송이 방류소음에 의해 방해받지 않고 명료하게 경보방송을 인식할 수 있는 음압레벨 차를 약 5 dB(A)로 설정하였다. 이는 사람에게 전혀 다른 느낌을 줄 수 있는 소리의 크기 차이를 국내 생활 소음 규제 기준과 각종 소음규제 기준에서 약 5 dB(A)로 보고 있기 때문이다. 따라서 예측식을 통하여 경보방송이 방류소음에 방해받지 않는 최대 거리를 보면 경보방송이 61.8 dB(A), 방류소음이 56.8 dB(A)로 5 dB(A)차가 나는 418 m 지점임을 알 수 있다.

4. 시뮬레이션을 이용한 경보방송의 적정 위치 선정

4.1. 경보방송의 음향파워 측정

경보방송이 전달되는 거리를 예측하기 위해서는 경보방송의 음향파워레벨을 정확히 파악할 필요가 있다. 자유공간에서 발생하고 있는 경보방송을 Fig. 11과 같이 스피커로부터 10 m 이격된 위치에서 경보방송의 음압레벨을 측정하면 다음과 같은 식을 사용하여 경보방송의 음향파워레벨을 파악해 볼 수 있다.

$$PWL = SPL + 20 \log r + 11$$

이러한 과정을 통해 분석된 경보방송의 음향파워레벨은 Fig. 12와 같다.

4.2. 시뮬레이션 방법

시뮬레이션에 사용된 Cadna-A(Computer Aided Noise Abatement)는 환경 소음의 계산, 평가와 예측 그리고 프리젠테이션을 가능케 하는 소프트웨어로 도시 전체 또는 도심 지역에 관련된 각종 음환경에 대한 시뮬레이션을 가능하게 해주는 프로그램이다.

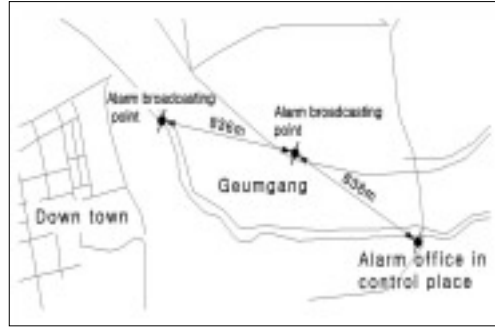


Fig. 15. Selecting a proper location of alarm broadcasting point.

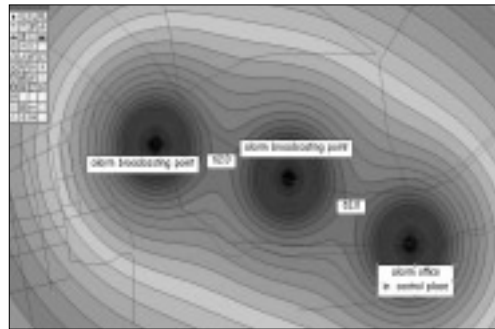


Fig. 16. SPL distribution which follows in proper location of alarm broadcasting point.

본 연구에서는 AutoCAD로 작성된 조정지 경보소 주변의 지적도를 토대로 강과 도로, 인근 지역의 도심 등 환경 요소를 적용시켜 측정 환경을 완벽히 구성하였다.

이를 Fig. 13a와 같이 Cadna-A 프로그램에 Import한 후 경보방송은 점음원(point source)으로 설정하고 ISO 9613의 기준에 따라 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 Ground absorption는 1로 입력하였으며 Fig. 13b는 조정지 경보소 및 강 주변의 환경을 나타낸 것이다.

경보방송을 제외한 도로교통소음이나 방류소음과 같은 음원은 시뮬레이션 상에서 제외시켰으나 이는 순수한 경보방송의 전달 거리를 알아보기 위함이며 경보방송간 최소 음압레벨은 방류소음의 방해받지 않는 한계거리인 418 m 지점의 음압레벨 61.8 dB(A)로 설정하였다.

4.3. 경보방송의 적정위치 선정

시뮬레이션 프로그램의 신뢰성을 검토하기 위해 경보방송의 음압레벨이 급격히 감소하여 방류소음의 방해를 받을 수 있는 400 m와 600 m 두 지점을 실측값과 비교해 보았다. 그 결과 Fig. 14와 같이 400 m는 60 dB, 600 m는 55.9 dB로 나타나 실측값에 비해 0.3~0.4 dB의 차이를 보이며 거의 일치하고 있어 시뮬레이션 프로그램을 신뢰할 수 있는 것으로 나타났으며, 이러한 신뢰성을 바탕으로 경보방송의 적정 전달거리를 예

측해 보았다.

경보방송은 조정지 경보소 한곳의 음향파워레벨 증가만으로는 오히려 소음으로 인한 주변의 피해를 끼칠 수 있어 여러개의 추가적인 경보방송지가 적당하다고 판단된다. 따라서 예측식을 통해 파악된 방류소음에 영향을 받지 않는 경보방송의 최대거리인 418 m를 참조하여 경보방송간 거리를 836 m 간격으로 Fig. 15와 같이 위치를 지정하였다.

Fig. 15의 지정 위치를 토대로 Cadna-A에 조건을 입력하여 시뮬레이션 해 본 결과 Fig. 16과 같이 경보방송간 한계거리에서 음압레벨이 62 dB(A)로 나타나 방류소음의 영향을 받지 않고 경보방송이 확실히 전달됨을 알 수 있다. 따라서 추가적인 경보방송지를 설치한다면 저수지 내의 수량 조절로 인한 댐의 방류시나 집중호우로 강의 수량이 급격히 증가하였을 경우 효과적인 경보가 가능할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 댐 방류 소음과 경보방송의 전달 및 감쇠 특성을 파악해 보았으며 이를 토대로 시뮬레이션을 통한 경보방송의 적정거리를 예측해 보았다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 1) 방류소음과 경보방송의 주파수별 특성을 살펴 보면 방류소음은 저주파수 대역에서 높은 음압레벨을 보이고 고주파수 대역으로 갈수록 감소하는 반면 경보방송은 중간대역 주파수의 음압레벨이 높은 특성을 갖고 있다. 그러나 경보방송은 거리가 멀어지면서 이러한 특성이 약해지며 저주파수 대역이 높고 고주파수 대역은 낮아지는 방류소음의 특성을 보이고 있다. 따라서 조정지 경보소에서 거리가 멀어지면 경보방송의 전달이 약해지고 방류소음의 영향이 커지게 되어 경보방송을 명료하게 인식할 수 없게 된다.
- 2) 방류소음과 경보방송의 측정 자료를 토대로 회귀분석을 해보면 방류소음의 예측식은 $y = -0.0946x^2 - 3.8661x + 69.85$ 이고 경보방송의 예측식은 $y = 1.175x^2 - 16.899x + 103.26$ 으로 설명력은 약 98~99%로 높은 상관성을 보이고 있다. 따라서 이러한 예측식을 이용하면 경보방송의 전달거리 및 최대 영향 범위를 정확하게 파악할 수 있다.
- 3) 조정지 경보소 근처에서는 경보방송이 방류소음보다 음압레벨이 높아 방류소음의 영향을 적게 받지만 400 m 지점부터 그 이후 지점으로 갈수록 음압레벨 차가 확연히 감소하여 방류소음의 영향을 받음을 알 수 있다. 경보방송이 방류소음에 의해 방해를 받지 않고 명료하게 경보방송을

인식할 수 있는 음압레벨 차를 약 5 dB(A)로 간주할 경우 예측식을 통해 경보방송의 최대영향범위가 반경 418 m임을 알 수 있다.

- 4) 예측식을 통해 파악된 경보방송의 최대 영향범위를 토대로 시뮬레이션을 이용한 경보방송의 적정위치를 파악해 본 결과 경보방송간 한계거리에서 음압레벨이 62 dB(A)로 나타나 방류소음의 영향을 받지 않고 경보방송이 확실히 전달됨을 알 수 있었다. 따라서 이러한 자료를 토대로 추가적인 경보방송지를 설치한다면 저수지 내의 수량 조절로 인한 댐의 방류시나 집중호우로 강의 수량이 급격히 증가하였을 경우 효과적인 경보가 가능할 것으로 사료된다.

위와 같이 실측과 컴퓨터 환경 시뮬레이션 프로그램을 통한 예측을 병행한다면 유사한 경보방송 설계 및 시공시 많은 도움이 될 것으로 사료된다. 또한 본 논문에서와 같이 음원의 음압레벨만 정확히 파악된다면 실측하기 어려운 복잡한 지형이나 주변 환경 조건으로 인해 기존의 예측식 만으로는 정확한 음환경을 파악하기 어렵거나 계획단계의 검토, 비용적인 문제로 실측이 어려운 곳도 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 정확히 파악될 수 있을 것으로 사료된다.

KSEE

참고문헌

1. 김재수, 소음진동학(개정 2판), 세진사, (2008).
2. 김재수, 주덕훈, 윤재현, 김기원, "댐 수차 발전기의 소음·진동 특성에 관한 연구" 대한건축학회 학술발표대회, 27 (2007).
3. 김재수, 김대균, 국정훈, "댐 수차발전기실의 건축음향 특성에 관한 연구" 대한건축학회 학술발표대회, 27 (2007).
4. 김재수, 주덕훈, 김대균, "시뮬레이션을 이용한 건설소음 피해 범위 분석" 대한건축학회 학술발표대회, 28 (2008).
5. 김재수, 주덕훈, 김대균, "시뮬레이션을 이용한 건설소음 영향권 분석" 한국소음진동공학회 학술발표대회(2008).
6. James P. C., "Handbook of Environmental Acoustic" Van Nostrand Reinhold (1994).
7. Lesile L. D., "Environmental Acoustic" McGRAW-Hill Book Company (1972).
8. Cyril M. H., "Handbook of Noise Control" McGRAW-Hill Book Company (1979).