

아파트 냉각탑의 소음 평가 및 대책

Noise Evaluation and Measures of Cooling Tower at Apartment

이 규 배*

Kyu-Bae Lee

Key Words : Cooling Tower(냉각탑), Noise Source(소음원), Noise Absorption(흡음), Noise Evaluation(소음평가)

ABSTRACT

Recently, Cooling tower are used the necessary element in a residential area and living space on the viewpoint of indoor temperature control. The purpose of this study is to assistance the comfortable environment and economical measures of noise transmission mechanism on the cooling tower.

The results show that noise evaluation interact the main factor of distance reduction and diffraction reduction. Noise criterion apply to the NC level and equivalent transmission loss about already the design of noise reduction.

1. 서 론

오늘날 냉각탑은 인간의 주거공간이나 생활공간에서 실내 공간에서의 온도제어에 대한 필수적인 요소로 작용하고 있다. 주상복합 아파트 현장에 사용하는 냉각탑은 소음 환경의 관점에서 소음원으로 자체 환경 뿐 만 아니라 인접한 사무실이나 주거 공간에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

냉각탑을 설치하는 장소는 빌딩의 일부분이 되어야 하고, 아파트 공간과 접해있는 관점에서 냉각탑의 위치는 지하실, 옥상, 중간지점을 고려하고 있으나 외부의 많은 민원발생을 접하여야 하고 내부 입주자의 불만은 늘 존속하고 있다.

냉각탑에 대한 발생소음의 전달기구를 검토하여 보다 경제적이면서 정온한 환경을 조성하는데 그 목적이 있다. 소음발생기구는 실제적인 상황을 고려하였으며, 냉각탑의 가동에 있어서 다른 지역공간으로의 소음전달에 따른 문제점을 검토하는 것인 만큼 냉각탑의 발생소음도, 전달 경로에 따른 기구학적 검토, 발생소음의 흡음과 차음, 냉각탑 주변공간에 대한 용도별 소음기준과의 검토, 소음관련 규격과 법규의 비교, 냉각탑의 소음방지대책 수립으로 한정한다.

2. 소음 관련 자료 및 기준

2.1 냉각탑 관련자료

* 안산공과대학

E-mail : kblee@act.ac.kr

Tel : (031) 490-6161, Fax : (031) 494-1972

냉각탑의 설치 위치에 따른 데이터는 기존 설계된 크기, 벽체구성 및 주변현황에 대한 자료는 건설사에서 제시된 것으로 한다. 냉각탑의 설치 위치는 옥상, 벽체구성은 방음벽으로 구성하고 가로x세로x높이는 10.5x18.0x5.53m이다.

냉각탑의 제원과 방진시스템은 표1과 같다. 표준능력은 입구공기의 습구온도 27℃, 순환수의 입구온도 32℃상태(1냉각톤은 3900kcal/hr)이고, 냉각탑과 팬에 따라 기존 설계된 형식은 대향류, 용도는 상가동, 바닥과의 방진은 스프링 방진기, 수량은 2대이다.

표 1 냉각탑의 제원

항 목	제 원	
형식/풍량	ctr-600/3750m ³ /min	
순환수량/높이/직경	7800l/min/5680/6700mm	
자중/운전중량	4800/8700kgf	
송풍기	외경/전동기	φ3400mm/15kWx4p
	표준전원	3φ220/380/440V/60Hz
	구동/Fan	V-belt/ Propeller
접속관	순환수입/출구	10B:250A/20B:250A
	자동/수동급수관	2B(50A)/2B(50A)
	Over flow/drain	4B(100A)/2B(50A)
구조	충진재/살수장치	염화비닐수지/AL 합금
	Eliminator	AL판 or 염화비닐수지
	Casing	FRP, Louver:none

냉각탑의 발생소음도는 제작사에서 제시한 자료로 확인하였고, 시험장소는 될 수 있는 대로 평탄하고 바닥면 이외로부터 반사음 영향이 충분히 작은 장소로서 측정대상의 음과 압소음과의 차이가 10dB(A)이상인 장소로 한다.

측정 조건과 위치에서 KS, ISO 측정방법을 만족하며, 소음도의 크기에 관계없이 소음도의 값은 느림과 보정회로는

A특성으로 하고, 측정높이는 1.5m이다. DF값은 77dB(A), 2m에서 72dB(A), 16m에서 63dB(A)이다. 냉각탑의 벽체를 구성하는 재질은 벽돌 0.5B 쌓기, 90~300H이고, 공기흡입구는 기류변경방식을 적용하였다.

2.2 소음 관련 규준

일본의 소음환경기준은 3개 지역 지역에 따라 구분하였고, 시간대별로 야간보다 조석이 5폰, 조석보다 주간이 5폰이 높은데, 야간의 기준이 최저 레벨이며, 요양시설의 집합 등 특히 조용해야할 지역은 35폰, 주거지역은 40폰, 주거, 상업, 공업 등의 병용지역은 50폰로 기준으로 하고 있다.

국내 환경보전법상 소음기준은 일반 지역과 도로변 지역으로 크게 구분하고 각각의 지역에 대하여 가, 나, 다, 라 지역으로 나누어 낮(06:00~22:00)과 밤(22:00~00:00)으로 구분하고 있다. 주거전용지역이 가장 기준이 엄격하여 밤 40, 낮 50 LeqdB(A)이고 상가지역에서는 밤 45, 낮 55 LeqdB(A)이다.

NC곡선에 따른 1/1 옥타브 밴드별 소음기준과 dB(A)은 표2와 같다.

표2 NC곡선에 따른 밴드별 소음기준과 dB(A)

NC레벨	1/1 옥타브 밴드 중심주파수(Hz)								dB(A)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
NC55	74	67	62	58	56	54	53	52	62.34
NC50	71	64	58	54	51	49	48	47	57.91
NC45	67	60	54	49	46	44	43	42	53.22
NC40	64	56	50	45	41	39	38	37	48.84
NC35	60	52	45	40	36	34	33	32	44.07
NC30	57	48	41	35	31	29	28	27	39.63
NC25	54	44	37	31	27	24	22	21	35.52
NC20	51	40	33	26	22	19	17	16	31.29

생활소음 규제기준은 주거전용, 주거, 준주거지역과 상업지역, 준공업지역으로 구분하고, 시간대별로는 조석, 주간, 야간으로 구분하여 기준을 제시하고 있으며, 심야의 계속적 또는 반복적 소음의 기준이 가장 낮으며 주거전용지역에서 45이하이고 상업지역은 55이하이다.

실내소음 권장값으로 자세하게 규정한 ASHRAE 핸드북의 32장에서 볼 수 있다.

2.3 관련이론

발생한 소리가 장애물에 입사하면 그 에너지의 일부는 반사, 흡수 및 투과의 과정을 동시에 가지게 된다. 입사음의 세기를 I_i , 투과음의 세기를 I_t 라고 할 때 음의 투과율 τ 는 다음 식과 같이 표현된다.

$$\tau = \frac{I_t}{I_i}$$

투과한 에너지의 양을 입사한 에너지의 양으로 나눈 값을 투과율로 정의하고 있다. 입사음의 음압도 L_i , 투과음의 음압도를 L_t 라 할 때 투과손실(TL, transmission loss)은 다

음 식으로 표현된다.

$$TL = L_i - L_t$$

$$L_i = 10 \log \left(\frac{I_i}{I_0} \right), \quad L_t = 10 \log \left(\frac{I_t}{I_0} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{따라서, } TL &= 10 \log \left(\frac{I_i}{I_0} \right) - 10 \log \left(\frac{I_t}{I_0} \right) \\ &= 10 \log \left(\frac{I_i/I_0}{I_t/I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{I_i}{I_t} \right) \end{aligned}$$

투과손실을 투과율 τ 에 따라 표시하면,

$$TL = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \text{ [dB]}$$

역으로 투과율을 표현하면 TL에 따라 다음과 같다.

$$\tau = 10^{\left(\frac{-TL}{10} \right)}$$

소음에 노출된 대상체는 단일 종류의 재질로 구성되는 경우는 극히 드물기 때문에 여러 가지 재료로 구성된 경우는 평균투과율과 총합투과손실로 접근하게 된다. 여러 종류로 구성할 경우 투과율 τ_i 인 벽체의 각각의 면적 S_i 일 때 평균투과율 τ_{ave} 와 총합투과손실 TL_t 는 다음과 같다.

$$\tau_{ave} = \frac{\sum S_i \tau_i}{\sum S_i}$$

$$TL_t = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_{ave}} \right) = 10 \log \left(\frac{\sum S_i}{\sum S_i \tau_i} \right)$$

흡음이란 음향학에서 음이 어떤 물질의 표면에 부딪혔을 때 발생하는 에너지 손실로 나타내고 있다. 이러한 표현은 흡수의 개념과는 차이가 있다. 임의의 소리가 장애물의 표면에 닿았을 때 그 일부는 반사와 투과가 되고 나머지는 흡수한다.

음에너지에서 입사음과 반사음과 관련하여 흡음을 나타내는 흡음률(absorption ratio) α 는 입사음의 세기 I_i , 반사음의 세기 I_r 일 때 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{I_i - I_r}{I_i} = 1 - \frac{I_r}{I_i}$$

방음시스템을 고려할 때는 흡음과 차음에 대한 기구학적으로 적용이 충분할 때 검토하여야 할 것이다. 본 연구에서의 소음방지 시스템은 차음을 근본적으로 접근하며 이에 대한 흡음을 효과적으로 적용하고자 한다.

소음저감대책에서 방음벽의 형태를 적용하여 평가한 후에 엔클로저(enclosure)가 요구되는지는 판단하기로 하고, 방음벽의 형태는 흡음형과 반사형으로 구분할 수 있고, 흡음형을 기본 형태로 한다.

회절감쇠치는 소음원과 수음원 사이에 경계로서의 무한 방음형태가 존재한다고 가정한 Fresnel 수에 따라 산정한 감쇠량을 적용하기로 한다.

Fresnel 수는 직접음에 대한 N_1 과 반사음에 의한 N_2 를 구

한 후 직접음의 회절감쇠값 L_{d1} 과 반사음의 회절감쇠값 L_{d2} 으로 전체 회절감쇠값 L_d 는 다음 식으로 구한다.

$$L_d = -10 \log(10^{-L_{d1}/10} + 10^{-L_{d2}/10})$$

소음 방지재료에 따른 소음특성을 중요한데 소음을 방지하기 위한 소재로는 흡음재와 차음재로 구분할 수 있으며 이에 대한 특성을 정리 요약하면 표3과 같다.

표3 방음재의 방음 방진 특성

재료명	방음 방진 특성
Concrete	차음재, 부가하중재: 고밀도 재질로써 차음재 역할이 양호하고 부가하중(added mass)의 재질로 광범위하게 활용
PE Film	방수용도
Isopink	격리구조재, 차음재: 부가하중 베이스와 벽체와의 격리 구조재로 활용하며 단열성과 차음성이 양호
Glass Wool	흡음재: 다공질층을 가진 섬유재질로써 흡음성이 우수하며 대상주파수에 따라 사용특성의 선정이 자유롭고 밀도에 따른 특성차이가 크다.
Pb Plate	차음재: 고밀도 재질로써 차음성이 탁월
방진방음판넬	방진재, 차음재: 내수합판에 유리섬유나 방진고무를 적용하여 순간적이고 지속적인 소음과 진동을 차단, 흡수하며 건물의 수명 연장 및 쾌적한 주위 환경을 지속적으로 유지시켜 준다.
Damping sheet	제진재: 흡음성은 거의 없고 차음재질로 일부 적용되지만 구조체 전달소음의 방지에 탁월한 효과

3. 발생 소음도 산정 및 평가

장비에 따른 발생소음도는 ASHRAE의 발생소음도 산정 방식을 적용하여, 각각의 장비에 따른 소음도를 산정하였고 냉각탑에서 구성한 장비의 조합에 대하여 그 레벨을 유도하였다.

표4 냉각탑의 주파수 대역별 발생소음도

송풍기 형식	1/1 옥타브 밴드 중심 주파수(Hz)							OA dB
	63	125	250	500	1000	2000	4000	
Airfoil BW-L	78.18	78.18	80.18	75.18	74.18	69.18	61.18	84.84
Airfoil curved	82.18	84.18	85.18	80.18	79.18	74.18	66.18	89.89
Forward	93.18	89.18	85.18	81.18	74.18	71.18	69.18	95.34
Radial blade	91.18	93.18	88.18	85.18	83.18	78.18	76.18	96.72
Pressure blower	101.18	102.18	94.18	91.18	91.18	86.18	84.18	105.5

냉각탑 주변아파트의 위치에 따른 NC 적용하기 위하여 냉각탑의 주변에 여러 형태의 아파트가 위치함에 따라 표준형 아파트로 설정하였고, 창문의 차음도는 열린 창문으로 0 dB이다.

냉각탑이 가동하는 적용계절은 하계로 하였고, 실내 적용의 기준에 적합한 NC(Noise criterion)레벨은 35로 44.07 dB(A)에 해당한다. 부지 경계선에서의 소음평가는 설치 형태에 따라 의미가 없고 법적인 규정이므로 여기서는 제외한다.

냉각탑에 따른 1/1 옥타브 밴드 주파수 대역별 발생소음도와 청감보정에 따른 소음도는 표5와 같다.

표5 냉각탑의 발생소음에 대한 청감보정

송풍기 형식	1/1 옥타브 밴드 중심 주파수(Hz)							OA dB
	63	125	250	500	1000	2000	4000	
Airfoil BW-L	51.98	62.08	71.58	71.98	74.18	70.38	62.18	78.49
Airfoil curved	55.98	68.08	76.58	76.98	79.18	75.38	67.18	83.52
Forward	66.98	73.08	76.58	77.98	74.18	72.38	70.18	82.73
Radial blade	64.98	77.08	79.58	81.98	83.18	79.38	77.18	88.13
Pressure blower	74.98	86.08	85.58	87.98	91.18	87.38	85.18	95.58
Manufacture co.						68: Dm	72: 2m	77: DF

냉각탑의 위치에 따른 발생소음도와 요구감음량 산정하기 위하여 ASHRAE에 근거한 발생소음도에서 실제적인 현상을 고려하여 Airfoil curved를 주파수 대역별로 산정하고, 적용NC레벨과 비교하여 냉각탑 2대가 동시에 설치되는 경우로 요구감음량을 산정하였다.

표6 요구감음량을 산정

냉각탑	발생소음도 dB(A)	1/1 옥타브 밴드 중심주파수 (Hz)						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
1 set	78.49	51.9	62.0	71.5	71.9	74.1	70.3	62.1
	NC35	33.8	35.9	36.4	36.8	36.0	35.2	32.0
2 sets	81.49	54.9	65.0	74.5	74.9	77.1	73.3	65.1
	요구치34.42	21.1	29.1	38.1	38.1	41.1	38.1	33.1

4. 음선에 대한 소음평가

4.1 냉각탑에서의 투과손실

냉각탑에 대한 기존의 벽체는 경량벽체이며 천정은 없는 구조로 설계되어 있다. 음선(sound ray)에 대한 투과손실을 산정할때의 가정은 질량법칙이 존재하는 구간에서 시스템이 유지하는 것으로 간주한다. 설계상에서 벽체부는 표준형 방음벽으로 구성하고 천정부분에서는 음의 직진성과 회절성이 지배되며 출입문은 방화문으로 구성되어 있는 것을 고려하였다. 벽체부에서는 다음과 같이 평가한다.

표7 냉각탑에서의 소음평가

No	항 목	1/1 옥타브 밴드 중심 주파수(Hz)						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
1	0.5B쌓기(90mm)	30.0	35.4	40.8	46.2	51.6	57.1	62.5
2	1.0B쌓기(180mm)	35.4	40.8	46.2	51.6	57.1	62.5	67.9
3	암면(50mm)	-	0.205	0.736	0.803	0.860	0.811	0.698
4	유공발라이트T6	7.7	13.1	18.5	23.9	29.3	34.8	40.2
	투과손실	43.1	53.9	64.7	75.5	86.4	97.3	108.1
	흡음력 m2	-	3.966	14.241	15.538	16.641	15.692	13.506
	실내소음 저감	2.0	4.7	9.2	9.5	9.7	9.5	9.0
	correction factor	5	5	5	5	5	5	5
	총합투과손실	40.1	53.6	68.9	80.0	91.1	101.8	112.1
	등기투과손실	18.0	24.1	31.0	36.0	40.9	45.8	50.4

4.2 음선에 의한 소음저감도

냉각탑에 측면부에 방음벽을 적용하고 주변아파트에서 층별로 소음을 평가하였으며, 거리감쇠량은 점음원으로 가정

하였고 실제로는 계산된 값보다 다소 작은 것으로 나타날 것으로 예상할 수 있다.

표8 거리감쇠량의 평가

항 목	1/1 옥타브 밴드 중심 주파수(Hz)						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
요구감쇠량	21.1	29.1	38.1	38.1	41.1	38.1	33.1
거리감쇠량6층	14.64	14.64	14.64	14.64	14.64	14.64	14.64
거리감쇠량7층	14.48	14.48	14.48	14.48	14.48	14.48	14.48
거리감쇠량8층	14.35	14.35	14.35	14.35	14.35	14.35	14.35
거리감쇠량9층	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26	14.26
거리감쇠량10층	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20
거리감쇠량11층	14.19	14.19	14.19	14.19	14.19	14.19	14.19
거리감쇠량12층	14.22	14.22	14.22	14.22	14.22	14.22	14.22
거리감쇠량13층	14.29	14.29	14.29	14.29	14.29	14.29	14.29
거리감쇠량14층	14.39	14.39	14.39	14.39	14.39	14.39	14.39
거리감쇠량15층	14.53	14.53	14.53	14.53	14.53	14.53	14.53
거리감쇠량16층	14.69	14.69	14.69	14.69	14.69	14.69	14.69

거리감쇠량 평가에서 거리감쇠량은 요구감쇠량보다 매우 작음을 알 수 있는데, 이는 거리감쇠에 따라서는 반드시 방음대책이 부족함을 나타낸다. 따라서 회절감쇠값을 요구하게 된다. 회절감쇠량은 무한평면으로 가정하였으며 방음벽의 높이가 5.5와 7.5 m 일 때 그 결과는 표로 정리하였다.

표9 회절감쇠량의 평가(h=5.5m)

항 목	1/1 옥타브 밴드 중심 주파수(Hz)						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
요구감쇠량	21.1	29.1	38.1	38.1	41.1	38.1	33.1
거리감쇠 제외	7	15	24	24	27	14	19
회절감쇠량6층	8.78	11.27	13.38	15.35	16.93	18.27	18.99
회절감쇠량7층	8.62	10.84	12.95	14.89	16.50	17.90	18.76
회절감쇠량8층	8.45	10.37	12.48	14.38	16.05	17.51	18.48
회절감쇠량9층	8.26	9.87	11.92	13.87	15.58	17.11	18.42
회절감쇠량10층	8.06	9.08	11.40	13.35	15.10	16.69	18.06
회절감쇠량11층	7.85	8.85	10.86	12.81	14.60	16.24	17.68
회절감쇠량12층	0	0	0	0	0	0	0

표10 회절감쇠량의 평가(h=7.5m)

항 목	1/1 옥타브 밴드 중심 주파수(Hz)						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
요구감쇠량	21.1	29.1	38.1	38.1	41.1	38.1	33.1
거리감쇠 제외	7	15	24	24	27	14	19
회절감쇠량6층	8.34	10.41	12.52	14.51	16.27	17.70	18.62
회절감쇠량7층	8.19	9.93	12.04	14.05	15.78	17.28	18.56
회절감쇠량8층	8.01	9.05	11.52	13.53	15.27	16.83	18.18
회절감쇠량9층	7.81	8.83	10.97	12.95	14.74	16.35	17.79
회절감쇠량10층	7.59	8.60	10.39	12.36	14.19	15.87	17.35
회절감쇠량11층	7.35	8.35	9.31	11.75	13.61	15.34	16.90
회절감쇠량12층	7.11	8.09	9.04	11.12	13.02	14.79	16.41
회절감쇠량13층	6.85	7.82	8.76	10.47	12.39	14.21	15.89
거리감쇠량14층	6.55	7.54	8.47	9.35	11.74	13.60	15.33
거리감쇠량15층	0	0	0	0	0	0	0

4.3 방음설계

냉각탑의 각 위치에 따른 소음평가에 대한 결과 데이터를

근거로 하여, 500Hz를 기준으로 하여 가장 높은 방음형의 수준인 A형, B형의 순으로 분리하여 적용하기로 한다.

표11 방음 형태

초과레벨	방음설계 형식
A형 15 dB 이상	방음벽의 높이 : 7.5 m 이상 냉각탑 천정부의 폐쇄 : 냉각효율의 저하를 방지하기 위하여 입출구 소음기 적용 냉각탑 측면부의 폐쇄 : 냉각효율의 저하를 방지하기 위하여 입출구 소음기 적용
B형 15 dB 이하	방음벽의 높이 : 7.5 m 이하 냉각탑 측면부의 폐쇄 : 냉각효율의 저하를 방지하기 위하여 이중벽 적용

5. 결론

냉각탑에서 발생하는 소음레벨은 청감보정한 후 최저값 78dB(A)에서 최고값 95dB(A) 사이에 분포하고 있고, 이를 냉각탑의 위치에 따라 용도에 따른 NC레벨 35를 적용하고 요구감쇠량을 산정하였다.

냉각탑과 인근 아파트의 위치에 따른 소음평가는 우선 거리감쇠치와 회절감쇠치가 주요한 인자로 작용함을 알 수 있고, 이를 NC기준치와 기존 설계된 등가투과손실을 고려하여 소음을 평가하였고, 500Hz를 기준으로한 바 최고값은 27dB 이 초과됨을 알 수 있으며, 적용기준을 만족할 수 있는 대책이 수립 가능함을 알 수 있다.

방음형의 수준을 높은 순으로 A형과 B형으로 분리하여 적용하고, 실제적으로 냉각탑이 가동했을 때 보다 면밀한 소음측정과 분석을 통하여 보완대책을 총체적으로 적용한다면 주어진 조건과 상황에서 용도에 부합하는 정당한 소음환경이 가능함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. KS A ISO 11201 음향-기계 및 설비류에서 방사되는 소음-작업 위치 및 그 외 지정 위치에서의 방사 음압 레벨 측정 방법-반사면상 준자유 음장에서 실용 측정 방법, 2002-08-31
2. KS A ISO 12001 음향-기계 및 설비의 방사 소음-소음 시험 규정의 작성 및 제시에 관한 규정, 2003-02-14
3. KS A ISO 1996-1~3 음향-환경 소음의 표시 및 측정방법-제1부: 기본량 및 측정절차, 2004-08-12
4. KS A ISO 7574-1~4 음향-기계류 및 설비의 표시 소음 방사값의 결정과 검증을 위한 통계적 방법-제1~4부, 2003-02-14
5. KS C IEC 60034-9 회전기기-제9부: 소음 한도, 2002-05-01
6. ASHRAE handbook, "Sound and Vibration Control chap.32", 1984
7. 정일록 외3, 최신 소음진동 이론과 실무, 신광문화사
8. Rechar K.Miller, "Noise Control Solutions", 1984
9. Randall.F.Barron, "Industrial noise control and acoustics", 2003