

노후하수관 워터젯분사장치의 분사조건에 따른 열전달특성에 관한 연구

노 흥 구[†], 임 경 빈^{*}, 노 종 호^{**}, 이 영 기^{**}, 이 성 철^{**}, 고 준 빈^{*}

^{*}한밭대학교, ^{**}(주)하이드로메틱스

A Study on the Heat Transfer Characteristics of Water-Jet-Impingement

[†]Hongkoo Roh, ^{*}Kyungbin Lim, ^{**}Jongho Noh, ^{**}Youngki Lee, ^{**}Sungcheol Lee, ^{*}Junbin Ko

ABSTRACT : The study aims to analyzed and identify the heat transfer characteristics of water-jet-impingement with use of 3-D numerical-analysis in order to design the old water duct. The temperature comparison processes were done with various duct flows. In addition, the optimal conditions of water-jet-impingement were proposed as jet-pressure, the temperature on the beat plane, and so on

Key words: Water-Jet-Impingement(워터젯분사장치), Heat Transfer(열전달), Duct flow(덕트 유동)

1. 서론

노후하수관 전면교체장비내에서 워터젯의 역할은 추진선도관이 회전하면서 노후하수관을 파쇄할 때, 비트와 콘크리트 노후하수관 마찰면사이에서 발생하는 뜨거운 마찰열을 냉각하는 기능을 담당하고 있다. 따라서 워터젯을 적절하게 설계개발하기 위해서는 워터젯의 분사압력, 분사유량 및 마찰열의 정도, 그리고 그에 따른 비트면의 온도분포 등을 사전에 예측해보아야 한다. 이를 위해서는 가상의 컴퓨터 공간에서 시뮬레이션해 보는 방법이 가장 좋은 방법이다. 본 시뮬레이션을 수행하는 데, 실제 워터젯 분사장치의 실물에 가깝게 시뮬레이션 모델을 설정해야 하기 때문에 실제 설계된 워터젯 분사장치에 대한 형상 및 구조를 조사해 보았다. 상기의 그림 1에 보이는 바와 같이, 선도관의 한 부분에 노후하수관을 파쇄하는 비트가 설치되었다. 이 비트는 콘크리트 노후하수관을 파쇄하는 비트날이 서있는 데, 이 비트날의 피치는 대략 직경 0.08m를 차

지한다. 이 비트날을 냉각하는 워터젯이 있고, 비트날과 워터젯의 거리는 약 0.1m 정도 된다. 이 워터젯의 노즐은 직경 0.005m로 형성되며 10 ~ 50bar 정도의 분사압력으로 냉각수가 분사되어 마찰열로 뜨거운 비트면에 분사되어 비트면을 냉각하게 된다. 노즐에서 비트면에 분사될 때, 분사영역은 대략 비트날의 피치인 직경 0.08m를 커버할 것으로 조사됐다.

실제적으로, 분사노즐은 소형 타원형이며 여기에서 분사되는 냉각수는 비트면을 타격할 때, 대략 소경 0.01m, 대경 0.005 정도의 타원형 영역이 될 것으로 추정되나, 본 시뮬레이션에서는 이를 원형으로 모델링하여 냉각추이를 파악하고자 하였다. 이는 실제 상황과 약간의 오차를 가질 것이나, 시뮬레이션 모델을 실제 상황으로 묘사하는 데 치루어야 할 대가로 볼 것이다.

비트면은 콘크리트 노후하수관을 파쇄할 때, 경우에 따라 달리하나 대략 1kW에서 20kW까지의 마찰열이 발생할 것으로 추산

되고 있다. 본 연구에서는 설계된 기존의 워터젯 분사장치에 대해 시뮬레이션 해보고, 분사압력 변화 및 마찰열량 변화를 하면서 적절한 워터젯 분사장치의 분사압 및 마찰열량을 산정하여 개선된 워터젯 분사장치의 설계 데이터를 확보하는 데 그 목적이 있다.

2. 연구모델



Fig. 1 Real beat plane with water-jet-impingement

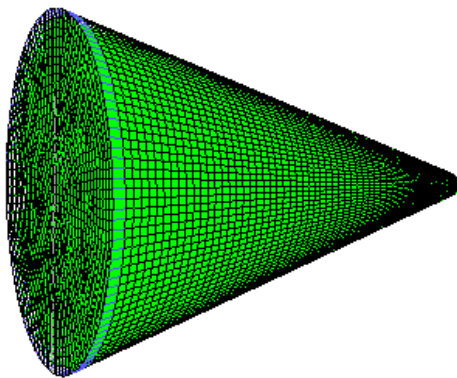


Fig. 2 Mesh of simulation model

그림 2에 나타낸 바와 같이, 기존의 워터젯 분사장치와 설계치수 및 형상 등을 거의 유사하게 모델링하여 분사장치의 시뮬레이션 해석모델을 3차원으로 설정하여 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 본 시뮬레이션 해석을

위해 1500,000여개의 격자를 사용하고, 10여 시간의 컴퓨터 해석시간이 소요되었다.

3. 연구결과 및 고찰

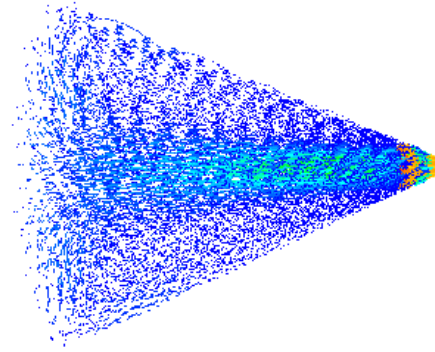


Fig. 3 Flow patterns on the water-jet-impingement

그림 3은 워터젯 분사장치에서 노즐부에서 분사된 냉각수의 흐름 유동분포를 나타낸다. 노즐부에서 분사된 냉각수는 10bar의 분사압력에서는 대략 45m/s의 빠른 분사속도를 가지게 된다. 이 분사속도는 그림에 보이는 바와 같이 그 흐름의 강도를 유지하며 코어를 형성하고 있다. 따라서 비트면의 센터에서 냉각수 충돌분사강도가 가장 크므로 비트면의 센터의 온도가 가장 낮을 것으로 예측해 볼 수 있다. 노즐부에서 분사는 주변으로 확산이 일어나 기하학적으로 대칭적 유동분포를 보인다. 이 코어주변 냉각수 유동은 코어보다 그 속도 세기가 20% 정도 축소되어 약한 흐름을 내고 있다. 따라서 비트면의 주변으로 갈수록 냉각정도가 약하고 온도가 증가할 것으로 예측되며 결론적으로 비트면의 가장자리가 가장 온도가 높을 것으로 사료된다.

그림 4는 워터젯 분사장치의 냉각수 분사압력분포를 나타내고 있다. 이는 워터젯의 특성상 분사압력이 높고 분사후 압력손실정도를 예측해 분사펌프의 정압을 산정하기 위함이다. 노즐에서 10bar의 분사압력으로

분사후 바로 압력이 소실되고 분사속도에너지로 바뀔을 알 수 있다. 압력손실량은 대략 7000pa로서 0.07bar정도가 분사속도에너지로 변함을 알 수 있다. 그림 5는 비트면에서의 온도분포를 나타낸다. 그림 3과 그림 4에서 예측된 바와 같이, 비트면에서의 온도분포는 센터에서 가장 온도가 낮고 주변으로 갈수록 온도가 증가함을 보여준다. 이는 센터에서 분사속도강도가 가장 크고 주변으로 갈수록 강도가 줄어들기 때문이다. 비트면의 마찰열이 2kW일 때, 센터에서 온도는 31.5°C, 주변으로 갈수록 온도가 낮아지다가 가장자리에서 최대온도 37.3°C로 대략 6°C정도 증가하였다.

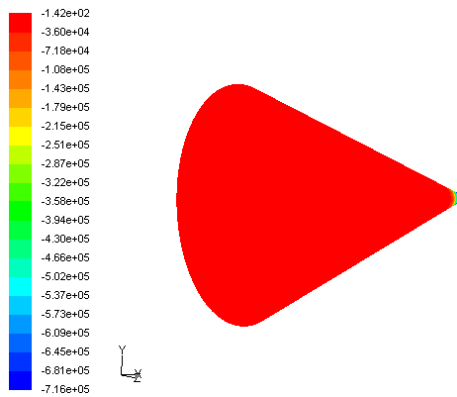


Fig. 4 Pressure distribution of water-jet-impingement

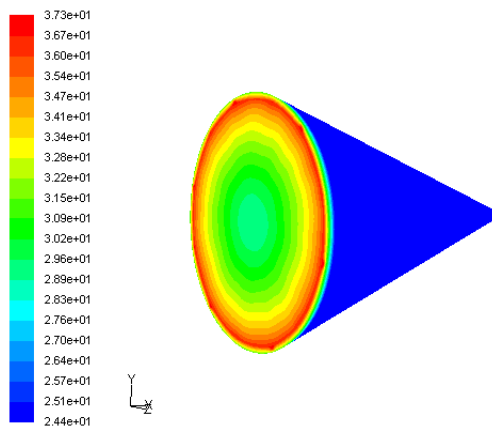


Fig. 5 Temperature distribution on beat plane

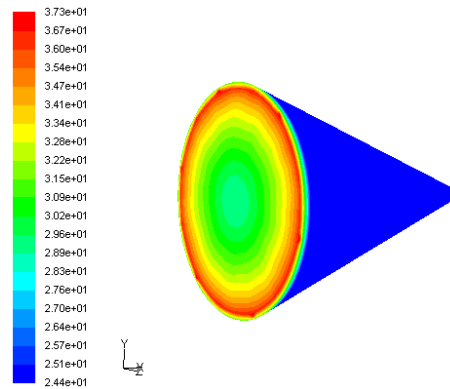


Fig. 6 Temperature distribution on beat plane with water-jet-impingement

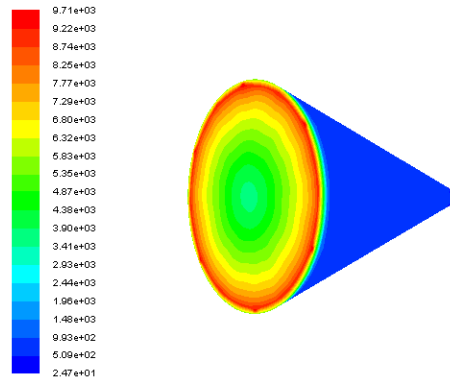


Fig. 7 Temperature distribution on beat plane with air-jet-impingement

워터젯 분사를 하지않고 에어젯으로 분사할 때, 비트면의 마찰열이 2kW정도 나면 대략 비트면의 온도형성이 어떻게 될지를 예측하고자 한다. 그림 6은 비트면에 워터젯으로 냉각수분사할 때의 온도분포를 나타내고, 그림 7은 워터를 사용하지 않고 일반 공기분사했을 때를 가정한 온도분포이다. 워터젯을 사용하면 비트면의 온도는 안전하나 에어로 바꾸면 온도가 9710°C로 올라가 비트면이 녹아내릴 수 있게 될 것으로 워터젯의 분사는 효율성이 있으며 필수장치임을 알 수 있다.

비트면의 마찰열 변화에 따른 비트면 온도분포를 예측하고자 한다. 비트가 노후하 수관을 파쇄할 때, 노후하수관은 콘크리트,

자갈, 철근 등으로 견고히 뭉쳐 있으므로
 파쇄시 큰 마찰열이 예상되며 대략 수십
 kW까지 마찰열이 발생할 것으로 추산된다.
 그러므로 여기서 마찰열이 5kW, 10kW,
 15kW 및 20kW까지 커질 때, 비트면 온도
 분포를 예측하고자 한다.

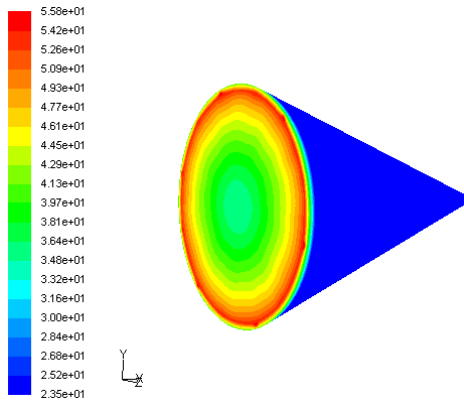


Fig. 8 Temperature distribution on
 beat plane heating with 5W

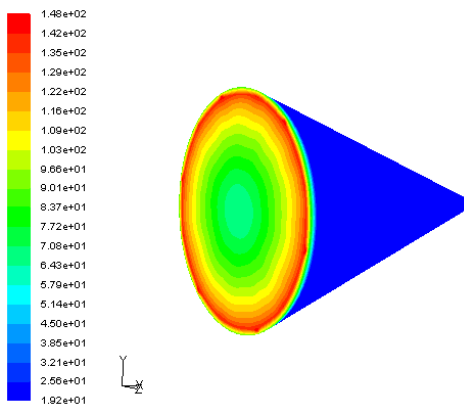


Fig. 9 Temperature distribution on
 beat plane heating with 20W

비트면의 마찰열이 5kW, 10kW, 15kW
 및 20kW으로 커질 때, 센터에서 온도는
 41.5°C, 54.4°C, 69.0°C, 83.7°C으로 점차 증
 가하며, 주변으로 갈수록 온도가 낮아지다
 가 가장자리에서 최대온도가 55.8°C, 86.6°C,
 11.7°C, 148°C로 증가하였다. 비트면의 온도
 한계가 100°C이므로 비트면의 마찰열은
 15kW이하이면 안전하고, 15kW이상이면 위

험하므로 분사압력을 증가시켜야 함을 알
 수 있다.

비트면의 마찰열이 5kW로 작을 때, 워터
 젯의 분사압력을 얼마까지 낮출 수 있는 지
 와 비트면의 마찰열이 20kW로 커질 때, 워
 터젯의 분사압력을 얼마까지 증가시켜야 비
 트면이 뜨겁지 않고 안전한 노후하수관 파
 쇠를 담당할 수 있을 지를 조사하고자 한
 다.

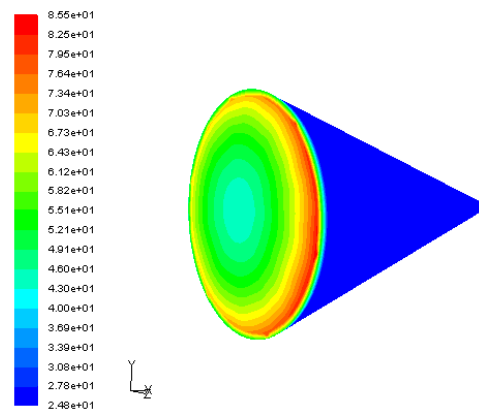


Fig. 10 Temperature distribution on
 beat plane jet-impinged with 5bar

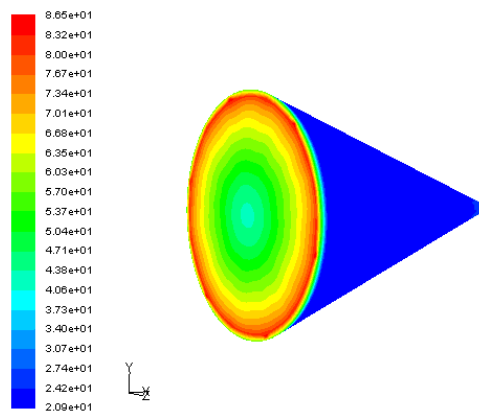


Fig. 11 Temperature distribution on
 beat plane jet-impinged with 20bar

비트면의 마찰열이 5kW로 작을 때, 분사
 압력을 5bar로 낮추었을 경우에 비트면의
 최대온도는 85.5°C로 증가하고, 분사압력을

3bar로 더욱 낮추었을 경우에는 비트면의 최대온도가 119.0°C로 높아졌다. 따라서 5kW시에는 분사압력은 5bar정도 유지해야 함을 알 수 있다. 비트면의 마찰열이 20kW로 아주 커질 때, 분사압력을 20bar로 증가하였을 경우에 비트면의 최대온도는 112.0°C로 낮아지고, 분사압력을 40bar로 더욱 높였을 경우에는 비트면의 최대온도가 86.5°C로 낮아져 안전권에 들어섰다. 따라서 20kW시에는 분사압력은 40bar이상 높여줘야 한다.

4. 결 론

노후하수관 전면교체장비내에서 워터젯 분사장치의 열유동 컴퓨터 시뮬레이션이 이루어 졌다. 여러 가지 케이스별로 시뮬레이션을 시행한 후 다음과 같은 결론이 나왔다. 분사속도는 흐름의 강도를 유지하며 코어를 형성한다. 따라서 비트면의 센터에서 냉각수 충돌분사강도가 가장 크므로 비트면의 센터의 온도가 가장 낮을 것으로 예측해 볼 수 있다. 노즐부에서 분사는 주변으로 확산이 일어나 기하학적으로 대칭적 유동분포를 보인다. 이 코어주변 냉각수 유동은 코어보다 그 속도 세기가 20% 정도 축소되어 약한 흐름을 내고 있다. 따라서 비트면의 주변으로 갈수록 냉각정도가 약하고 온도가 증가할 것으로 예측되며 결론적으로 비트면의 가장자리가 가장 온도가 높을 것으로 사료된다. 노즐에서 10bar의 분사압력으로 분사후 바로 압력이 소실되고 분사속도에너지로 바뀌게 된다.

압력손실량은 대략 7000pa로서 0.07bar정도가 분사속도에너지로 변환을 알 수 있다. 온도분포는 센터에서 가장 온도가 낮고 주변으로 갈수록 온도가 증가함을 보여준다. 이는 센터에서 분사속도강도가 가장크고 주변으로 갈수록 강도가 줄어들기 때문이다. 비트면의 마찰열이 2kW일 때, 센터에서 온도는 31.5°C, 주변으로 갈수록 온도가 낮아지다가 가장자리에서 최대온도 37.3°C로 대략 6°C정도 증가하였다.

워터젯을 사용하면 비트면의 온도는 안전하나 에어로 바꾸면 온도가 9710°C로 올라가 비트면이 녹아내릴 수 있게될 것으로 워터젯의 분사는 효율성이 있으며 필수장치이다. 비트면의 마찰열이 5kW, 10kW, 15kW 및 20kW으로 커질 때, 센터에서 온도는 41.5°C, 54.4°C, 69.0°C, 83.7°C으로 점차 증가하며, 주변으로 갈수록 온도가 낮아지다가 가장자리에서 최대온도가 55.8°C, 86.6°C, 11.7°C, 148°C로 증가하였다. 비트면의 온도한계가 100°C이므로 비트면의 마찰열은 15kW이하이면 안전하고, 15kW이상이면 위험하므로 분사압력을 증가시켜야 한다. 5kW시에는 분사압력은 5bar정도 유지해야 한다. 비트면의 마찰열이 20kW로 아주 커질 때, 분사압력은 40bar이상 높여줘야 한다.

참 고 문 헌

1. 노홍구, 임경빈, 열전달, 보성각, 2008
2. 하이드로메틱스, 노후하수관장치개발, 연구보고서, 2008
3. Pantankar, Numerical Fluid Flow, Mchill, 2002