



고압가스배관의 기계적 충격(타공사)에 대한 실험적 연구

이경은 · [†]김정환 · 하유진 · 길성희

안전연구실, 한국가스안전공사

(2017년 10월 18일 접수, 2017년 11월 15일 수정, 2017년 11월 16일 채택)

An Experimental Study on the Mechanical Impact (Third Party Damage) of High Pressure Gas Pipe

Kyung-eun Lee · [†]Jeong Hwan Kim · Yu-jin Ha · Seong-he Kil

Safety Research Division, Korea Gas Safety Corporation

(Received October 18, 2017; Revised November 15, 2017; Accepted November 16, 2017)

요약

가스배관 사고의 대표적인 원인 중 하나는 기계적 충격(타공사 등)으로 인한 사고이다. 이는 국내 주요 산업 단지에 매설되어 있는 고압가스배관의 대다수가 매설 시기가 20년 이상인 노후 배관이기 때문에 사고 발생 시 별도의 검사 및 보강 시간 없이 대형 사고로 이어질 가능성이 높다. 본 연구에서는 타공사(굴착공사) 실험을 통해 기계적 충격 시 배관에 미치는 결함 정도에 대해 연구하였다. 실제 산업단지에서 굴착공사 시 사용되고 있는 21 ton 굴착기와 ASTM A106 Grade.B와 ASTM A53 Grade.B 배관을 이용해 타격실험을 진행하였다. 그 결과 굴착기 작업에 이용되는 버킷 중 톱니 버킷 일 때 결함의 정도가 더 컸으며, 매설되어 있는 배관의 관경이 작을수록 결함의 깊이 및 길이가 큰 것을 확인하였다. 굴착기 작업 중 타격 높이는 매설 배관의 결함에 아무런 영향을 미치지 않는 것을 확인하였다.

Abstract - One of the main causes of gas pipeline accidents is mechanical impact(third party damage). The majority of high pressure gas pipelines buried in major domestic industrial complexes are old pipes which have been operated over 20 years. Therefore, if an accident occurs, there will be a full scale accident because there is no additional inspection and reinforcement time. In this study, the defects on the piping during the mechanical impact were studied through the third party damage(excavation) experiments. Experiments were carried out using the 21 ton excavator which is operated in the actual excavation work and the type of pipe to be struck are ASTM A106 Grade.B and ASTM A53 Grade.B. As a result, when the bucket used during excavator operation is a sawtooth bucket, the defect is more bigger. And the smaller the diameter of the pipe, the smaller the depth and length of the defect. Also, it was confirmed that the impact height had no effect on the defects on the buried pipe, during the excavation work.

Key words : third party damage, excavator, defect

1. 서 론

국내 주요 산업단지에 매설되어 있는 고압가스 배관은 대다수가 매설 시기가 20년 이상인 노후 배관이다. 과거 배관을 매설하는데 특별한 규제가 없

었고, 한정된 토지 내에 많은 배관을 묻어야 한다는 제약 때문에 현재 대부분 산업단지의 매설 배관은 그 배치를 알 수 없을 정도로 매우 복잡한 것이 현실이다.

가스배관 사고의 원인으로는 배관재료의 결함, 용접, 시공 시 결함 등의 배관 자체적 문제로 인한 부식이 있는데, 이 원인들은 사고로 이어지기까지 시간이 비교적 길어서 그 사이 다양한 검사를 통해

[†]Corresponding author: abbu2k@kgs.or.kr
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

결함 발견 가능성이 높다. 하지만 타공사(굴착공사), 지반이동 등의 외부충격 원인으로 인한 배관 손상 [1]은 내부 가스 누출 사고 발생 시 바로 대형 사고로 이어져 별도의 검사 및 보강 시간 없이 사고로 이어질 가능성이 높다. 특히 고압가스배관은 외부 충격으로 발생하는 가스 누출이나 폭발사고 시, 재산 및 인명 피해가 큰 잠재위험을 지니고 있다[2].

가스 배관 사고 원인 중, 본 연구에서는 외부 충격에서 타공사(굴착공사)에 의한 사고를 연구하였다. EGIG(European Gas Pipeline Incident data Group)에서 발표된 국외 사고 원인 조사 자료에 의하면 1970년부터 2010년까지 발생한 가스 사고는 타공사로 인한 사고가 전체의 48.4%로 높은 비율을 차지하고 있으며[3], 지난 5년간 국내의 타공사(굴착공사 등)에 의한 사고 발생 현황 자료를 보면, 2012년 3건, 2013년 2건, 2014년 6건, 2015년 4건, 2016년 8건으로 2015년 대비 2016년에는 증감률이 100% 증가하였으며, 최근 5년간 연평균 27.8% 증가 추세를 보이고 있다[4].

굴착공사 정보지원시스템(EOCS)를 통해 굴착공사 전 신고로 매설된 가스배관의 정보를 확인하는 시스템이 구축되어 있음에도 불구하고 매년 굴착공사로 인한 사고가 증가되고 있기 때문에 사고 발생 시 대처할 수 있는 방안을 모색하기 위해서는 굴착공사로 인해 산업단지에 매설되어 있는 배관에 어떠한 영향을 미치는지 데이터가 필요하다.

본 연구에서는 이와 같이 가스 배관 사고에 원인이 되는 외부충격으로 인한 원인들 중 타공사(굴착공사)의 기계적 충격 실험을 통해 배관에 영향을 미치는 정도에 대해 연구하였다. 국내 대표 산업단지인 울산, 여수, 대산 산업단지에서 운영 중인 매설 고압가스 배관 중 가장 많이 사용되는 ASTM A106 Grade. B와 ASTM A53 Grade. B 배관을 가지고 실제 굴착기가 굴착 공사하는 환경에서 기계적 충격을 가하는 실험을 진행하였다. 상기 두 종류의 배관이 굴착기가 부여한 기계적 충격에 의해 어떠한 영향을 받게 되는지 결함을 측정 및 분석한 데이터를 통해 추후 매설 고압가스배관 신뢰도기반 설계 및 평가시스템 개발에 유용하게 활용될 것으로 기대한다.

II. 국내 산업단지 고압가스배관 운영현황

국내 주요 산업단지 내에 매설되어 있는 배관의 관리 및 점검이 제대로 이루어지지 않아 매설배관의 수명 예측과 운전 상태의 정확한 파악에 어려움이 있다. 본 연구에서 기계적 충격모사에 관한 실험

적 연구를 진행하기 전에 실제 국내 산업단지 내의 매설되어 있는 배관의 현황을 파악하기 위해 사전 조사 작업을 진행 하였다.

국내 산업단지에 매설 된지 20년 이상이 지난 배관은 전체 배관의 약 58%를 차지할 만큼 노후화 되어있다. 아래 Table 1은 국내 주요 산업단지 내의 매설되어 있는 배관의 운영 현황을 나타내는 표이다. 2016년 6월 기준으로 보고된 국내 산업단지별 고압배관 분포[5]를 보면 국내 산업단지에 매설되어 있는 배관의 길이는 울산과 여수가 가장 길며 그 비율은 약 84% 정도를 차지한다. 또한 20년 이상 된 노후 배관 역시 울산은 약 56%를 차지하고, 여수 산업단지는 약 70%를 차지하고 있다. 노후 배관 내부, 외부의 부식 가능성이 높아져 보수, 교체 및 타공사 시 작은 외부 간섭에 의해 배관이 손상될 가능성이 매우 높아질 것으로 추정된다.

Table 1. The table of operation of the high pressure underground gas pipes in Domestic industrial complex(2016.06.30.)

| 단위 [km] | 15년 미만 | 15년 이상 20년 미만 | 20년 이상 30년 미만 | 30년 이상 | 총길이 |
|---------|---------|---------------|---------------|--------|---------|
| 울산 | 224,741 | 56,949 | 290,993 | 64,340 | 637,023 |
| 여수 | 21,895 | 13,133 | 73,580 | 7,000 | 115,608 |
| 대산 | 22,183 | - | 1,485 | - | 23,668 |
| 기타 | 72,599 | 10,720 | 33,905 | - | 117,224 |

Table 2. The table of the length distribution of operating high pressure gas pipes according to the type of pipe in Ulsan and Yeosu industrial complex

| 종류 | 매설배관분포길이(m) | 백분율 |
|----------------|-------------|-----|
| ASTM A53 Gr.B | 386,507 | 61% |
| ASTM A106 Gr.B | 136,321 | 19% |
| ASTM A53 Gr.A | 65,182 | 12% |
| ASTM A135 Gr.A | 46,082 | 5% |
| ASTM A135 Gr.B | 18,102 | 3% |
| ASTM A333 Gr.1 | 2,800 | 0% |

Table 3. The table of the length distribution of operating high pressure gas pipes according to the type of pipe diameter in Ulsan and Yeosu industrial complex

| 배관관경 | 매설배관분포길이(m) | 백분율 |
|------|-------------|-----|
| 100A | 147,091 | 21% |
| 150A | 164,829 | 24% |
| 200A | 120,454 | 18% |
| 250A | 74,341 | 11% |
| 300A | 80,183 | 12% |
| 기타 | 100,928 | 15% |

가장 많은 고압배관을 보유하고 있는 여수 및 울산 산업 단지 51개사를 대상으로 고압가스매설배관 운영현황에 대한 자료를 조사하였다. 그 결과 국내 산업단지 고압가스배관 재질에 따른 분포길이 분석(Table 2)에서는 ASTM A53 Grade.B와 ASTM A106 Grade.B(고압배관용 탄소강관)이 가장 많이 사용됨을 알 수 있었다. 또한 운영되는 고압가스 배관의 관경(Table 3)은 100A, 150A, 200A가 많이 사용되고 일반적으로 배관의 Schedule Number는 40(Sch No.=10P/S, P=사용 압력, S=허용 응력)이 가장 많이 사용됨을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 산업단지 현장 모사 굴착 기타격 실험을 하기 위해 울산 및 여수 산업단지에서 가장 많이 사용되고 있는 고압배관용 탄소강관인 ASTM A53 Grade.B와 ASTM A106 Grade.B를 각각의 다른 관경(100A, 150A, 200A)에 따라 1 m 씩 절단해 실험을 진행 하였다.

III. 기계적 충격 모사 실험방법

기계적 충격 모사 실험을 위해 국내 산업단지 고압가스배관으로 많이 이용되는 ASTM 106 Grade B와 ASTM 53 Grade B를 이용하여 시편을 준비하였다. 시편의 외경도 국내 산업단지에 주로 매설되어 있는 100A, 150A, 200A 3종류를 1 m의 길이로 절단하여 시편을 구성하였다. 아래 Fig. 1은 두 종류의 시편 모습이다.

본 실험은 매설 고압가스 배관 신뢰도기반 설계 및 평가시스템 개발을 위해 매설 배관 사고 중 주요 원인이 되는 타공사 작업환경을 주어 배관 타격



Fig. 1. Testing material-ASTM 106, 53 Gr.B.



Fig. 2. The picture of a 21 tons of Excavator.

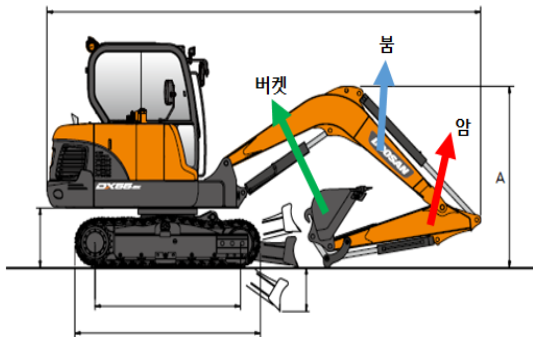


Fig. 3. Structure of Excavator.

을 통해 결함을 분석하는 실험이다. 실험 진행 시 시편 배관들을 공터에 배열하여 굴착 환경을 조성 하였으며, 실제 공사에 사용되는 굴착기 중 매설 깊이가 깊은데서 많이 사용되는 21 ton 굴착기를 이용하여 타격실험을 진행 하였다. Fig. 2는 실제 실험 시 사용된 21 ton 굴착기 모습이다.

굴착기는 Fig. 3과 같이 본체와 붐, 암, 버킷으로 이루어져 있는데, 요즘 대부분의 굴착기는 붐 상부



Fig. 4. Two types of buckets - sawtooth, flat.

의 유압 실린더를 이용해 유압 펌프로부터 보내진 작동유에 의해 작업기 장치를 움직이는 방식으로 굴착기가 운영된다. 암의 움직임에 따라 굴착기의 효율이 달라지기 때문에[6] 실험 시 동일한 암의 움직임으로 효율을 같게 유지했다.

본 실험에서 사용한 버킷의 종류는 2가지(Fig. 4)인 일자 버킷과 톱니 버킷을 사용하였다. 이는 배관이 매설되어 있는 지반에서 작업 할 때 주로 이용되는 버킷이다.

실험 시 공터에 배경된 배관 시편과 버킷 하단 부분의 거리를 기준으로 동일하게 100cm로 고정시켜 천공기의 암의 움직임을 일정하게 수직으로 타격을 가하는 실험을 진행 하였다. 한 개의 시편에 2~3번의 타격을 진행하여 타격을 통해 dent, gouge, buckle 현상을 배관에서 확인 할 수 있었다. 실험 시 사용된 버킷 2가지(일자버킷과 톱니 버킷)의 영향을 같은 높이 100cm 로 비교하였으며, 추가로 톱니 버킷을 고정 시킨 후 시편 배관 상단 부분과 톱니 버킷의 하단 부분의 거리를 180 cm로 두어 추가로 인위적 결함을 주어 실험 하였다.

IV. 실험결과

4.1. 굴착기 버킷 종류에 따른 결함크기

본 실험에서 사용된 버킷은 일자버킷과 톱니버킷으로 버킷 하단부분과 시편 배관 상단부분의 거리를 100cm로 고정 시킨 후 외부타격 실험을 진행 하였다.

그 결과 Table. 4와 같은 결과를 얻었으며, 이에 대한 비교 그래프는 Fig. 5~ Fig. 9과 같다. Fig. 5는 일자 버킷을 이용하여 기계적 충격모사 실험 시 얻을 수 있었던 배관 내 결함의 깊이를 배관 별로 정리한 그래프이며, Fig. 6는 동일 조건 하에서 톱니

Table 4. The table of defect sizes according to type of buckets - drop height is 100cm

| Type of buckets | Type of pipes | Pipe sizes | Length of defect [mm] | Depth of defect [mm] |
|-----------------|-------------------|------------|-----------------------|----------------------|
| Flat bucket | ASTM A106 Grade.B | 100A | 23.10 | 113.35 |
| | | 150A | 17.04 | 176.07 |
| | | 200A | 14.43 | 116.79 |
| | ASTM A53 Grade.B | 100A | 16.80 | 100.51 |
| | | 150A | 14.75 | 112.04 |
| | | 200A | 11.34 | 130.48 |
| sawtooth bucket | ASTM A106 Grade.B | 100A | 49.79 | 253.50 |
| | | 150A | 25.31 | 180.60 |
| | | 200A | 23.75 | 155.21 |
| | ASTM A53 Grade.B | 100A | 26.3 | 122.48 |
| | | 150A | 20.22 | 108.88 |
| | | 200A | 17.65 | 117.79 |

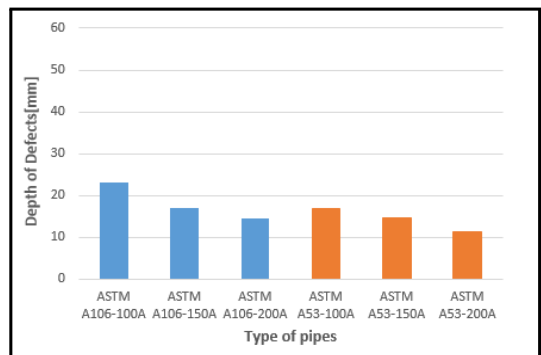


Fig. 5. The graph of depth of the defect sizes according to type of pipes when using flat bucket.

버킷을 이용했을 때 얻은 결함의 깊이이다. 두 버킷 사용 시 결함 크기 모두 배관 외경이 크면 클수록 결함 깊이 크기가 줄어드는 것을 확인 할 수 있으며, 특히 ASTM A106 Grade.B 배관의 외경 100A일 때의 경우 결함 크기가 동일 외경 크기 ASTM A53 Grade. B일 때 보다 훨씬 더 큰 크기의 결함이 측정되는 것을 확인 할 수 있었다. Fig. 7.은 결함 깊이 비교 데이터를 한데 모은 그래프인데, 결함 깊이

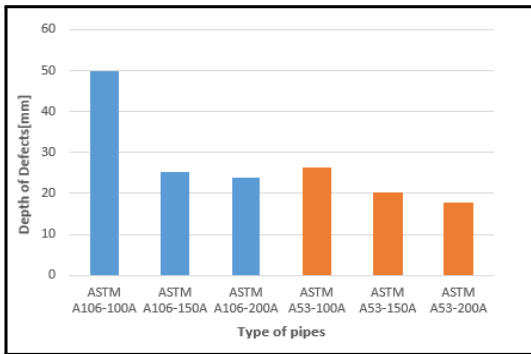


Fig. 6. The graph of depth of the defect sizes according to type of pipes when using sawtooth bucket.

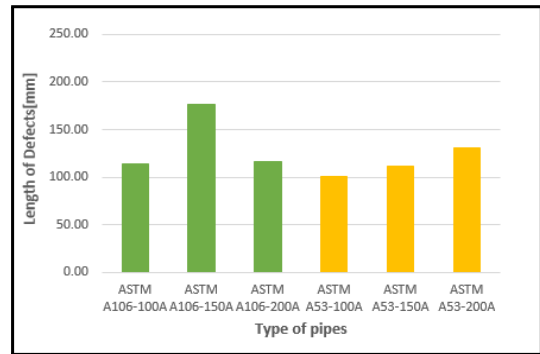


Fig. 8. The graph of the length of defect sizes according to type of pipes when using flat bucket.

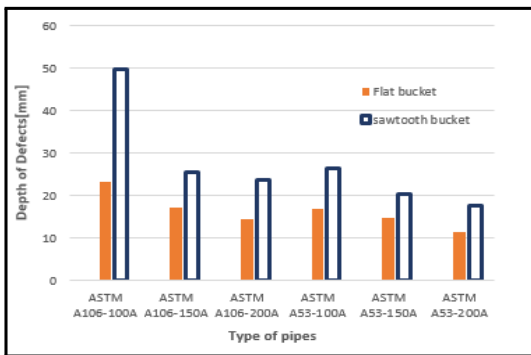


Fig. 7. The graph of the comparison of the depth of defect sizes according to type of pipes when drop height is 100cm.

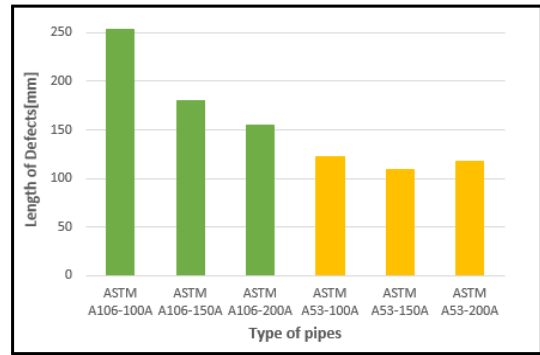


Fig. 9. The graph of the length of defect sizes according to type of pipes when using sawtooth bucket.

차이가 톱니 버킷일 때가 일자 버킷일 때보다 확연히 큰 것을 확인 할 수 있었다. 이는 동일 힘을 가했을 때 충격면적에 따라서 보여지는 결과라 예측할 수 있었다.

Fig. 8과 Fig. 9은 각각 일자 버킷과 톱니 버킷을 이용하여 타격 실험 했을 시의 얻어지는 결함의 길이를 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 8을 보면 결함 깊이의 일정한 경향성을 보이는 것과 다르게 길이는 경향성을 보이지 않는다. 이는 21ton의 굴착기의 큰 충격이 배관에 가해졌을 때, 본 연구를 통해 얻고자 하는 결함인 dent와 gouge의 결함종류가 아닌 완전히 배관이 굽어져 버리는 buckle 현상을 확인 할 수 있었다. 그렇기 때문에 결함 길이 측정에 있어 동일한 조건 내에서 서로 비교 가능한 측정이 어려웠으며, 그 크기 또한 매우 다양하여 경향성이 보이지 않는 것으로 보인다. 하

지만 톱니 버킷을 이용하여 실험을 진행한 경우 Fig. 9에서 확인 할 수 있는 것과 같이 배관의 외경이 커질수록 결함 길이가 작아지는 것을 확인 할 수 있었으며, ASTM A53 Grade.B의 경우 ASTM A106 Grade.B의 결함 길이와 비교하여 현저히 크기가 작은 것을 확인 할 수 있었다.

4.2. 굴착기 타격 높이에 따른 결함크기

본 실험에서는 결함의 깊이와 길이 크기가 크고 배관 외경의 크기에 따라 경향성을 보이는 톱니 버킷을 이용하여 추가 실험을 진행 하였다. 굴착기 버킷의 하부와 시편 배관 상부간의 거리를 180 cm로 고정하여 시편을 진행한 결과 아래 Table 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 10.와 Fig. 11.은 Table 5를 토대로 결함 깊이와 길이를 각각 비교 할 수 있는 그래프이다. 처음 실험 시 예상은 기계적 충격모사

Table 5. The table of the defect sizes when using sawtooth bucket - drop heights is 180cm

| Drop heights [cm] | Type of pipes | Pipe sizes | Length of defect [mm] | Depth of defect [mm] |
|-------------------|-------------------|------------|-----------------------|----------------------|
| 100 | ASTM A106 Grade.B | 100A | 49.79 | 253.50 |
| | | 150A | 25.31 | 180.60 |
| | | 200A | 23.75 | 155.21 |
| | ASTM A53 Grade.B | 100A | 26.3 | 122.48 |
| | | 150A | 20.22 | 108.88 |
| | | 200A | 17.65 | 117.79 |
| 180 | ASTM A106 Grade.B | 100A | 50.25 | 224.11 |
| | | 150A | 23.36 | 201.5 |
| | | 200A | 18.43 | 167.86 |
| | ASTM A53 Grade.B | 100A | 17.08 | 104.73 |
| | | 150A | 16.39 | 99.9 |
| | | 200A | 13.25 | 105.11 |

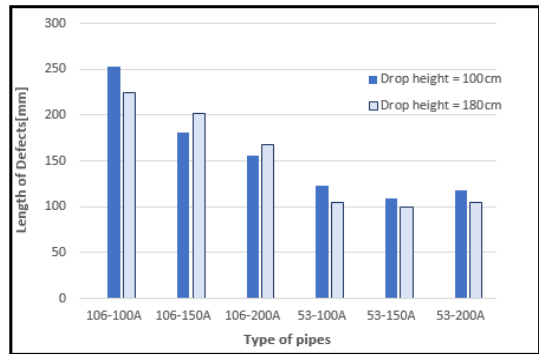


Fig. 11. The graph of the comparison of the length of defect sizes according to drop heights when using sawtooth bucket.

인 되었다. 결함 비교 시 그 측정 값이 비슷하였기 때문이다. 이는 굴착기 운영 시 버킷에 힘을 부여하는 원동력이 굴착기 붐 부분에 위치한 유압조절기에 따라서 굴착기의 힘이 결정되는 것을 확인 할 수 있었다.

V. 결론

본 연구에서는 국내 매설 고압가스 배관 중 가장 많이 사용되는 ASTM A106, ASTM A53의 두 종류의 배관을 이용하여 실제 산업단지에서 많이 사용되는 굴착기 21ton을 이용해 타공사(굴착기) 실험을 진행 하였다.

(1) 배관의 크기가 커지면 커질수록 같은 조건에서 굴착기의 힘을 부여하였을 때, 결함의 깊이 및 길이가 작아지는 것을 확인하였으며, ASTM A53의 결함 크기가 A106에 비해 현저히 작은 것을 확인할 수 있었다.

(2) 버킷의 타격 높이에 따라 결함 크기를 비교하는 실험을 진행하였으나, 높이는 각각 100cm, 180cm로 거의 2배의 값을 두어 실험을 하였지만 결함 크기 및 깊이의 차이를 보이지 않았다.

(3) 굴삭기 작업을 많이 하는 일자버킷과 톱니버킷을 사용하여 실험한 결과 톱니버킷을 통해 얻은 결함의 길이 및 깊이가 더 큰 것을 알 수 있었다.

국내 산업군에서 많이 사용되는 굴착기는 본 연구에서 사용된 21ton 뿐만 아니라 5ton, 15ton 등도 건축물 공사 및 도로공사에서 많이 사용된다고 한다. 유압에 따라 결함 크기가 동일함을 보였다는 결과를

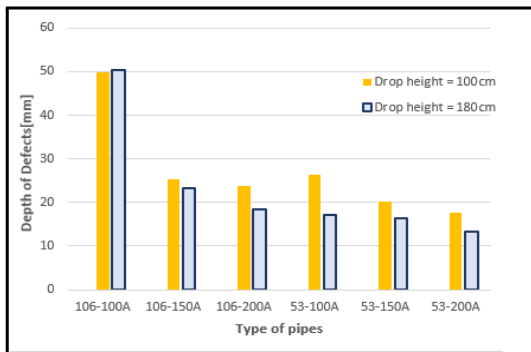


Fig. 10. The graph of the comparison of the depth of defect sizes according to drop heights when using sawtooth bucket.

실험 시 타격 높이에 따라서 배관에 미치는 영향이 다를 거라는 예상을 염두해 두고 실험을 진행 하였다. 타격 높이에 따라서 버킷의 가속도가 붙어 타격력이 높아지면서 결함의 깊이 및 길이가 커질 것이라 예상 하에 실험을 진행하였는데, 결과는 Fig. 10. 와 Fig. 11.처럼 타격 높이는 결함의 크기를 나타내는 깊이와 길이에는 영향을 미치지 않은 것으로 확

다시 확인함과 동시에 각각 ton수에 따라 미치는 영향이 얼마만큼 되는지에 관한 추가 실험을 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 연구비 지원으로 수행한 연구과제(No. 20162220100030)이며, 지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

- [1] Seung-Hoon Han., Ji-Woo Seol., Byong-Tae Yoo., Chan-Ho Tae., and Jae Wook Ko., "A Study for Comparison of Consequence Analysis for Buried Pipeline Considering the Depth Factor", *KIGAS*, 32(5), 9-16,(2016)
- [2] Chae, C. G., "Standard explanation of the town gas", *Mirae Energy-Code Research Institute*, 209-218(2014)
- [3] Kin, J.J., Seo, M.S., Lee, J.H., and Ryou, Y.D., "Development of solid reference electrode and testing system for cathodic protecting of underground pipelines based on IoT", *KOSEE*, 17-17,(2013)
- [4] 한국가스안전공사, "2016 가스사고연감", *KGS* 2017-065, 248(2017)
- [5] 김경수, 국정감사 보도자료 55, "국가산업단지, 20년 이상 노후가스 배관 전체 30%", *산업통상자원위원회*(2016)
- [6] 정연숙, 지구환출판사, "미니 굴착기 퍼펙트 매뉴얼", *한솔스쿨*, 36(2017)
- [7] American piping products., "A 106 PIPE SPECIFICATIONS", *American piping products Inc.*(2017)
- [8] American piping products., "A 53 PIPE SPECIFICATIONS", *American piping products Inc.*(2017)