



# 하수관로 결함 점수 및 상태 등급 판정 방법 제안

## Suggestion of the defect score and condition grading protocol about sewer pipe

김정률·이재현·오재일\*  
Jungruyl Kim·Jaehyun Lee·Jeill Oh\*

중앙대학교 사회기반시스템공학부  
Department of Civil and Environmental Engineering, Chung-Ang University

### ABSTRACT

This study was performed to propose the sewer defect scoring, and grading protocols for sewer condition assessment. For this, sewer defect scoring methods were comparatively analyzed and reviewed for four international condition assessment protocols, which are established based on WRc manual. As a result, we proposed a new protocol for sewer condition assessment, in which characteristics of sewer pipes are considered by segment. In reference to the PIM-3, the extent of ground subsidence was adopted to be of importance, and renewal scores increased in accordance with weighting of defects causing structural backfill materials. Also, defect grades of 'Hole' were extended to 5 levels of the grading, and 'Surface Damage' was excluded in defect assessment. The addition of 'Buckling' resulted in reduction of weights in 'Surface Damage' and 'Lining Defects'.

**Key words:** condition grading protocol, sewer CCTV inspection, sewer condition assessment, sewer defect code, sewer defect score

**주제어:** 상태등급 산정방법, 하수관로 결함 코드, 하수관로 결함 항목, 하수관로 CCTV 조사, 하수관로 상태평가

## 1. 서 론

하수관로 시설물에 대한 상태파악은 시설물의 노후화에 따른 효율적인 운영관리 계획 수립에 필수적인 요소이다. 특히, 하수관로의 경우 사고발생시 지반침하 혹은 월류수(Overflow) 등 인명피해, 환경사고의 직접적인 원인으로 작용하기 때문에 미국환경청(USEPA)에서는 다양한 관점의 운영관리 프로그램을 제공한다(USEPA 2005; USEPA 2015). 이러한 하수관로 운영관리 프로그램에서 시설물의 상태를 평가(Condition Assessment)하기 위하여 시각조사(Visual Inspection) 방식 중 하나인 하수관로 CCTV 조사방법을 일반적으로 사용하고 있다

(Chae and Abraham, 2001). 또한, 표준화된 매뉴얼을 기반으로 하수관로 내부의 상태조사 영상을 분석하여 결함항목을 구별하고 관로의 최종 상태등급을 산정한다(Thornhill and Wildbore, 2005).

하수관로의 상태등급은 하수관로의 현재 상태 뿐만 아니라 장래의 상태까지 예측할 수 있는 기초자료로 활용됨에 따라 이를 활용한 하수관로 시설물 자산관리에 관한 다양한 선행연구가 수행되었다. 특히 WRc(Water Research Centre)의 관로 상태평가 매뉴얼(MSCC, Manual of Sewer Condition Classification)에 기반한 후속 매뉴얼인 캐나다 NRC(National Research Council)의 매뉴얼은 구조적 및 운영적 결함으로 구분하고 개별적인 평가를 통해 하수도 인프라 시설물에 대한 투자계획 우선순위를 선정하도록 지정하였다(Rahman and Vanier, 2004). 또한, 프랑스에서는 RERAU(Rehabilitation of

Received 15 December 2016, revised 31 January 2017, accepted 1 February 2017

\*Corresponding author: Jeill Oh (E-mail: ohjeill@cau.ac.kr)

pp. 001-006
pp. 007-012
pp. 013-019
pp. 021-028
pp. 029-037
pp. 039-050
pp. 051-062
pp. 063-072
pp. 073-081
pp. 083-091
pp. 093-101
pp. 103-114

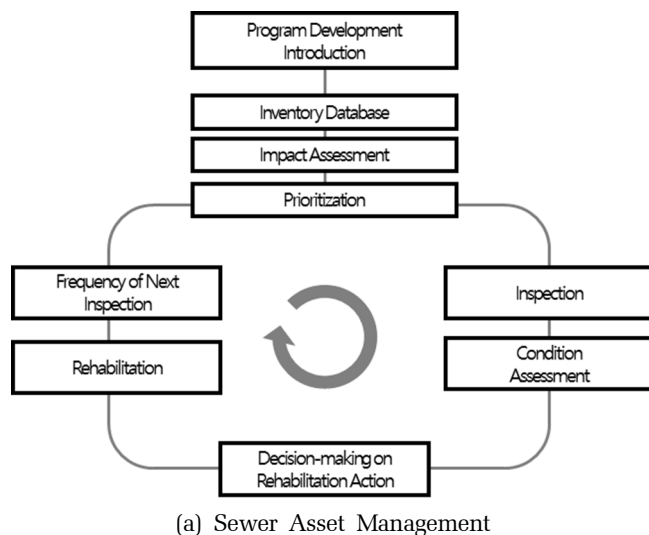
Urban Network Sewers) 방법을 중앙정부에서 제시하여, 10개의 기능장애(dysfunction) 지표를 평가하기 위한 프로토콜을 제안하고 있으며, 그에 따른 활용방법에 대한 연구를 수행하였다(Le Gauffre et al, 2007).

국내 매뉴얼의 경우 상태등급을 활용한 방법은 전체 길이 당 결합 발생 빈도를 표시하는 불량비를 산정하여 전체보수 및 부분보수를 구분하는 조건으로 활용하고 있다(MOE, 2011). 하지만, 기존 국내 매뉴얼은 뉴질랜드 NZWWA(New Zealand Water and Wastes Association)의 매뉴얼을 기반으로 작성되어 하수관로의 상태등급을 결정하는데, 가장 중요한 인자로 활용되는 결합별 등급 점수에 대한 국내 실정에 적합한 점수체계에 대한 별도의 검토가 진행되지 않았다.

본 연구에서는 하수관로의 구조적 결합 항목에 대한 등급별 점수를 결정하기 위하여 해외 하수관로 상태 평가 관련 매뉴얼인 미국 NASSCO(National Association of Sewer Service Companies)의 PACP(Pipeline Assessment and Certification Program), 영국 WRc의 MSCC, 캐나다 Edmonton 시의 SPCCM(Sewer Physical Condition Classification Manual), NZWWA의 PIM(Pipe Inspection Manual)의 결합 항목 등급별 점수배점 특성을 분석하고, 이를 기반으로 국내 하수관로에 적합한 구조적 결합별 점수를 제시하였다.

## 2. 하수관로 자산관리 및 조사 매뉴얼 개요

하수관로 유지관리를 시행하기 위해선, 수리·구조·운

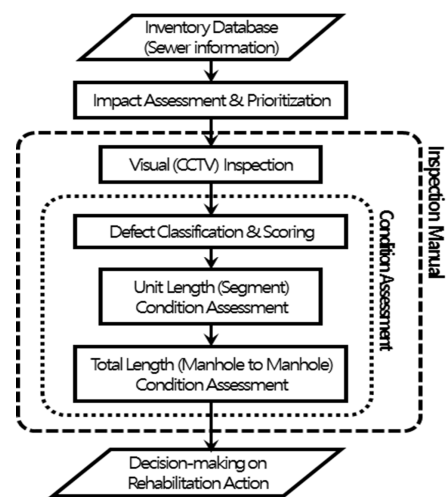


(a) Sewer Asset Management

영·환경적 관점에서 대상 시설물을 지속적으로 모니터링을 시행, 관점에 따른 개별적인 상태평가를 통해 현황을 객관적으로 파악한 뒤, 유지관리 행위를 진행한다(McDonald et al, 2001). 이를 위해서 USEPA에서는 관로의 지속적인 관리는 크게 5가지 단계로 구분하여 아래의 Fig 1. (a)와 같이 진행한다(USEPA, 2009). 각 단계는 1) KPIs (key performance Indicators)를 결정하고, 2) DB를 토대로 조사 우선순위를 선정하며, 3) CCTV를 통한 내부 조사 시행 및 상태평가를 진행하며, 4) 개보수 관련 의사 결정을 수행한 뒤, 5) 개보수 시행 및 이후 조사 계획을 수립하는 단계로 구성되며 이를 지속적으로 반복 수행한다. 아래의 Fig 1. (b)는 하수관로 자산관리 과정 중, 조사 매뉴얼에서 제시하는 단계로, 구조적·운영적 상태평가를 평가하는 단계는 CCTV 등 기타 장치를 통해 육안으로 결합을 구분하고 매뉴얼에서 제시하는 단위구간(Segment)에 해당하는 상태 평가와, 조사 전체구간(Manhole to Manhole)에 해당하는 상태평가를 진행하는 단계로 구성된다.

## 3. 해외 상태평가 매뉴얼 선정

해외 하수관로 상태평가와 관련된 매뉴얼은 대부분 영국 WRc의 MSCC을 기반으로 작성되어 같은 계열로 볼 수 있으나, 매뉴얼별 세부적인 결합 항목, 항목별 점수 및 상태 평가 방법은 많은 차이가 나타난다(Khazraeializadeh, 2012). 특히, 상태등급을 판정하는데 있어서 MSCC-3에 기반한 NASSCO의 PACP은 특정



(b) Inspection Manual

Fig. 1. Flowchart for sewer O&M method: (a) Sewer Asset Management (adapted from McDonald and Zhao, 2001), (b) Inspection Manual



결함에 대한 등급 점수 대신, 발생 결함 종류별 등급을 지정하여 구간별 최대 결함 등급을 활용하고, 구간 전체의 평균값을 사용하는 방식을 택하고 있으며, Edmonton시의 SPCCM에서는 결함별 점수를 총합·평균·최대값을 산정하여 구간별 등급을 선정한다. 이후 개정된 WRc의 MSCC-4는 최대값을 사용한 구간별 등급 채택방식을 선택하고 있으나, MSCC-4에 기반한 NZWWA의 PIM-3과 이를 참조한 기존 국내 매뉴얼에서는 평균값 및 최대값 모두 사용하는 방식을 선택한다(Khazraializadeh, 2014; NASSCO, 2013; NZWWA, 2006). 이들 매뉴얼 중, PACP는 세부 결함 점수가 배제된 방식을 사용하므로 MSCC-4, SPCCM, PIM-3의 항목별 결함점수 검토를 진행하였다. Table 1은 선정된 해외 매뉴얼에서 사용중인 각 결함의 결함점수를 결함의 크기(Light, Moderate, Severe)에 따라 정리한 표이다.

### 3. 해외 상태평가 매뉴얼 결함 점수 검토

Table 1에서 나타나듯이 해외 상태평가와 관련된 매뉴

얼은 Fig 1. (b)의 상태평가의 단계별 산정 방법에 따라, 서로 다른 점수 배점 방식으로 존재한다. 기존 score/m 방식의 PIM-3 매뉴얼 기반이 아닌, score/Segment 혹은 grade/Segment 방식의 Segment별 상태평가를 진행하는 방법인 MSCC-4, SPCCM, PACP는 최대값(Peak Score)을 참조하는 방식을 선택하고 있다(Son et al, 2016). 결함 항목의 상대적인 중요도를 파악하기 위해, Severe에 해당하는 결함 점수에 따라 분류를 진행하였으며, 매뉴얼별 상대 비교를 위해 식 (1) 과 같은 결함 크기별 평균점수( $\mu$ ) 및 표준편차( $\sigma$ )를 활용하여 결함점수를 표준화한다.

$$Normal\ weight = \frac{Score - \mu_{\{Light, Moderate, Severe\}}}{\sigma_{\{Light, Moderate, Severe\}}} \quad (1)$$

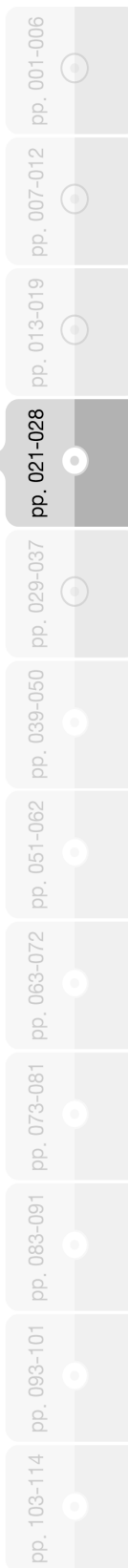
#### 3.1 MSCC-4

가장 기초적인 매뉴얼인 영국의 MSCC-4는 총 10개의 결함으로 구성되어있으며, 최대 165점의 점수 체계로 구성되어있다. 5등급에 해당하는 결함은 Severe에 해당하는 결함 중 ‘이음부 이탈(Joint Separated)’, ‘변형

**Table 1.** Defect score of International manual (MSCC-4, SPCCM, PIM-3) according to defect type and scale (L - Light, M - Moderate, S - Severe)

Defect Description	Score								
	MSCC-4 <sup>1)</sup>			SPCCM <sup>2)</sup>			PIM-3 <sup>3)</sup>		
	L	M	S	L	M	S	L	M	S
Crack Longitudinal	-	10	40	33	68	84	3	15	30
Crack Circumferential	-	10	40	33	68	84	2	15	30
Crack Multiple	-	40	80	33	68	84	10	20	40
Surface Damage	5	20	120	21	53	76	3	20	60
Lining Defect	-	-	-	42	56	65	5	25	60
Broken pipe	-	-	80	41	73	100	15	30	75
Deformation	20	80	165	34	70	91	-	25	65
Collapsed pipe	-	-	165	-	-	100	-	-	100
Permanent Obstruction	-	-	-	-	-	-	10	20	35
Hole	-	80	165	-	86	100	5	25	40
Lateral Protruding	-	-	-	-	-	-	0	15	25
Lateral Sealing Defective	-	-	-	-	-	-	5	10	25
Joint Displaced	1	2	80	28	59	79	0	15	45
Joint Faulty	-	-	-	-	-	-	1	10	25
Joint Separated	1	2	165	-	25	72	0	5	25
Sags	-	-	-	-	25	76	10	15	35

1) MSCC-4(Manual of Sewer Condition Classification-4th, WRc), 2) SPCCM(Sewer Physical Condition Classification Manual, City of Edmonton), 3) PIM-3(Pipe Inspection Manual-3rd, NZWWA)



(Deformation), ‘천공(Hole)’ 및 ‘붕괴(Collapsed pipe)’로 구성되어있으며, 모두 최대점인 165점으로 별도의 우선순위가 존재하지 않는다. Fig. 2은 표준 가중치(Normal weight)를 결함 항목별로 산정한 그래프이며, Severe에 해당하는 가중치를 오름차순으로 정렬하였다.

해당 점수 체계에서는 ‘표면 결함(Surface damage)’ 항목을 중심으로 기타 가중치 항목을 산정하였으며, 1등급 항목 5개, 2등급 4개, 3등급 3개, 4등급 6개의 결함별 등급구분을 가진다. ‘균열(Crack)’, ‘파손(Broken)’, ‘표면 결함’, ‘변형’, ‘천공’, ‘붕괴’ 순으로 중요도를 구별하였으며, ‘이음부(Joint)’와 연관된 결함항목은 Severe에 해당하는 결함만 점수를 부여하고 그 이하 등급에 대해서는 결함을 표기하기 위한 표면적인 점수가 부여된다. 단, ‘결함’, ‘파손’, ‘천공’, ‘붕괴’ 항목의 경우는 Light 혹은 Moderate

항목에 대한 정의가 존재하지 않는다.

### 3.2 SPCCM

캐나다 매뉴얼인 SPCCM의 경우, 최대 100점의 점수체제로 구성되며 MSCC-4에서 ‘라이닝결함(Lining Defect)’ 및 ‘침하(Sags)’ 항목이 추가되어 총 12개의 결함으로 구성된다. 5등급에 해당하는 결함으로는 ‘변형’, ‘파손’, ‘천공’, ‘붕괴’ 항목으로 구성되며, MSCC-4의 ‘이음부 이탈’ 결함은 4등급으로 하향조정 되었다. 특히, ‘천공’항목의 경우 Moderate 및 Severe에 해당하는 모든 결함이 5등급으로 분류되었으며, MSCC-4의 획일적인 5등급 점수에 비해 ‘변형’에 해당하는 점수가 하향 조정되어 차등적으로 분배되었다. Fig. 3은

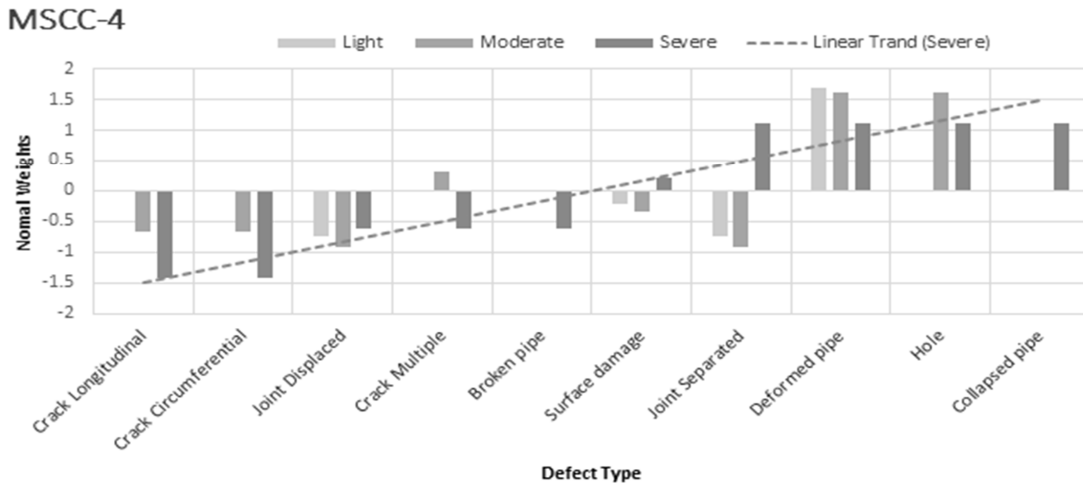


Fig. 2. Normal weights of the MSCC-4 according to defect and grade sorted by the severe defect score

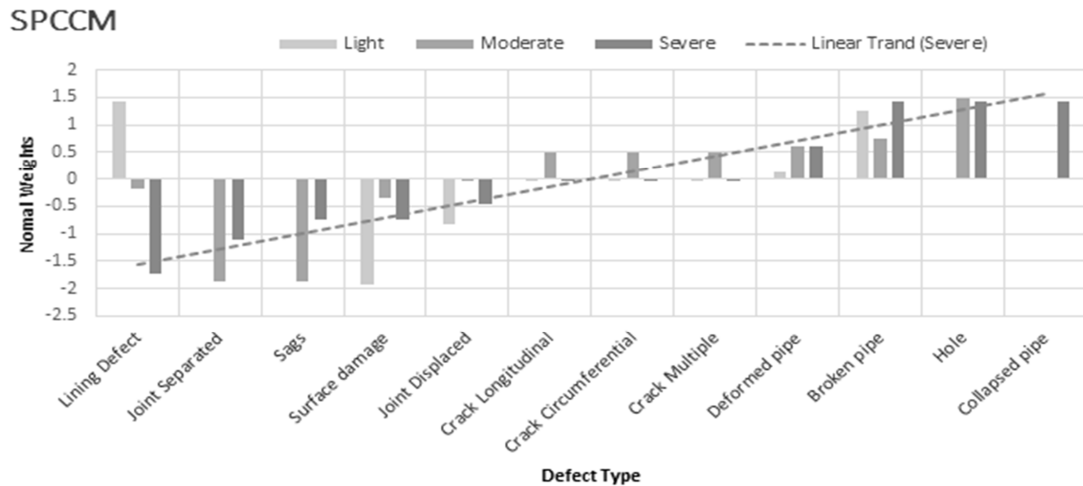


Fig. 3. Normal weights of the SPCCM according to defect and grade sorted by the severe defect score



SPCCM의 표준 가중치를 Severe에 해당하는 오름차순으로 정렬한 그래프이다.

결함 점수에서 MSCC-4와 비교되는 가장 큰 특징으로는 ‘균열’항목의 점수 분배가 개편됨과 동시에, 결함의 방향성을 모두 통일하여 일관적인 점수를 분배하였으며, 새로운 ‘라이닝 결함’ 항목을 모두 3등급에 해당하는 상태등급으로 판별하고 있다. 또한, MSCC-4에서 미진하게 표기만 진행하던 ‘이음부’관련 항목들의 Light 및 Moderate 항목에 대한 가중치가 부여되었으며, 항목들의 우선순위 역시 변동되었다. 특히 ‘이음부 이탈(Joint Separated)’를 주요하게 여기던 기준과 달리 ‘이음부 단차(Joint Displaced)’ 항목의 우선순위가 매우 증가하였다. 해당 매뉴얼은 ‘균열’을 기준으로 다른항목에 대한 가중치를 산정하였으며, 추가된 ‘침하’항목의 경우 ‘이음부 이탈’과 유사한 가중치를 적용하였다.

### 3.3 PIM-3

뉴질랜드의 PIM-3은, 최대 100점의 점수체계로 구성되며, ‘연결관’ 및 ‘장애물’관련 결함이 추가되어 총 16개의 항목으로 구성된다. 이전 매뉴얼인 SPCCM과 달리 5등급에 해당하는 결함항목 중 ‘천공’ 결함이 제외되었으며, ‘표면 결함’ 및 ‘라이닝 결함’항목이 5등급으로 상향 조정되었다. 특히, ‘천공’결함은 ‘영구 장애물(Permanent Obstruction)’항목과 분리되었으며, 5등급에 해당하는 항목들 역시 더욱 세분화된 점수로 구분되었다. 반면, ‘침하’, ‘영구장애물’, ‘다중 균열’, ‘천

공’, ‘이음부 단차’의 Severe 항목만이 4등급으로 선정되었으며, 다른 매뉴얼에 비해 4-5등급에 해당하는 결함 항목의 비중이 대폭 감소하였다. 또한, MSCC-4와 SPCCM과 달리 조사 구간에 대한 평균 점수를 단순히 참조하는 방식이 아닌, 상태 등급 선정에 최대값과 동일한 판별 기준으로 활용한다. Fig. 4은 PIM-3의 표준 가중치를 Severe에 해당하는 오름차순으로 정렬한 그래프이다.

SPCCM과 달리 PIM-3의 경우 ‘침하’ 항목에 대한 정의를 명확히 하여 ‘이음부’ 항목들과 별개의 가중치를 활용하여 각 등급 점수를 선정하고 있다. 특히 오름차순으로 정렬시에 나타나는 순서인 ‘이음부’, ‘연결관’, ‘균열’, ‘침하’, ‘영구장애물’ 및 ‘천공’, ‘표면 결함’ 및 ‘라이닝 결함’, ‘변형’, ‘파손’, ‘붕괴’ 로 이루어진 우선순위 순서는 MSCC-4나 SPCCM과 다르게 유사 그룹별로 정돈되었다. 특히, Light 정도의 ‘이음부’ 관련 결함들은 실제 보고서 표기만을 위한 점수를 배정하며, ‘균열’ 관련 세부항목에 대한 우선순위를 ‘복합균열’, ‘길이 균열’, ‘원주 균열’ 순으로 차등적으로 점수를 배분하였다. 점수배분은 ‘복합 균열’을 기준으로 가중치가 산정된 것으로 추측된다.

## 4. 국내 상태평가 매뉴얼 결함 등급 선정

제안하는 매뉴얼의 결함 항목은 PIM-3에 의한 16개의 결함 및 역경사(Negative Slope)와 연결관 좌굴(Buckling) 결함을 추가하여 18개에 해당하는 항목들

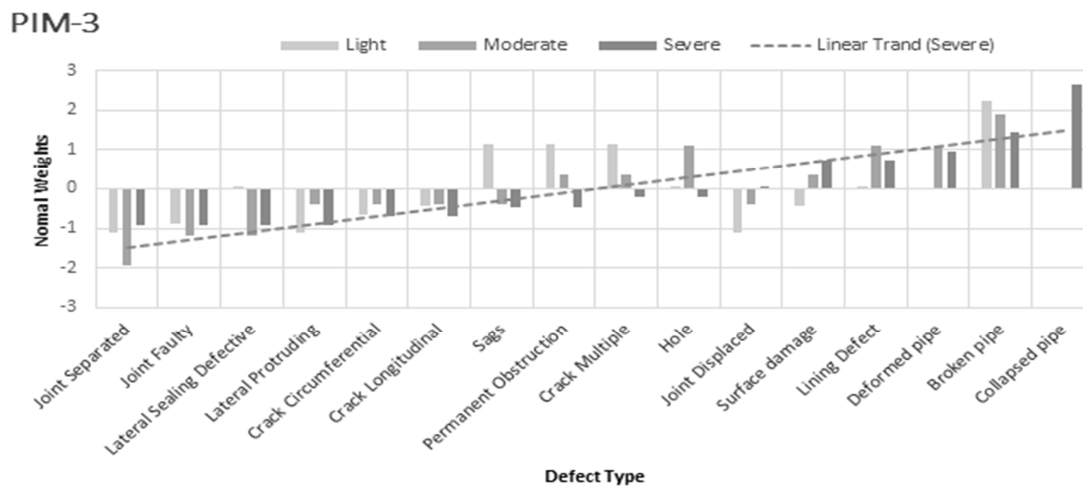


Fig. 4. Normal weights of the PIM-3 according to defect and grade sorted by the severe defect score

pp. 001-006  
pp. 007-012  
pp. 013-019  
pp. 021-028  
pp. 029-037  
pp. 039-050  
pp. 051-062  
pp. 063-072  
pp. 073-081  
pp. 083-091  
pp. 093-101  
pp. 103-114

로 결합 점수를 선정하였다(Son et al, 2016). 결합 선정 과정은 Fig. 5와 같으며, Fig. 1 (b) 에 해당하는 상태평가에 해당하는 순서도를 역으로 진행한다. 각 결합 코드에 대한 정확한 식별 및 정의가 진행되며, 해당 결합의 발생 정도(Light, Moderate, Severe)에 따른 3 가지 상태 등급을 결정한다. 이후, 결합에 따른 우선 순위를 판단하여 동일 등급에 해당하는 결합에 대한 점수를 배분한다. 마지막으로, 해외 매뉴얼을 검토한 방법론을 산정된 점수에 적용하여 Severe에 해당하는 결합들의 트렌드를 검토한다.

MOE (2011) 매뉴얼과 다르게 균열 결합의 경우 ‘원주방향 균열’의 발생 매커니즘이 이음부와 연관되어 발생한다는 것과 ‘길이방향 균열’은 하중으로 인해 발생한다는 사실에서 상대적으로 ‘길이방향 균열’이 ‘원주방향 균열’에 비해 구조적인 위험도가 높다는 현실을 반영하였다(WRc, 2001). 표면적인 문제가 발생하는 Moderate 및 Severe 단계의 균열 결합 항목에 차등

적인 점수를 부여했다. 특히, 기존 매뉴얼은 전체 구간에 대한 최대값 및 평균값을 활용한 것과 달리, 개정예정인 매뉴얼은 Segment별 최대 점수를 참조 하는 방식으로 변경되었다. 이는, 실제 관로 유지관리 행위의 최소단위를 고려하여 산정하였으며, 관로 상태 평가 단위의 변경에 따라 모호한 평균 점수 활용 방법을 대신하여 최대 점수 참조 방식으로 진행한다. 캐나다에서는 평균값의 모호성으로 인해 별도의 등급 판단 기준을 지정하지 않고 있다(McDonald et al, 2001). 매뉴얼의 등급 산정 방식이 Segment별 최대 점수 참조 방식으로 변경된 점과 ‘균열’항목들의 상대적 우선 순위가 부여된 점에서 ‘복합 균열’항목의 Severe 이하 항목의 필요성이 상실되었다고 판단하여 해당 항목을 삭제하였으며, Severe 항목에 대한 정의 역시 ‘길이방향 및 원주방향 균열’이 동시에 Severe 이상 형태로 발생 시로 수정하였다. 단, PIM-3을 참조하여 ‘균열’ 항목에 대한 가중치 점수를 ‘이음부’ 항목과 유사하게

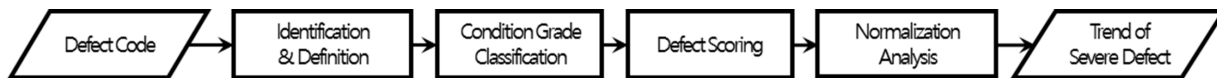


Fig. 5. Procedure for Determination of Score for each defect code

Table 2. Defect score of the Korean manual according to defect and grade sorted by the severe defect score.

Defect Description	Score (Normal Weights)		
	Light	Moderate	Severe
Lateral Protruding	3	10	25
Lateral Sealing Defective	3	10	30
Joint Faulty	7	18	33
Joint Separated	6	17	35
Crack Circumferential	5	15	38
Crack Longitudinal	5	16	40
Crack Multiple	-	-	45
Sags	10	20	50
Lining Defect	8	23	55
Negative Slope	10	28	58
Surface Damage	9	30	60
Permanent Obstruction	15	25	65
Buckling	18	38	68
Joint Displaced	20	40	70
Deformation	25	45	75
Hole	19	55	80
Broken pipe	-	70	90
Collapsed pipe	-	-	100

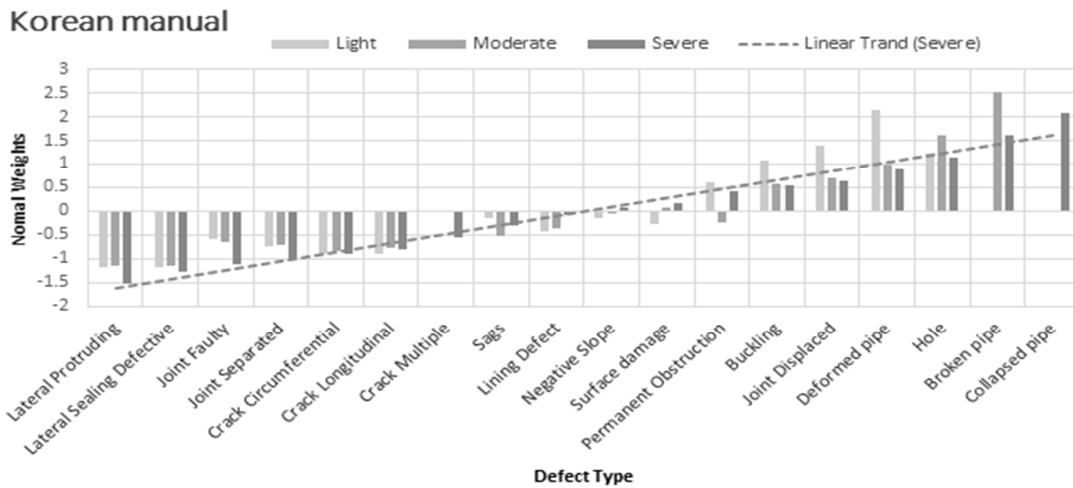


Fig. 6. Normal weights of the Korean manual according to defect and grade sorted by the severe defect score

부여했다. 개정될 매뉴얼에서 새롭게 추가될 ‘역경사’ 항목은 조사구간 전체에 ‘침하’ 현상이 심화되어 나타나거나, 시공 혹은 설계시 발생한 결함으로, Moderate 이상에서 ‘침하’ 항목을 기준으로 상대적으로 높은 가중치를 부여하였으며, Light에서는 식별이 쉽지 않으므로 동일한 점수로 결정하였다. 반면, 새롭게 추가될 ‘좌굴’ 항목은 PACP에서는 ‘표면 결함 - 좌굴’ 항목을 3등급으로 선정하고 있으나, 연성 재질의 하수관로의 ‘파손’ 진행 전 결함 단계로 판단되어 Severe 단계의 결함을 4등급 기준으로 선정하였으며, 부분적인 결함이라는 점을 고려하여 연성관의 전체적인 결함인 ‘변형’보다 점수를 낮게 설정하였다. Table 2은 새로운 매뉴얼의 결함 항목별 점수가 표기된 표이며, 검은색은 5등급을 가장 연한 회색은 1등급을 나타낸다.

구조적으로 매우 위험한 등급에 해당하는 결함은 5가지 항목으로 ‘붕괴’, ‘파손’, ‘천공’, ‘변형’, ‘이음부 단차’ 항목으로 PIM-3의 매뉴얼에서 ‘천공’ 항목이 추가되고 ‘표면 손상’ 항목이 제외되었다. 토사가 관로의 결함으로 유입되어 지반에 공동 형성에 직접적으로 영향을 미치는 ‘천공’ 항목을 5등급으로 조절하였으며, ‘좌굴’ 항목의 분리에 따른 ‘표면 손상’ 및 ‘라이닝 결함’ 항목의 중요도를 감소시켰다. 특히, 관로의 구조적인 안전성 측면에서 이음부 및 연결관과 관련된 결함의 가중치 역시 기존에 비해 감소시켰다. 영국의 SRM-4의 관로 침하 단계에 따르면 이음부 및 연결관 관련 결함은 영향이 적다(WRc, 2001). 그러나 Son (2016)에 의하면 관측된 국내에서 관측된 관로의

결함이 지나치게 이음부 및 연결관에 편향되어 나타나 조사 결과가 해당 결함으로 인하여 왜곡될 가능성이 높아 해당 점수 조정을 진행하였다. 산정된 점수를 기반으로 식 (1)을 활용해 분석한 결과 Fig. 6과 같은 형태로 가중치가 나타나며, 몇 항목을 제외한 항목들은 Severe 등급의 트렌드와 유사하도록 결함 점수를 배점하였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 결함 항목들의 세부 점수를 산정하기 위하여, WRc 매뉴얼에 기반한 해외 매뉴얼들의 등급점수를 비교·분석 하였으며, PIM-3에 기반한 기존 국내 매뉴얼의 등급 산정 방식에서 최대 결함 점수를 인용, Segment 단위의 등급 산정방식으로 변경됨에 따른 개별 항목별 특이사항을 검토하였다.

관로의 결함으로 인하여 뒷채움재 소실로 인한 지반침하 발생 예상 지점 및 관로의 구조적 붕괴 예상 지점을 표기하기 위해 구조적으로 매우 불안정한 상태인 5등급에 해당하는 항목을 PIM-3의 항목에서 ‘천공’의 등급을 높였으며, ‘라이닝 결함’ 및 ‘표면 손상’ 항목의 등급을 감소시켰다. 또한, 모호했던 결함들을 정의하기 위해 새롭게 추가된 ‘역경사’ 및 ‘좌굴’에 해당하는 등급은 기존 분리 전 원 항목들의 점수를 참조하였다.

해외 관련 매뉴얼과 비교하여 새로운 등급 산정 방식 및 점수 체계를 제안하였다. 특히, 과거의 관로 결

- pp. 001-006
- pp. 007-012
- pp. 013-019
- pp. 021-028
- pp. 029-037
- pp. 039-050
- pp. 051-062
- pp. 063-072
- pp. 073-081
- pp. 083-091
- pp. 093-101
- pp. 103-114

함 관측이 지나치게 이음부 및 연결관 결함에 의존함에 따라 해당 의존도를 낮추고, 지하 공동 발생의 주요 원인이 되는 결함들의 가중치를 높여 보완하였다. 하지만, 기존 국내 매뉴얼과는 달리 PACP의 상태 등급 산정 방식 도입에 따라 국내 특성에 맞도록 결함 점수의 미세조정을 위한 추가적인 연구가 필요하다.

## References

- Chae, M., and Abraham, D. (2001). Neuro-fuzzy approaches for sanitary sewer pipeline condition assessment, *Journal of Computin in Civil Engineering*, 15(1), 4 - 14.
- Le Gauffre, P., Joannis, C., Vasconcelos, E., Breyse, D., Gibello, C., and Desmulliez, J. (2007). Performance Indicators and Multicriteria Decision Support for Sewer Asset Management, *Journal of Infrastructure Systems*, 13(2), 105-114.
- Rahman, S. and Vanier, D.J. (2004) An evaluation of condition assessment protocols for sewer management, B-5123.6, Ottawa (Canada): CNRC-NRC.
- Son, J., Lee, J., Kim, J., Oh, J., and Yoon, S. (2016). Suggestion of the Domestic CCTV Inspection Sewer Pipe Defect Code by Sewer Defect Frequency Analysis, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 30(6), 623 - 633.
- Khazraeializadeh, S. (2012). A Comparative Analysis on Sewer Structural Condition Grading Systems Using Four Sewer Condition Assessment Protocols. In *Masters Abstracts International* (Vol. 51, No. 03). ISO 690.
- Khazraeializadeh, S., Gay, L. F., & Bayat, A. (2014). Comparative analysis of sewer physical condition grading protocols for the City of Edmonton, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 41(9), 811-818.
- McDonald, S.E., and Zhao, J.Q. (2001), Condition assessment and rehabilitation of large sewers, NRCC-44696.
- McDonald, S.E., Zhao, J.Q., and Yehuda, K. (2001), Guidelines For Condition Assessment And Rehabilitation of Large Sewers, Institute for Research in Construction National Research Council Canada, K1A0R6.
- MOE. (2011). Standard Manual of Sewer CCTV Inspection and Renovation Criteria, ROK.
- NASSCO. (2013). Infrastructure Condition Assessment and Certification Programs(PACP/MACP/LACP), National Association of Sewer Service Companies, USA, 2012 and 2013 Trainer of the Year.
- NZWWA. (2006). New Zealand pipe inspection manual, 3rd Ed., NZWWA, Wellington, New Zealand.
- Thornhill, R., and Wildbore, P. (2005). "Sewer defect codes: Origin and destination", U-Tech Underground Construction Paper.
- USEPA. (2005). Guide for Evaluating Capacity, Management, Operation, and Maintenance (CMOM) Programs at Sanitary Sewer Collection Systems, EPA/305/B-05/002.
- USEPA, (2009), Condition assessment of wastewater collection systems, EPA/600/R-09/049.
- USEPA, (2015), Condition assessment of underground pipes - with excerpts from: condition assessment of wastewater collection systems, EPA/600/R-09/049.
- WRc. (2001). Sewerage Rehabilitation Manual, 4th edn., Water Research Centre, UK.
- WRc. (2013). Manual of Sewer Condition Classification, 5th edn., Water Research Centre, UK.